Brearley-Schäfer

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung

Dritte Auflage

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung

Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „The heat treatment of tool steel“ von Harry Brearley, Sheffield

Von

Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**

Dritte, verbesserte Auflage

Mit 226 Textabbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1922

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1922

ISBN 978-3-662-27379-1 ISBN 978-3-662-28866-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-28866-5

Vorwort zur ersten Auflage.

Die nachstehenden Ausführungen haben, wie H. Brearley in dem Vorwort zur englischen Ausgabe angibt, den Zweck, geübten und geschickten Werkzeugmachern und Werkführern in der Ausübung ihres Berufes praktische Hinweise zu geben. Aber auch für den Kaufmann, der sich mit dem Vertrieb von Stahlwerkzeugen befaßt, und für alle anderen Personen, Betriebsleiter, Werkzeugkonstrukteure und Ingenieure der metallverarbeitenden Industrien, die mit der Beschaffung der für ihren Betrieb geeigneten Stahlwerkzeuge zu tun haben, nicht zuletzt für die Werkzeug- und Stahlfabrikanten selbst, werden die folgenden Ausführungen manche nützlichen Angaben enthalten, die sie bei aufmerksamer Beobachtung befähigen werden, sich leichter über die Eigenschaften eines Stahls zu unterrichten, als es die durch den täglichen Umgang mit Stahlwerkzeugen gebotene Übung vermag.

Nicht selten werden dem Verkäufer von Stahlwerkzeugen Klagen über die geringe Leistungsfähigkeit gewisser von ihm bezogener Werkzeuge vorgebracht, deren Stichhaltigkeit er entscheiden soll, obwohl ihm die Kenntnis der Veränderungen, die der Stahl bei der Wärmebehandlung erleidet, meist nicht geläufig ist.

Beim Stahlgeschäft hält sich vielleicht mehr als bei irgendeinem anderen Geschäft der Abnehmer an den Händler oder Stahlfabrikanten, damit er ihm Angaben über Zusammensetzung, Eigenschaften, Verwendungszweck und die geeignete Wärmebehandlung des Stahls macht. Diese handelsübliche Praxis entstand auf ganz natürliche Weise zu einer Zeit, als die zur Verfügung stehenden Mittel zur Untersuchung und Bewertung von Stahlwerkzeugen ausschließlich auf eine Prüfung der Bruchfläche eines Werkzeuges beschränkt blieben. Diese Art der Prüfung entwickelte der Stahlfabrikant bis zu einer mit größter Sicherheit beherrschenden Kunstfertigkeit, und zwar lange bevor die analytische Chemie imstande war, die in der Praxis angewendete Bezeichnung „Härtegrad" eines Stahls durch die Angabe des Prozentsatzes an Kohlenstoff zu ersetzen.

Da es dem Werkzeugverbraucher darauf ankommt, seine abgenutzten Werkzeuge durch solche von gleicher Brauchbarkeit zu ersetzen, und er am besten die Eigenschaften der ihm vom Werkzeugfabrikanten gelieferten Werkzeuge beurteilen kann, der Werkzeugfabrikant aber wiederum eine große Erfahrung in der Beurteilung des Rohstahls besitzt, so ergaben sich aus den vereinigten Erfahrungen des Werkzeugfabrikanten und des Werkzeugverbrauchers gewisse praktische Vorschriften, nach denen der Stahlfabrikant aus einem beliebigen Ausgangsmaterial stets Rohstahl von gleicher Beschaffenheit herzustellen vermochte. Hieraus folgte, daß schließlich der Stahlfabrikant derjenige wurde, bei dem alle praktischen Erfahrungen über Herstellung und Verwendung von Stahlwerkzeugen zusammenkamen, so daß nach der früher herrschenden Anschauung er allein imstande war, ein Urteil über die Mängel eines Stahls und über die Hilfsmittel abzugeben, die zur Beseitigung vorhandener Mängel zweckdienlich waren.

Wenn kleine Stahlblöcke für Werkzeuge auch jetzt noch nach ihrem Bruchaussehen bezüglich ihrer Verwendbarkeit zu gewissen Werkzeugen beurteilt werden, so geschieht dies wohl nur aus Zweckmäßigkeitsgründen, weil auf diese Weise bei genügender Erfahrung der Kohlenstoffgehalt des Stahls ziemlich genau geschätzt werden kann. In allen großen Stahlhütten und Werkzeugfabriken hat man auch diese vielleicht noch hie und da übliche Einteilung der verschiedenen Rohstahlsorten aufgegeben und dafür den durch den Kohlenstoffgehalt bedingten Härtegrad gesetzt. Da die durch die chemische Analyse feststellbare Zusammensetzung des Stahls noch dazu unabhängig von denjenigen einseitigen Fehlern ist, die bei der früheren praktischen Beurteilung der Härtegrade vorkommen konnten, so kann nach Kenntnis des Kohlenstoffgehaltes der natürliche Härtegrad einer Stahlstange und ihre Tauglichkeit für irgendein bestimmtes Werkzeug ganz ebenso zuverlässig von dem Verbraucher wie von dem Fabrikanten bestimmt werden. Der aufmerksame Werkzeugfabrikant wird daher, wenn er durch eine genügende praktische Erfahrung unterstützt wird, ebenso wie der Stahlfabrikant befähigt sein, den ihm entgegentretenden Schwierigkeiten bei der Herstellung von Werkzeugen mit Erfolg zu begegnen.

Der endgültige Wert eines Werkzeuges kann ebensosehr von der Art abhängen, nach welcher es bei seiner Herstellung behandelt

wird, als von dem Material, aus dem es gefertigt ist. Die Geschicklichkeit und Klugheit des Werkzeugschmiedes und Härters sprechen in bezug auf die Brauchbarkeit eines Werkzeuges viel mit. Wenn diese Personen über ein gewisses Maß von praktischen Erfahrungen nicht verfügen, dann werden sie bei Verwendung von hartem, d. h. kohlenstoffreichem Rohstahl immer nur geringwertige Werkzeuge hervorbringen, die leicht reißen, absplittern und überhaupt eine kurze Lebensdauer besitzen. Die Werkzeugfabrikanten sind daher gezwungen, kohlenstoffarmen Rohstahl zu verwenden, der bei der Verarbeitung nicht so leicht durch unsachgemäße Behandlung verdorben werden kann, der aber Werkzeuge liefert, die wegen ihrer schnellen Abnutzung infolge zu geringer Härte auch nicht den Beifall des Werkzeugverbrauchers finden werden.

Wenn auch nicht alle Nachteile, die bei mangelnder praktischer Erfahrung zum Teil auf eine unrichtige Auswahl des Rohstahls, zum Teil auf eine falsche Wärmebehandlung desselben zurückzuführen sind, durch das Studium der folgenden Ausführungen beseitigt werden können, so dienen letztere doch dazu, allen, die sich mit der Werkzeugherstellung befassen, die Mittel anzugeben, mit deren Hilfe viele bei der Verarbeitung des Rohstahls zu Werkzeugen auftretende Mängel erkannt und vermieden werden können. Durch wenig umfangreiche und mit geringen Hilfsmitteln auszuführende Versuche, sowie durch aufmerksame Beobachtung der in den folgenden Abschnitten gegebenen Grundsätze wird auch der weniger praktisch geübte Härter und Werkzeugschmied, insonderheit der Werkzeugfabrikant selbst, imstande sein, sich den geeigneten Rohstahl auszuwählen und die Bearbeitung desselben seinen Eigenschaften anzupassen. Er wird sich dann selbst davon überzeugen, daß das Schicksal seiner Werkzeuge durchaus nicht ganz und gar in den Händen des Stahlfabrikanten liegt und daß nicht alle fehlerhaften und zerbrochenen Werkzeuge schlechtem Rohstahl zugeschrieben werden müssen. Mängel an Werkzeugen sind häufig allein auf die fehlerhafte Wärmebehandlung zurückzuführen und in diesem Falle sind ihre Ursachen ohne Schwierigkeiten auffindbar und genügende Mittel zu ihrer Beseitigung vorhanden.

Bei der Bearbeitung des englischen Werkes, das die Erfahrungen einer vieljährigen Praxis enthält, war der Unterzeichnete bestrebt, durch mehrfache Ergänzungen des englischen Textes den von dem

Verfasser beabsichtigten Zweck vollkommener durchzuführen. Eine Reihe von Ergebnissen eigener Untersuchungen sowie eine große Anzahl eigener Beobachtungen sind in dem Buche mitverwertet worden. Aber auch das einheimische Schrifttum, soweit es für den Praktiker von Nutzen ist, ist bei der Bearbeitung berücksichtigt worden. Besonderer Wert wurde auf die bildliche Darstellung gelegt, indem an einer großen Reihe von Beispielen dargetan wurde, wie allein durch die Kenntnis der Gefügebeschaffenheit Schlüsse auf das zur Verwendung gelangende Stahlmaterial sowie auf die stattgefundene Wärmebehandlung gezogen werden können, wie denn überhaupt die Kenntnis des Kleingefüges des Stahls für den Stahl- und Werkzeugfabrikanten ein unentbehrliches Hilfsmittel zur Beurteilung ihrer Arbeit geworden ist.

Um eine bessere Übersicht über den behandelten Stoff zu erzielen, wurde Abschnitt V des Originals an Abschnitt I als II. Abschnitt angeschlossen; die Abschnitte X und XI des Originals wurden in den Schlußabschnitt der deutschen Ausgabe verlegt. Enthalten die beiden ersten Abschnitte hauptsächlich theoretische Betrachtungen über Stahl und behandeln sie die Vorgänge, die beim Härten desselben beobachtet werden, so befassen sich die folgenden Abschnitte mehr mit der wärmetechnischen Seite der Werkzeugfabrikation. Unter anderem wurden die Abschnitte II und X des Originals wesentlich erweitert, dagegen wurden Kürzungen insbesondere bei dem Abschnitt XI vorgenommen. Der Anhang der englischen Ausgabe, der von Schleiffunken und der Geschichte der Stahlhärtung handelt und der ferner eine Reihe von Zahlentafeln enthält, die in jedem technischen Kalender zu finden sind, wurde fortgelassen. Anstatt des noch im Anhang besprochenen Verfahrens zur Bestimmung der Haltepunkte im Eisen und Stahl wurde das Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin, mit dem sich bei sachgemäßer Handhabung vorzügliche Ergebnisse erzielen lassen, eingehend im Schlußabschnitt der deutschen Bearbeitung beschrieben.

Auch der Einsatzhärtung, die zwar größere Bedeutung für Konstruktionsstähle als für Werkzeugstähle besitzt, ist im Vergleich zum Original ein größerer Raum gewidmet worden. Am Schluß des Werkes findet sich noch eine Zusammenstellung einschlägiger Arbeiten, deren Studium dem Praktiker empfohlen werden kann und deren Ergebnisse in dem vorliegenden Werke zum Teil mitverwertet wurden.

Die Mehrzahl der in der englischen Ausgabe vorhandenen Kleingefügebilder ist wegen der nicht einheitlich gewählten Vergrößerung durch eigene Aufnahmen ersetzt worden. Die Anzahl der Abbildungen wurde von 73 auf 199 erhöht.

Dem Wunsche des Herrn Brearley, sämtliche vom Unterzeichneten herrührenden Ergänzungen, die dem ursprünglichen Texte organisch angegliedert sind, im einzelnen hervorzuheben, konnte nicht entsprochen werden. Der Unterzeichnete beschränkte sich deshalb darauf, die von ihm gebrachten Abbildungen mit einem Stern (*) zu versehen.

Herr Brearley hatte die Freundlichkeit, die Korrekturbogen einer Durchsicht zu unterziehen. Für die hierbei gegebenen Ratschläge spricht der Unterzeichnete Herrn Brearley seinen verbindlichsten Dank aus. Ebenso dankt er dem Direktorium der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, Brunnenstraße, Berlin, für die bereitwilligst erteilte Erlaubnis, einen Teil der Ergebnisse der in ihren wissenschaftlichen Abteilungen von dem Unterzeichneten durchgeführten diesbezüglichen Untersuchungen, sowie die zugehörigen Abbildungen für die deutsche Bearbeitung verwerten zu dürfen.

Berlin, im September 1913.

Dr.-Ing. Rudolf Schäfer.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die vorliegende Auflage, die im Titel eine kleine Änderung erfahren hat, ist eingehend durchgearbeitet, und es wurden verschiedene Verbesserungen und Erweiterungen angebracht, auch wurde das einschlägige Schrifttum bis auf die heutige Zeit vermerkt. Eine Vermehrung der Abbildungen erwies sich als zweckmäßig. Den Wünschen der Kritik, die sich nach dem Erscheinen der ersten Auflage eingehend äußerte, konnte nur im beschränkten Maße entsprochen werden, da dem Unterzeichneten, der fast seit Kriegsbeginn unter den Fahnen steht, die nötige Muße mangelte. Die Zeit nach dem Kriege soll dazu dienen, das Werk gründlicher und vollkommener, als es bisher geschehen konnte, auszugestalten.

Möge auch diese Auflage allen beteiligten Kreisen Nutzen bringen.

Berlin, im November 1918.

Schäfer.

Vorwort zur dritten Auflage.

Angespornt durch das Wohlwollen, das „Die Werkzeugstähle" in allen Kreisen der Industrie gefunden haben, legte der Unterzeichnete bei der Besorgung der vorliegenden Auflage sein Hauptbestreben darin, überall zu feilen und den geäußerten Wünschen und Ratschlägen in weitestem Maße entgegenzukommen. So ist die Eigenart des Werkes unverändert geblieben. Theoretische Darlegungen wurden mehr noch als zuvor in eine leicht verständliche Form gebracht und durch weitere praktische Beispiele erhärtet, so daß sich hieraus schon von selbst eine Erhöhung der Zahl der Abbildungen ergab, deren besondere Kennzeichnung durch einen Stern (*) in dieser Auflage wegfiel.

Der Abschnitt über „Einsatzhärtung" wurde gestrichen, weil dieses Verfahren in das Gebiet der Konstruktionsstähle gehört und nur aus dem Grunde in die „Werkzeugstähle" kam, weil auch die englische Ausgabe sich eingehend hierüber ausließ. Eine besondere Arbeit über „Einsatzhärtung" wird der Unterzeichnete demnächst den Fachleuten vorlegen.

Die bereits bei der Abfassung der ersten Auflage beabsichtigte stärkere Betonung des wichtigen Abschnittes „Legierte Werkzeugstähle" wurde durchgeführt. Namentlich wurden die Darlegungen über Schnelldrehstähle wesentlich erweitert. Sind diese auch mehr theoretischer Natur, so sind sie doch auch für den Praktiker von besonderem Wert, der nunmehr ein abgeschlossenes Bild über den Aufbau und das Innenleben dieser wichtigen Stahllegierungen erhält und deren Wärmebehandlung in entsprechendem Sinne vornehmen kann. Da der Krieg eine sehr sparsame Verwendung der Legierungsstähle erzwang, so wurde der Verschweißung und Verlötung von Schnellstahl auf Kohlenstoffstahlhalter eine ausführliche Beschreibung gewidmet.

Der Abschnitt über „Härteanlagen" wurde besonders ausgebaut. Die letzten Erfahrungen auf diesem Gebiete wurden gesammelt und dem praktischen Härter vorgeführt, so daß er nach Befolgung aller gegebenen Ratschläge und Richtlinien leicht imstande ist, seinen Betrieb neuzeitlichen Gesichtspunkten anzupassen und hiermit seinem Unternehmen jene feste Grundlage zu geben, ohne die eine wirtschaftliche Arbeit nicht möglich ist.

Werkzeugfabrikant und Härter haben aus dem Kriege gelernt. Diese Tatsache muß allenthalben dazu führen, der Wärmebehandlung der Werkzeugstähle in immer größerem Maße die Bedeutung zuzusprechen, die ihr im Gesamtplan eines technischen Betriebes zukommt.

Berlin, im Januar 1922.

Schäfer.

Inhaltsübersicht.

		Seite
I.	Einteilung und Gefügebeschaffenheit der Stähle	1
II.	Physikalische Veränderungen im Stahl während der Erhitzung und Abkühlung	20
	1. Thermische Veränderungen	20
	2. Veränderungen des Kleingefüges	28
	3. Veränderungen der Form und des spezifischen Gewichtes	44
III.	Fehler und Bruchaussehen des Rohstahls	50
IV.	Das Schmieden	77
V.	Das Ausglühen und Überhitzen	85
VI.	Das Härten des Stahls	94
VII.	Das Anlassen und Ausrichten	118
VIII.	Das Härten gebräuchlicher Werkzeuge	133
IX.	Fehlerhafte Werkzeuge	145
X.	Legierte Werkzeugstähle	164
XI.	Härteanlagen	246
	1. Öfen	246
	2. Die Wärmeüberwachung in der Härterei	276
	3. Die Bestimmung der Haltepunkte im Eisen und Stahl	300
Abhandlungen		311
Sachverzeichnis		319

I. Einteilung und Gefügebeschaffenheit der Stähle.

Die ausführlichste wissenschaftliche Beantwortung der Frage: „Was ist Stahl?“ bringt dem Werkzeugfabrikanten nur geringen praktischen Nutzen. Er will wissen, welche besonderen Kennzeichen ein zu verarbeitender Rohstahl haben muß, damit sich aus diesem Rohstahl gute Werkzeuge, z. B. Bohrer oder Schrupper, herstellen lassen. Hieraus folgt, daß dem Werkzeugfabrikanten, wenn er gute Werkzeuge liefern will, zunächst bekannt sein muß, durch welche Eigenschaften sich die Rohstähle unterscheiden und an welchen Kennzeichen diese verschiedenen Eigenschaften praktisch festgestellt werden können. Mit dem seit alters her bekannten Unterscheidungsmerkmal, daß Stahl härtbar ist und Eisen nicht, vermag er für seine besonderen Zwecke nicht viel anzufangen.

Ferner muß der Werkzeugfabrikant diejenigen physikalischen Veränderungen kennen, die bei einem Stahl vor sich gehen, wenn er erhitzt, abgeschreckt, angelassen oder ausgeglüht wird. Sobald er sich mit den Ursachen bekannt gemacht hat, auf welche die physikalischen Veränderungen im Stahl zurückzuführen sind, wird er sich weiter auch mit den Eigenschaften derjenigen Stahlsorten befassen müssen, die man als legierte Stähle, als Sonder- oder Spezialstähle bezeichnet hat und die in neuerer Zeit ein großes Anwendungsgebiet gefunden haben.

Als äußeres Merkmal für gewisse Eigenschaften des Stahls gilt allgemein das Aussehen der Bruchfläche, das sog. Bruchkorn oder kurz das Korn des Stahls. Betrachtet man z. B. die Bruchfläche eines Stahlgußstückes oder irgendeines anderen gegossenen Metallgegenstandes, so fällt gewöhnlich die grobkörnige Art des Bruches, das Grobgefüge (Großgefüge), auf, das anscheinend durch regellose Aneinanderlagerung bestimmter geometrischer Formen mit scharfen Kanten und glänzenden Oberflächen gekennzeichnet ist (Abb. 1). Diese Art des Bruchgefüges ist bei jedem

Metall oder jeder Metallegierung vorhanden, wenn auch die geometrischen Formen, die die einzelnen Körner der Bruchfläche zeigen, verschieden sein können. Infolge schneller Abkühlung eines Gußstückes oder durch den vom Hammer oder von den Walzen auf ihn ausgeübten Druck bleibt das Bruchkorn klein und zeigt oft nur sehr undeutlich ausgebildete und mit bloßem Auge kaum zu erkennende geometrische Formen. Bei allen handelsüblichen Stahlsorten findet sich dieses eigentümliche Aussehen des Bruches, und man pflegt häufig die Bruchfläche mit einem Ver-

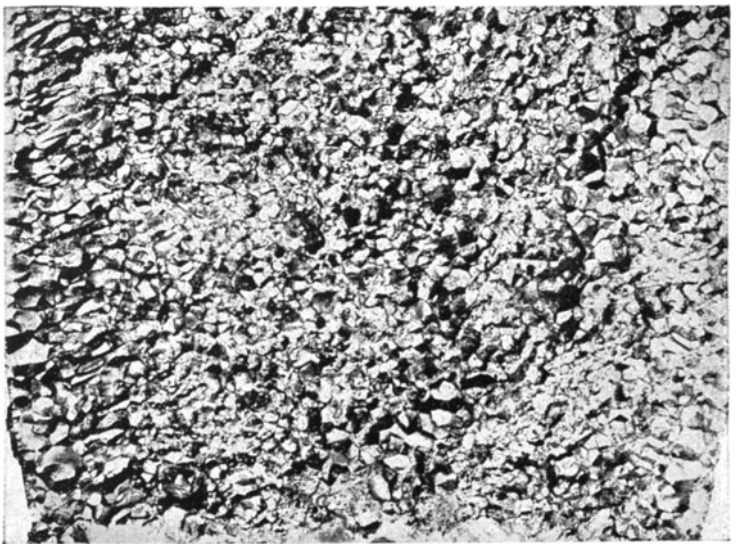


Abb. 1. Bruchfläche von Stahlguß. $^1/_3$ nat. Größe.

größerungsglas oder Mikroskop zu prüfen, um den Gefügeaufbau des Stahls, das sog. Kleingefüge (die Struktur), besser als mit bloßem Auge erkennen zu können.

Da aber ein willkürlicher Bruch eine zu unebene Fläche liefert, die für eine Prüfung mit dem Mikroskop meist ungeeignet ist, so pflegt man in neuerer Zeit geschliffene und polierte Stückchen des betreffenden Stahls, sog. Schliffe, mikroskopisch zu untersuchen, indem man durch ein bestimmtes Ätzverfahren das Kleingefüge auf den Schliffflächen bloßlegt. In diesem Falle spricht man von der mikroskopischen Analyse im Gegensatz zur

chemischen Analyse, die nur die Menge der einzelnen Bestandteile in einem Stahl festlegt, während sich die mikroskopische Analyse auch über die Art und Verteilung dieser Bestandteile ausläßt [1]).

Als Stahl bezeichnet man eine Legierung von Eisen mit einer begrenzten Menge von Kohlenstoff. Neben Kohlenstoff enthalten aber die verschiedenen Stahlsorten immer kleine Anteile von Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor, die jedoch einen merklichen Einfluß auf das Kleingefüge nicht ausüben. Alle gewöhnlichen Werkzeugstähle sind also Eisen-Kohlenstofflegierungen, und sie werden daher Kohlenstoffstähle genannt im Gegensatz zu den Spezialstählen (legierten Stählen oder Sonderstählen), die außer Eisen und Kohlenstoff zur Erzielung bestimmter Eigenschaften noch größere Mengen von Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Molybdän, Vanadin, Silizium oder einem anderen ausgeprägten Elemente enthalten. In der Praxis teilt man die Kohlenstoffstähle noch ein in weiche und harte Stähle. In jenen beträgt der Kohlenstoffgehalt gewöhnlich weniger als 0,7 v. H., in diesen mehr als 0,7 v. H. Auch ist die Härtbarkeit bei weichem Stahl, solange der Kohlenstoffgehalt unter 0,5 v. H. bleibt, etwa bis 0,35 v. H., geringer als bei hartem Stahl. Der höchste Betrag an Kohlenstoff, der bei Werkzeugstählen noch vorkommt, beläuft sich auf etwa 1,6 bis 1,7 v. H. [2]).

---

[1]) Die mikroskopische Analyse (Gefügelehre) bildet einen Teil der Metallographie, der Gesamtlehre von den Metallen und Legierungen. Für den Stahlhärter ist namentlich die Kenntnis der mikroskopischen Analyse wichtig, um die Schliffe sachgemäß vorzubereiten und zu untersuchen. Da die Aufnahme einer besonderen Anleitung in die metallographische Praxis den Rahmen dieses Buches überschreiten würde, sollen hier die beiden folgenden Werke zur Belehrung empfohlen werden: Goerens, Einführung in die Metallographie. 2. Aufl. Halle a. d. Saale 1915. Verlag von Wilhelm Knapp; Preuß, Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskops. 2. Aufl. Berlin 1921. Verlag von Julius Springer.

[2]) Eisen-Kohlenstofflegierungen mit weniger als 0,5 v. H. Kohlenstoff pflegt man gewöhnlich nicht als Stahl zu bezeichnen, sondern als Eisen. Denn das gesamte schmiedbare Eisen mit einem Höchstgehalt von etwa 1,7 v. H. Kohlenstoff wird eingeteilt in Schweißeisen und Flußeisen (mit einem Kohlenstoffgehalt von höchstens 0,5 v. H.) und in Schweißstahl und Flußstahl (mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,5—1,7 v. H.). Die Bezeichnungen Siemens-Martinstahl, Bessemerstahl, Thomasstahl usw. weisen nicht auf den Kohlenstoffgehalt des Stahles hin, sondern auf die Art der Herstellung. Reinster Stahl ist Gußstahl (neben Elektrostahl), der in Tiegeln

Diese Einteilung in weiche und harte Stähle können der Werkzeugfabrikant und Härter leicht behalten. Die Stahlwerke pflegen gewöhnlich noch besondere Unterschiede für ihre Erzeugnisse hinsichtlich des Kohlenstoffgehaltes zu machen. So teilen sie meist die Werkzeugstähle ein in weiche (0,6—0,7 v. H. Kohlenstoff), zähe (zähhart, extrazähhart, 0,7—0,9 v. H. Kohlenstoff), mittelharte (0,9—1,10 v. H. Kohlenstoff), harte (1,10—1,40 v. H. Kohlenstoff) und sehr harte Marken (1,40—1,60 v. H. Kohlenstoff).

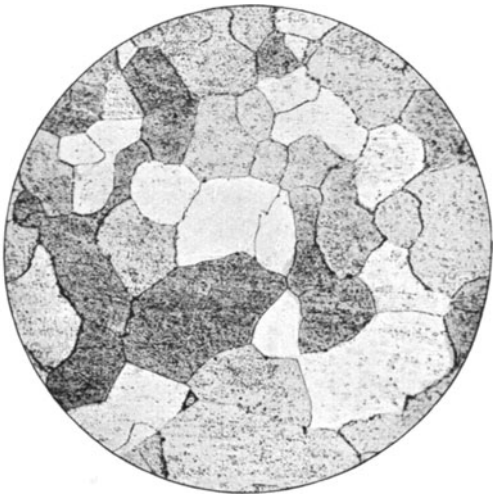


Abb. 2. Reines Eisen. Ferrit.
Vergrößerung (V) = 200.

Wenn man unter einem Mikroskop das Haufwerk von kleinen Kristallen (Körnern, im Schnitt Polygone) auf einem polierten und geätzten Stückchen von reinem Eisen, also einem Eisen ohne Kohlenstoff, sieht (Abb. 2), so drängt sich die Frage auf, wovon die Festigkeit und Widerstandsfähigkeit eines solchen Haufwerks abhängt.

---

erschmolzen wird und der daher auch Tiegelgußstahl (auch Tiegelstahl) genannt wird. Als Ausgangsmaterial wird hierfür ein auf irgendeine andere Weise gewonnener Stahl verwendet. Für erstklassige Werkzeuge wird heute meist nur Gußstahl benutzt. Weniger wertvolle Werkzeuge werden auch aus Siemens-Martinstahl hergestellt.

Die Widerstandsfähigkeit eines Haufwerks verwachsener Kristalle gegenüber gleichbleibender oder wechselnder Beanspruchung hängt ab

1. von der Festigkeit des Materials, aus welchem das einzelne Korn besteht, und
2. von der Kohäsion zwischen den einzelnen Körnern.

Bei reinen, also nicht legierten, weichen Metallen ist die Widerstandsfähigkeit des Materials der einzelnen Körner nicht größer als ihre Kohäsion, doch wird die Kohäsion zwischen den einzelnen Körnern gewöhnlich durch ungeeignete Wärmebehandlung oder durch Verunreinigungen vermindert.

Einige Metalle lassen sich mit beschränkten Mengen anderer Elemente legieren, ohne daß dadurch deutlich erkennbare Veränderungen des Kleingefüges, verglichen mit demjenigen des reinen Metalls, entstehen. Eine Silizium-Eisenlegierung mit 3—4 v. H. Silizium sieht genau so aus wie das reine Eisen in Abb. 2, höchstens mit der Einschränkung, daß, gleichartige Behandlung vorausgesetzt, die Körner größer sind. Ebenso ist die Gegenwart einer kleinen Menge Chrom im Eisen aus der Form der einzelnen Körner nicht erkennbar, wenn auch das Chrom die Größe der Körner herabsetzt.

Aus den angeführten Beispielen geht hervor, daß gewisse Legierungen des Eisens dasselbe Kleingefüge zeigen wie reines Eisen selbst. In solchen Legierungen kann man daher die Anwesenheit geringer Mengen von Mangan, Silizium, Chrom, Nickel und anderen Elementen durch die mikroskopische Prüfung des Kleingefüges nicht feststellen. Andererseits können Elemente, die mit dem Eisen legiert worden sind, selbst in äußerst geringen Mengen durch die mikroskopische Prüfung des Kleingefüges aufgefunden werden, und es ist daher möglich, bei diesen Legierungen auf mikroskopischem Wege die Gefügeveränderungen zu verfolgen, die in dem Maße vor sich gehen, wie die Menge der dem Eisen zugefügten Elemente geändert wird.

Die Legierungen des Eisens mit Kohlenstoff sind ein besonderes Beispiel dieser Art von Legierungen. Daher kann man mikroskopisch besser und bequemer als auf irgendeine andere Weise feststellen, wie weiches Eisen durch einen allmählichen Zusatz von Kohlenstoff in hartes Eisen, also in Stahl, übergeführt wird. Sogar die Anwesenheit von 0,05 v. H. Kohlenstoff in weichem Eisen ist unter dem Mikroskop leicht festzustellen. Neben den

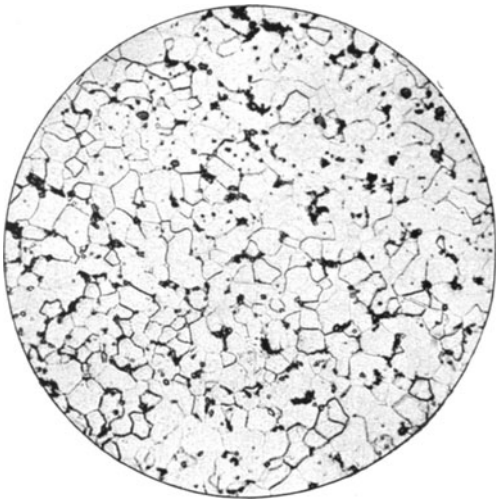


Abb. 3. Flußeisen mit 0,05 v. H. Kohlenstoff. Ferrit (hell) und Perlit (dunkel). V = 200.



Abb. 4. Kohlenstoffstahl. Perlit (Streifen) mit wenig Ferrit (hell). V = 800.

fast gleichmäßig großen Kristallen in der Form von unregelmäßig begrenzten Vielecken (Polyeder), die auch bei dem reinen Eisen auftreten und die alle von fast gleicher Größe sind, erscheint jetzt auf einem geätzten Schliff eine Anzahl dunkler Flächen an der Begrenzung der einzelnen Körner (Abb. 3). Praktisch ist der ganze eingeführte Kohlenstoff von 0,05 v. H. auf diese dunklen Stellen beschränkt, während der übrige Teil des Gesichtsfeldes aus demselben reinen Eisen wie in Abb. 2 besteht und welches als Gefügebestandteil unter dem Namen Ferrit bekannt ist. Nach langer Einwirkung eines Ätzmittels (gewöhnlich von alkoholischen Mineralsäuren, z. B. alkoholischer Salpetersäure) auf einen polierten Schliff erscheint die Oberfläche infolge der verschiedenen kristallographischen Einstellung der Ferritkörner zumeist verschiedenartig gefärbt und aufgerauht (Ätzfiguren), sie gibt ein deutliches Bild von der Lagerung der einzelnen Ferritkörner.

Wenn die dunklen Flächen stark vergrößert werden und das Eisen, in dem sie vorhanden sind, von heller Rotglut, etwa 800° C, langsam abgekühlt wird, dann erkennt man meist nur bei sehr starker Vergrößerung ein Gefüge, das aus hellen und dunklen Streifen (Lamellen) besteht, die abwechselnd und parallel zueinander gelagert sind (Abb. 4 u. 18). Ein derartiger Gefügebestandteil tritt bei vielen Metallegierungen auf und man nennt ihn „Eutektikum" (eutektische Legierung, eutektisches Gemisch, eutektische Mischung, eutektisches Gemenge). Bei Eisen-Kohlenstofflegierungen besteht dieses Eutektikum aus abwechselnd zueinander gelagerten Täfelchen (Lamellen) von Ferrit und Eisenkarbid (Fe_3C) und wegen seines schönen perlmutterähnlichen Glanzes, der vielfach während des Ätzens deutlich sichtbar wird, heißt dieses im Stahl auftretende Eutektikum Perlit (lamellarer Perlit). Daher bestehen alle weichen Stahlsorten, wenn sie nach dem Ätzen mikroskopisch geprüft werden, aus einem Gemenge von Ferrit (hell) und Perlit (dunkel). Dieser Perlit, also ein Eutektikum der Eisenkohlenstofflegierungen, hat eine unveränderliche Zusammensetzung, er behält immer seinen Kohlenstoffgehalt von rund 1 v. H. bei.

Die Größe der Flächen, die von den beiden Gefügebestandteilen Ferrit und Perlit auf einem Stück eines langsam abgekühlten Stahls eingenommen wird, hängt von der Menge des vorhandenen Kohlenstoffs ab, und zwar steigt die Menge des Perlits mit wachsendem Kohlenstoffgehalte. Abb. 5 ist ein ausgeprägtes Bild eines Eisens,



Abb. 5. Flußeisen mit 0,13 v. H. Kohlenstoff. Ferrit und Perlit. V = 200.

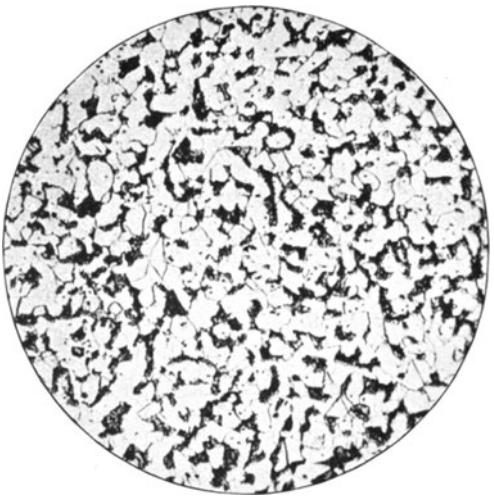


Abb. 6. Flußeisen mit 0,25 v. H. Kohlenstoff. Ferrit und Perlit. V = 200.

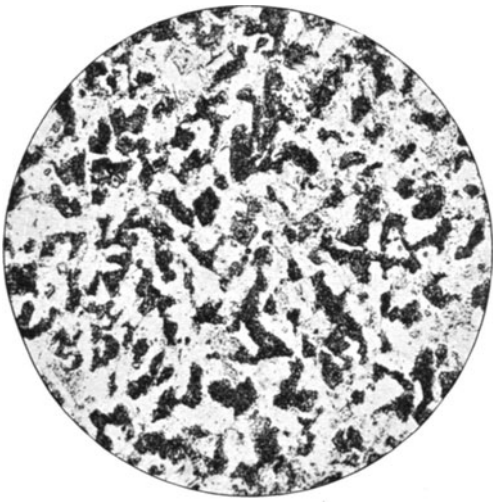


Abb. 7. Flußstahl mit 0,41 v. H. Kohlenstoff. Ferrit und Perlit. V = 200.



Abb. 8. Kohlenstoffstahl mit 0,55 v. H. Kohlenstoff. Ferrit und Perlit. V = 200.

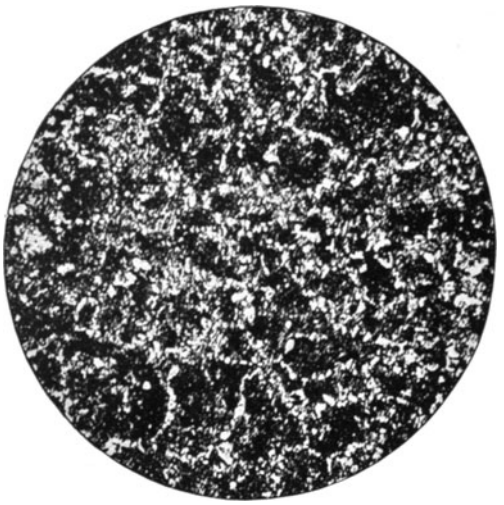


Abb. 9. Kohlenstoffstahl mit 0,68 v. H. Kohlenstoff. Ferrit und Perlit. V = 200.

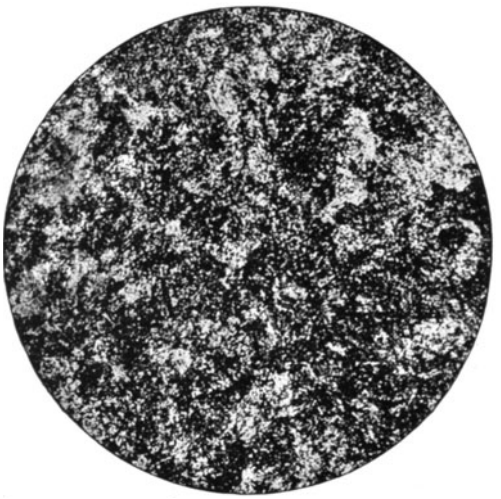


Abb. 10. Kohlenstoffstahl mit 0,89 v.H. Kohlenstoff. Perlit mit wenig Ferrit. V = 200.

das 0,13 v. H. Kohlenstoff enthält. Abb. 6 stellt ein Eisen mit 0,25 v. H. Kohlenstoff dar und Abb. 7 zeigt das Aussehen eines Stahls mit 0,41 v. H., Abb. 8 eines Stahls mit 0,55 v. H. und Abb. 9 eines Stahls mit 0,68 v. H. Kohlenstoff. Hier sind die Perlitinseln nicht mehr in Ferrit eingelagert, sondern letzterer hat das Aussehen eines Netzwerkes erhalten, dessen Maschen von Perlit angefüllt sind. Man kann in diesem Falle von einem Netzwerk- oder Zellengefüge sprechen, das bei allen Stählen mit 0,5 bis 1 v. H. Kohlenstoff kennzeichnend ist. Abb. 10 endlich gibt das Kleingefüge eines Stahls mit 0,89 v. H. Kohlenstoff wieder. Hier sind die dunklen Perlitflächen nur hin und wieder von kleinen Stellen von hellem Ferrit durchsetzt.

Wird der Kohlenstoffgehalt noch weiter erhöht, dann werden die Ferriteinlagerungen immer dünner, und zwar in dem Maße, wie der Prozentsatz an Kohlenstoff wächst und schließlich, wenn der Kohlenstoff bis auf 1 v. H. gestiegen ist, verschwindet der freie Ferrit, d. h. er wird gänzlich durch den Kohlenstoff in Perlit übergeführt, wie Abb. 11 deutlich erkennen läßt.

In Wirklichkeit liegt dieser eutektische Punkt, der Perlitpunkt, nicht bei 1 v. H. Kohlenstoff, sondern bei 0,95 v. H. Kohlenstoff. In Rücksicht darauf, daß diese Zahl weniger leicht behalten wird und auch der Unterschied zwischen 0,95 und 1 v. H. Kohlenstoff ganz unwesentlich ist, wird in den folgenden Ausführungen als eutektischer Stahl eine solche Eisenkohlenstofflegierung bezeichnet, die 1 v. H. Kohlenstoff enthält.

Der Zustand in einer Eisen-Kohlenstofflegierung, bei welchem freier Ferrit zu bestehen aufhört, in dem also nur das Eutektikum, der Perlit, auftritt, ist, wie später gezeigt werden soll, von besonderem Wert für den Werkzeugfabrikanten und von großer Bedeutung für den Stahlhärter.

Alle Stähle mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff heißen eutektische Stähle, Stähle mit weniger als 1 v. H. Kohlenstoff untereutektische Stähle, Stähle mit mehr als 1 v. H. Kohlenstoff übereutektische Stähle.

Wenn bei 1 v. H. Kohlenstoff das gesamte kohlenstofffreie Eisen, der Ferrit, noch gerade ausreicht, um durch abwechselnde Lagerung mit Eisenkarbid den Perlit zu ergeben, dann kann das Kleingefüge eines Stahls mit mehr als 1 v. H. Kohlenstoff nicht mehr ausschließlich aus Perlit bestehen. Tatsächlich veranlaßt mehr als 1 v. H. Kohlenstoff die Bildung eines neuen Gefügebestandteils,



Abb. 11. Kohlenstoffstahl mit 0,98 v. H. Kohlenstoff. Perlit.
V = 200.

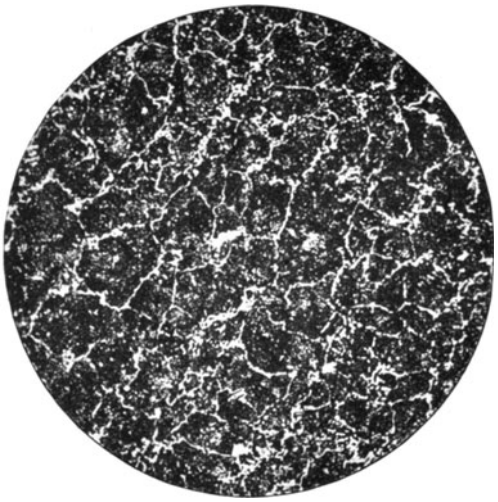


Abb. 12. Kohlenstoffstahl mit 1,23 v. H. Kohlenstoff. Perlit und Zementit. (netzförmig).
V = 200.



Abb. 13. Kohlenstoffstahl mit tafelförmigen Zementiteinlagerungen.
V = 400.



Abb. 14. Kohlenstoffstahl mit 1,54 v. H. Kohlenstoff. Perlit und Zementit.
V = 400.

der entweder die Perlitkörner netzförmig umgibt (Abb. 12) oder der in vereinzelten Täfelchen auftritt (Abb. 13 und 14). Dieser Gefügebestandteil führt den Namen Zementit, weil er den Hauptbestandteil des Zementstahls darstellt. Der Zementit, der Härtebildner im Stahl, ist in Eisen-Kohlenstofflegierungen mit weniger als 1 v. H. Kohlenstoff gleichbedeutend mit jenen Täfelchen von Eisenkarbid, die in abwechselnden Schichten mit reinem Eisen, dem Ferrit, auftreten, um Perlit zu bilden. Ferner ist es gleichgültig, wieviel Kohlenstoff dem Stahl zugefügt wird, denn es bildet sich immer dasselbe Eisenkarbid Fe_3C. Solange indessen kohlenstofffreies Eisen (Ferrit) vorhanden ist, lagert sich das Karbid abwechselnd, also paarweise mit dem Eisen. Wenn dagegen kohlenstofffreies Eisen (Ferrit) nicht mehr zugegen ist, so herrscht das Karbid allein vor, und es ist in einer um so größeren Menge vorhanden, je mehr der Prozentsatz an Kohlenstoff wächst. Für ein geübtes Auge ist es daher nicht schwer, auch ohne chemische Analyse allein aus dem Kleingefüge des Stahls auf die ungefähre Höhe des Kohlenstoffgehaltes zu schließen. Hierbei ist natürlich Voraussetzung, daß der Stahl in ausgeglühtem Zustande vorgelegen hat, da nur in einem solchen Material sich die Gefügeelemente frei entwickeln und daher unter dem Mikroskop in ihrer richtigen Verteilung beobachtet werden können. Wenn der Härter bei der Betrachtung eines geätzten Stahlschliffs nicht eine gleiche oder ähnliche Verteilung der Gefügebestandteile wahrnimmt, wie sie die obigen Abbildungen veranschaulicht, dann kann er sich leicht zu Trugschlüssen in der Beurteilung eines Stahls verleiten lassen. Ein solcher Stahl hat dann in der Regel irgendeine Kalt- oder Warmbehandlung durchgemacht, die nur durch sachgemäßes Ausglühen wieder behoben wird, worauf später noch ausführlicher zurückgekommen werden soll.

Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, daß der Kohlenstoff bei seiner Einführung in das weiche Eisen zur Erzeugung von Stahl die Eigenschaften des Eisens dadurch ändert, daß er in demselben einen neuen und deutlich ausgeprägten Gefügebestandteil bildet, eben jenes Eisenkarbid (Fe_3C). Dieses Karbid, der Zementit, ist außerordentlich spröde und hart und noch härter als gehärteter Werkzeugstahl selbst. Die Härte des Perlits liegt mithin zwischen der des Zementits und Ferrits. Das Karbid ist sehr fein verteilt und innig mit dem Eisen vermischt, wenigstens so lange, als die Menge des Kohlenstoffs 1 v. H. nicht überschreitet.

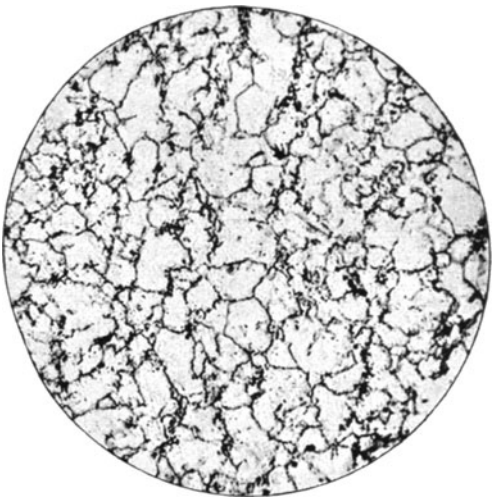


Abb. 15. Wie Abb. 12. Mit heißer Natriumpikratlösung geätzt. Der netzförmige Zementit ist dunkel gefärbt.
V = 200.



Abb. 16. Überhitzter eutektischer Kohlenstoffstahl mit heißer Natriumpikratlösung geätzt. Der Zementit des Perlits ist dunkel gefärbt.
V = 200.

Zur besseren Erkennung des Zementits in Kohlenstoffstählen pflegt man den polierten Schliff mit einer wässerigen heißen Lösung von Natriumpikrat zu ätzen. Durch dieses Ätzmittel wird nur der Zementit angegriffen, er färbt sich nach längerer Einwirkung des Ätzmittels schwarz, während der Ferrit hell bleibt. Dieses Verfahren kann in Zweifelsfällen wertvoll sein, wenn man sich schnell über die Natur der hellen Einlagerungen in einem unbekannten Werkzeugstahl unterrichten will. In Abb. 15 sieht man den schwarzen netzförmigen Zementit, welcher die kaum gefärbten Perlitkörner einschließt, während in Abb. 16 nur der grobe Zementit des Perlits eines starküberhitzten eutektischen Kohlenstoffstahles die schwarze Färbung angenommen hat.

Nach diesen Betrachtungen und bei aufmerksamer Beobachtung der Abb. 2—11 ist es einleuchtend, daß die natürliche Härte des Stahls, die auf das Vorhandensein des Eisenkarbids zurückzuführen ist, zunehmen wird, wenn der Perlit einen größeren Teil des Materials einnimmt. Es ist ebenfalls klar, daß die Zähigkeit des Stahls in dem Maße abnehmen wird, wie die Feritkörner, die aus weichem, dehnbarem Eisen bestehen, geringer werden. Aber die Zähigkeit kann immer noch beträchtlich sein, solange jedes kleine Täfelchen von hartem Zementit zwischen zwei Täfelchen von weichem Ferrit eingelagert ist, solange also die Menge des Kohlenstoffs noch unter 1 v. H. liegt.

Beträgt in einem Stahl der Kohlenstoffgehalt mehr als 1 v. H., dann trennt der in Form eines Netzwerks oder in Täfelchen auftretende Zementit die Perlitkörner vollständig voneinander, die natürliche Härte des Stahls nimmt also zu, während die Zähigkeit abnimmt. Für die Praxis der Werkzeugherstellung ergibt sich hieraus die wichtige Folgerung, daß Stahl mit freiem Zementit spröde Werkzeuge liefert und daher nur beschränkt anwendbar ist. Bei Schneidwerkzeugen, die keinen heftigen oder plötzlichen Stößen ausgesetzt sind, wie z. B. bei Drehwerkzeugen, Rasiermessern, Sensen usw. ist das Vorhandensein von freiem Zementit, der auch bei der gewöhnlichen Härtung nicht verschwindet, nicht gefährlich. Wenn aber Hämmer, Schrotmeißel oder ähnliche Werkzeuge aus Stahl mit reichlichem Zementit gefertigt worden sind, so zerbrechen sie bald in Richtung der spröden Zementiteinlagerungen, worauf später noch eingegangen werden soll. Für solche Werkzeuge, die bei einer groben Handhabung standhalten und zugleich eine harte Schneide besitzen müssen, wie z. B.

Meißel, muß aus leicht begreiflichen Gründen ein Stahl ausgewählt werden, der wenig oder keinen freien Zementit enthält, dagegen müssen Werkzeuge, die plötzlichen Stößen oder Schlägen ausgesetzt sind, bei denen es also nur auf eine große Zähigkeit ankommt, aus Stählen hergestellt werden, die keinen freien Zementit, dagegen nur Perlit oder Perlit und Ferrit enthalten. Hiernach besteht mithin ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Gefüge und den Eigenschaften des Stahls.

Es steht also fest, daß die Leistungsfähigkeit eines Werkzeuges bis zu einem gewissen Grade von der Art des verwendeten Stahls abhängt. Daher ist es leicht zu verstehen, warum der Stahlfabrikant gewöhnlich vom Käufer verlangt, den Zweck anzugeben, für welchen der zu liefernde Stahl benutzt werden soll. Kennt der Stahlfabrikant den Verwendungszweck des von ihm gelieferten Rohstahls nicht, und weiß der Werkzeugfabrikant aus dem Gefüge des Bruches usw. die Brauchbarkeit des gekauften Stahls für die aus ihm zu fertigenden Werkzeuge nicht richtig zu beurteilen, dann gelingt auch die Herstellung brauchbarer Werkzeuge nicht. Die Schuld für diesen Mißerfolg wird in den meisten Fällen mit Unrecht dem Lieferanten des Stahls zugeschrieben. Um eine solche unrichtige Beschuldigung zu vermeiden, ist es allgemein üblich geworden, durch Farbenanstrich, Aufschrift oder aufgeschlagene Marke den Zweck anzugeben, für welchen irgendeine einzelne Stahlstange mit Erfolg verwendet werden kann. Die Zusammenstellung auf S. 18 läßt neben dem Verwendungszweck den ungefähren Gehalt an Kohlenstoff, den die betreffenden Rohstahlsorten (Gußstahl) haben müssen, erkennen [1]). Der Mangan- und Siliziumgehalt bewegt sich in diesen Werkzeugstählen in den üblichen Grenzen bis 0,5 v. H. Höhere Mangangehalte, zuweilen bis 1,10 v. H. können in Stählen für Sägen, Messer und Bohrer von Vorteil sein, höhere Siliziumgehalte, bis 2 v. H. (bei Kohlenstoffgehalten von 0,4—0,5 v. H.), sind in Stählen für Federn anzutreffen.

Die Kohlenstoffstähle werden gewöhnlich, wie oben angegeben ist, nach ihrer Härte eingeteilt. Die Bezeichnung dieser Art

[1]) Vgl. Mars, Die Spezialstähle, Stuttgart 1912, S. 188; ferner Reiser, Das Härten des Stahls, Leipzig 1908, S. 38; Thallner, Werkzeugstahl, Freiberg 1904, S. 11; Oberhoffer, Das schmiedbare Eisen, Berlin 1920, S. 170 und Simon, Härten und Vergüten (Werkstattbücher), 1. Teil, S. 52. Berlin 1921, Verlag von Julius Springer.

„Härte" wird von dem Stahlfabrikanten gebraucht, um den natürlichen Härtegrad, die sog. Naturhärte (natürliche Härte), zu bezeichnen, die durch Zuführung von mehr oder weniger Kohlenstoff geregelt werden kann.

Die Naturhärte kann außer durch Kohlenstoff auch durch Hinzufügung von Mangan, Chrom, Wolfram u. a. verändert werden, jedoch hatte dieses Wort, ehe man eine Vorstellung von dem Werte dieser Beimengungen besaß, einen bestimmten Sinn erlangt, der noch heute für Kohlenstoff-Werkzeugstähle beibehalten worden ist, die selten mehr als 0,4—0,6 v. H. an Verunreinigungen (Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor) enthalten.

Neben der Härte muß der Werkzeugfabrikant auch Wert auf die Qualität des Rohstahls legen. Ein Stahl von guter Qualität soll keine Beimengungen schädlicher Elemente enthalten, was durch Auswahl reinster Ausgangsmaterialien für das Schmelzverfahren erzielt wird. Seitdem man jedoch die Festigkeit und Härte des Stahls durch Hinzufügung nützlicher Bestandteile ebenso wie durch Beseitigung schädlicher Verunreinigungen günstig beeinflußt hat, hat das Wort „Qualität" nicht mehr so wesentliche Bedeutung bei dem Einkauf von Stahl, wie in früherer Zeit.

Verwendungszweck	Kohlenstoffgehalt v. H.
Maschinenteile, Sensen, chirurgische Instrumente, Schmiede- und Schellhämmer, Ahlen, Döpper, Nietenzieher. Als Schweißstahl zum Verstählen (Anstählen) feiner Werkzeuge	0,60—0,70
Gesenke, Warmmatrizen, Döpper, Hämmer, Stanzen für weiche Bleche, Hand- und Schrotmeißel, Schnitte, Federn	0,70—0,80
Scherenmesser, Lochstempel, Nadeln, Holzbearbeitungswerkzeuge, Gruben- und Steinbohrer auf mildes Gestein, Hämmer für Kesselschmiede, Kreissägen, Matrizen, Gesenke, Spurpfannen, Spurzapfen, Schrotmeißel auf warme Metalle, Preßmatrizen, Federn, Dorne, Körner	0,80—0,90
Für alle Arten Holzsägen und Messer. Für Bearbeitung von Holz (Stechbeitel), Kork, Gummi, Leder, Papier, Tuch, Tabak. Alle Arten Bohrer, Hand- und Preßluftmeißel, Körner, Stempel, Berggezähe, Schrotmeißel auf kalte Metalle, Polierhämmer, Gewinde- und Spiralbohrer, Reibahlen, Fräser, Prägewerkzeuge, Stanzwerkzeuge, Kaltsägen, Metallkreissägen, Gesenke, Bohrer. . . .	0,90—1,05

Verwendungszweck	Kohlenstoffgehalt v. H.
Gewindeschneidbacken, Reibahlen, Spiral- und Gewindebohrer, Prägestempel, Schnitte, Stanzen, Feilen, Feilhauermeißel, Kaltmatrizen, Fräser	1,05—1,15
Bohrer, Feildauermeißel, Feilen, Lochstempel, Drehmesser, Hobel-, Kerb- und Spaltwerkzeuge, Gesteinsbohrer für hartes Gestein, Mühl- und Messerpicken, Schaber, Drehmeißel für Maschinenguß, Spiralbohrer, Reibahlen . .	1,15—1,25
Mühlpicken, Kronhämmer, Graveurwerkzeuge, ärztliche Messer, Sägefeilen, Rasiermesser, Dreh- und Hobelmeißel	1,25—1,35
Dreh-, Hobel- und Stoßmeißel, Rasiermesser, Sägefeilen, Steinbearbeitungswerkzeuge für hartes Gestein . . .	1,35—1,45
Dreh- und Hobelmesser, Rasiermesser, Werkzeuge zum Abdrehen harter Walzen, Gewehrspiralbohrer	1,45—1,60

II. Physikalische Veränderungen im Stahl während der Erhitzung und Abkühlung.

Zum besseren Verständnis der Härtungsvorgänge ist es notwendig, zunächst die physikalischen Veränderungen kennen zu lernen, die vor sich gehen, wenn ein Stück Stahl erhitzt und abgekühlt wird.

1. Thermische Veränderungen.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß Schnee oder Eis flüssig werden, wenn Kochsalz darüber gestreut wird. Wenn aber eine Mischung von Schnee und Kochsalz, die 23,5 v. H. Kochsalz enthält, bei einer Temperatur von — 30° C hergestellt wird, so bleibt sie fest. Wird die bei — 30° C feste Mischung bis auf — 22° C erwärmt, so werden Salz und Schnee anfangen, einander zu durchdringen, um bei weiterer Erwärmung zuerst feucht und dann flüssig zu werden. Bei einer wärmeren Temperatur als — 22° C bleibt die Mischung flüssig, bei einer kälteren als — 22° C wird sie wieder vollständig fest werden und aus getrennten Teilchen von Eis und Salz bestehen, die dicht nebeneinander gelagert sind. Bei — 22° C befindet sich das Gemisch in einem Grenzzustande, es ist weder ganz flüssig noch ganz fest, und es ist, um das Gemisch aus dem einen Zustand in den anderen überzuführen, nötig, daß Wärme hinzugefügt oder fortgenommen wird.

Dieselbe Beobachtung macht man bei der Prüfung einer Mischung von Blei und Antimon. In reinem Zustande schmilzt Blei bei 327° C und Antimon bei 631° C. Wenn man eine Mischung aus sehr feinen Feilspänen herstellt, die 13 Teile Antimon und 87 Teile Blei enthält, diese zu einem festen Stück zusammenpreßt und sie wieder in feine Feilspäne verwandelt, so wird man eine innige Mischung von Blei- und Antimonteilchen erhalten. Wenn die Blei- und Antimonteilchen wieder zusammengepreßt und er-



Abb. 17. Blei-Antimon-Eutektikum. Blei (dunkel) und Antimon (hell). V = 300.

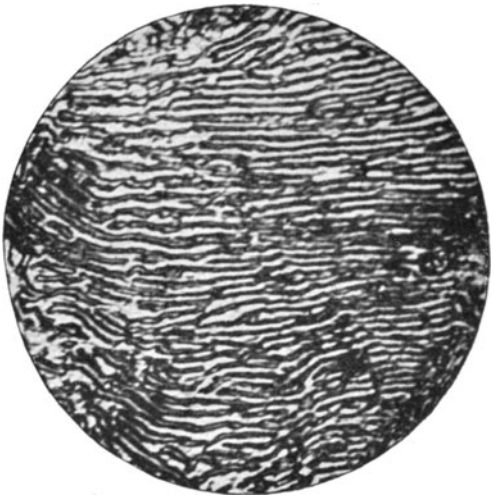


Abb. 18. Eisen-Eisenkarbid-Eutektikum. Perlit. V = 800.

hitzt werden, dann schmelzen sie zu einer vollkommen gleichartigen Flüssigkeit bei etwa 245° C, also bei einer Temperatur, die bedeutend unter dem Schmelzpunkt sowohl des Bleies als auch des Antimons liegt. In der geschmolzenen Mischung ist keines der beiden Metalle für dich erkennbar, aber in festem Zustande wird die Mischung, so oft sie auch immer geschmolzen gewesen ist, aus Teilchen oder Täfelchen von Blei bestehen, die abwechselnd mit Teilchen oder Täfelchen von Antimon gelagert sind (Abb. 17), es wird also ein Eutektikum (eutektisches Gemisch) von Blei und Antimon vorhanden sein. Die Temperatur von 245° C, bei welcher die Mischung während der Abkühlung anfängt, fest zu werden, ändert sich nicht, bis die Masse vollständig fest geworden ist. Auch kann die Temperatur der Masse nicht sinken, ehe dieser Punkt erreicht ist, wobei es gleichgültig ist, ob die Umgebung mehr oder weniger kalt ist. Bringt man in die auf etwa 300° C erhitzte Blei-Antimonmischung ein Thermometer und läßt die Mischung abkühlen, so beobachtet man ein beständiges und gleichmäßiges Fallen des Quecksilberfadens, bis die Temperatur von 245° C erreicht ist. Alsdann wird der Abkühlungsvorgang gehemmt und das Thermometer zeigt ständig die Temperatur an, bei welcher die Umwandlung (Umkristallisation) aus dem flüssigen in den festen Zustand vor sich geht, und erst nach vollständiger Beendigung der Erstarrung wird der Quecksilberfaden des Thermometers weiter fallen. Dieser Abkühlungsvorgang ist durch den Linienzug in Abb. 19 dargestellt.

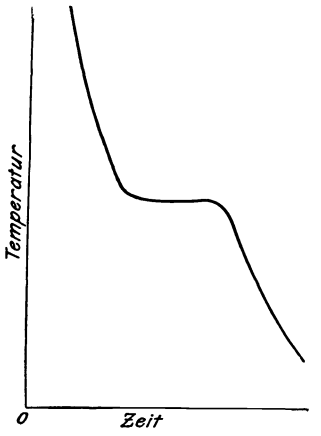


Abb. 19. Abkühlungskurve eines eutektischen Gemisches.

Das thermische Verhalten eines Stückes Werkzeugstahl mit 1 v. H. Kohlenstoff ist dem Salz-Schnee- und Antimon-Blei-Gemisch außerordentlich ähnlich, nur daß die Umwandlungen beim Stahl in festem Zustande vor sich gehen, der Stahl also nicht geschmolzen zu sein braucht. Das Gefüge dieses Stahls bei gewöhnlicher Temperatur ist demjenigen der Blei-Antimon-

legierung sehr ähnlich (vgl. Abb. 4 und 18), und die Gefügeveränderungen, die beim Erhitzen dieses Stahls vor sich gehen, bestehen darin, daß die abwechselnd gelagerten Ferrit- und Zementittäfelchen (Perlit) von einer bestimmten Temperatur an einander durchdringen, sich ineinander lösen, also eine sog. feste Lösung, (Mischkristalle) ergeben, bei der die anfänglichen Gefügebestandteile verschwunden sind. Zur Bildung dieser festen Lösung wird ebenso wie beim Schmelzen der Blei-Antimonlegierung Wärme gebunden, die beim Abkühlen des Stahls, also bei der Rückbildung des Perlits, wieder frei wird.

Unter Berücksichtigung der bei der Umwandlung der Gefügebestandteile des Stahls auftretenden Wärmebindung oder Wärmeabgabe ist man imstande, mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung zur genauen Messung der Temperatur eine Art von thermischer Analyse durchzuführen, d. h. den Zeitpunkt des Beginns der Gefügeveränderungen festzustellen, die bei der Erhitzung oder Abkühlung des Stahls auftreten. Wenn man z. B. einen Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff, dessen Kleingefüge nur aus Perlit besteht (Abb. 11 und 18), in einen Ofen bringt, dessen Temperatur um etwa einen Grad in der Sekunde steigert, dann steigt auch die Temperatur des Stahls um den gleichen Betrag. Durch eine gerade Linie kann man daher die Erhöhung der Temperatur sowohl des Stahls als auch des Ofens darstellen, in dem der Stahl erhitzt wird. Aber bei ungefähr 720° C beginnt ein Zeitraum von vielen Sekunden, während welcher die Temperatur des Stahls selbst nicht steigt, obgleich der Ofen heißer wird. Während dieses Zeitraums gehen die Bestandteile des Perlits, der Ferrit und der Zementit, ineinander über, d. h. sie lösen sich ineinander auf und verbrauchen bei diesem Vorgang eine gewisse Wärmemenge (Umwandlungswärme, Wärmetönung, Wärmeinhalt), ebenso wie Salz eine Wärmebindung hervorruft und ein Kältegemisch erzeugt, wenn es sich in Schnee auflöst. Sobald durch diesen Vorgang die vom Ofen zugeführte Wärme nicht mehr verschluckt wird, steigt die Temperatur des Stahls, bis die Ofentemperatur erreicht ist. Der ganze Vorgang kann durch die Linie *A C M* (Abb. 20) dargestellt werden, die einen Knick bei *C* besitzt. Es ist nicht schwer, mit Hilfe eines empfindlichen und passend aufgestellten Wärmemeßgerätes die Erwärmung eines Stückchens Stahl in der erwähnten Weise zu verfolgen und die Temperatur festzustellen, bei welcher der Punkt oder der Zeitraum *C* erreicht ist. Ihr Er-

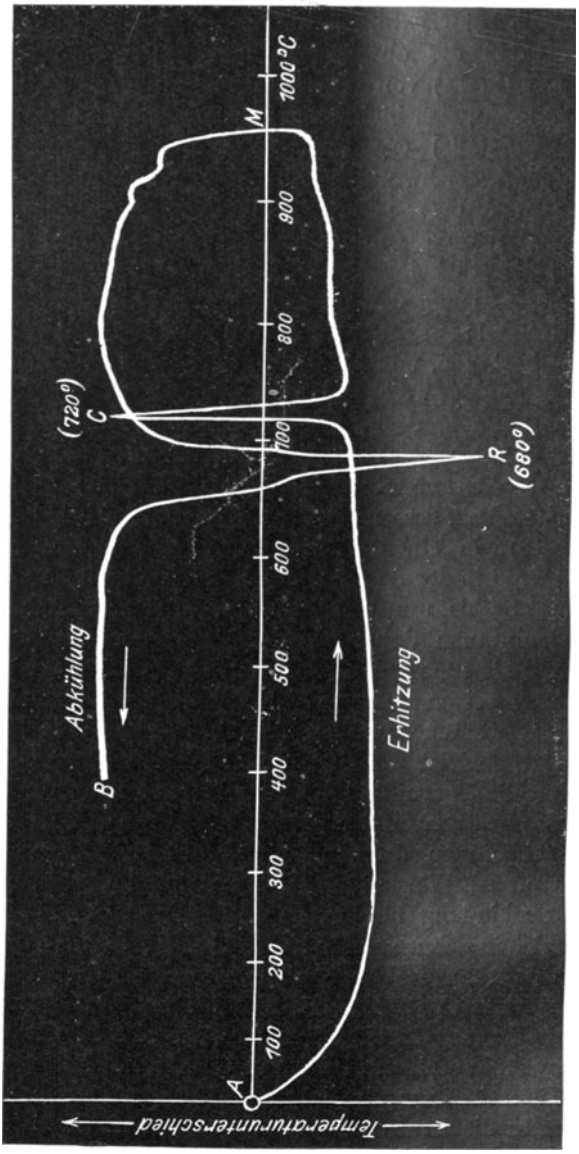


Abb. 20. Haltepunktskurve eines eutektischen Kohlenstoffstahls, aufgenommen mit dem Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin. Nat. Größe.

scheinen fällt natürlich mit Gefügeveränderungen zusammen, die im nächsten Abschnitt besprochen werden sollen und die stattgefunden haben müssen, um die künstliche Härtung des Stahls zu ermöglichen, d. h. also nur dann, wenn ein Stück Stahl über die Temperatur *C* erhitzt worden ist, kann es durch Abschrecken (plötzliches Abkühlen) gehärtet werden. Das Zurückhalten der festen Lösung ist mithin Aufgabe und Zweck des Härtens.

Das Eintreten des Zeitpunktes *C* und die hiermit Hand in Hand gehende Wärmebindung kann leicht in folgender Weise erkannt werden. In ein Schmiedefeuer, das herabgebrannt ist, oder in eine beliebige andere möglichst gleichmäßige Wärmequelle bringe man ein keilförmiges Stück Stahl, z. B. einen Meißel. Nachdem die Schneide des Meißels rotglühend geworden ist, wird seine äußerste Kante plötzlich kälter und dunkler. Das hierbei auftretende dunkle Band schreitet allmählich von der scharfen Kante zum dickeren Teile der Schneide fort und zeigt dadurch die Stelle an dem Meißel an, bei der die Umwandlung vor sich geht. Letztere ist unterhalb dieses Bandes vollendet, während sie oberhalb desselben (im stärkeren Teile des Meißels) noch nicht begonnen hat. Wenn der Meißel abgeschreckt wird, wird er nur bis zu dem dunklen Bande und nicht darüber gehärtet werden. Diese Tatsache hat für das Härten von Meißeln, Mühlpicken, Äxten und zahlreichen anderen Werkzeugen, die vom Schmied, Müller oder Holzhauer gebraucht werden, praktischen Wert, also in Kreisen, in denen Wärmemeßgeräte unbekannt sind. Handwerker, die nicht wissen, um was es sich bei dieser Erscheinung handelt, sehen das Auftreten derselben als eine selbsttätige Anzeigevorrichtung an, durch welche sie erkennen, wann der gewünschte Wärmezustand für das Härten erreicht worden ist.

Kehren wir zur Abb. 20 zurück. Wenn man ein erhitztes Stück Stahl, anstatt es abzuschrecken, allmählich abkühlt, etwa um einen Grad in der Sekunde, so beobachtet man bei einer Temperatur von etwa 680° C einen Zeitraum von vielen Sekunden, während welcher der Stahl sich durchaus nicht abkühlt. Er kann sogar heißer werden, obgleich sich während dieser Zeit der Ofen abkühlt. Beim Abkühlungsprozeß treten also die umgekehrten Veränderungen wie beim Erhitzen des Stahls ein, und daher kann der Vorgang des Abkühlens durch die Linie *M R B* dargestellt werden. Der Haltepunkt bei der Abkühlung fällt mithin für gewöhnlich nicht mit dem der Erhitzung zusammen, es ist also

zwischen diesen beiden Punkten immer ein Temperaturunterschied vorhanden. Ein derartiger Temperaturunterschied tritt aber bei der Bestimmung der Haltepunkte stets auf und die in der Abkühlungskurve gefundenen Haltepunkte liegen bei Kohlenstoffstählen stets tiefer. Diese Erscheinung, die man mit dem Namen Unterkühlung belegt hat, kann man, wie in der Elektrotechnik, auch mit Hysteresis bezeichnen. Sie tritt auch bekanntlich beim Abkühlen von Flüssigkeiten, Lösungen und Metallschmelzen ein. Der Schmelzpunkt z. B. bei Legierungen, der mit dem Haltepunkt in der Erhitzungskurve zu vergleichen ist, liegt theoretisch stets höher als der Erstarrungspunkt, der dem Haltepunkt in der Abkühlungskurve gleicht. Die Temperaturhysteresis ist wiederum in hohem Maße von der Abkühlungsgeschwindigkeit und der Höhe der vorangegangenen Erhitzung abhängig. Je langsamer die Abkühlung erfolgt, um so geringer ist dann die Hysteresis. Die Geschwindigkeit der Erhitzung und Abkühlung ist ebenfalls nicht ohne Einfluß auf die Lage der Haltepunkte. So wurden z. B. bei ein und demselben Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff bei schnellerer Erhitzung und Abkühlung die Haltepunkte C und R bei 740° C bzw. 660° C ermittelt, woraus zu folgern ist, daß bei der Aufnahme von Haltepunktskurven der Ofen und damit die Stahlprobe so gleichmäßig und langsam wie möglich erhitzt und abgekühlt werden müssen, um auswertungsfähige Ergebnisse zu erzielen. Ebenfalls sinkt der Perlitpunkt R mit steigender Erhitzungstemperatur. Beide Knicke bei R und C in Abb. 20, bei denen alle Eigenschaften des Stahls plötzlich verändert werden, sind demnach von hoher Wichtigkeit, ganz besonders aber für den Stahlhärter, und ihre Bedeutung ist, wie schon oben angedeutet wurde, kurz folgende:

Ein Stück Stahl muß, um durch Abschrecken gehärtet zu werden, einige Zeit bei einer Temperatur eben über C (720° C) erhitzt werden. Der so erhitzte Stahl wird auch dann noch gehärtet, wenn er sich vor dem Abschrecken bis auf etwas über R (680° C) abgekühlt hat. Bei einer Temperatur unter R (680° C) tritt eine Härtung des Stahls durch Abschrecken nicht ein.

Die Punkte C (Kaleszenzpunkt) und R (Rekaleszenzpunkt) sind als kritische Punkte, kritische Temperaturen oder Umwandlungspunkte, auch als Haltepunkte bekannt.

Ihre Lage ändert sich bei den gewöhnlichen Arten der Werkzeugstähle nicht viel, obgleich der Kohlenstoffgehalt zwischen 0,6 und 1,7 v. H. schwanken kann [1]). Dagegen verschieben sie sich, wenn Chrom, Wolfram, Nickel oder andere Elemente dem Stahl zugefügt worden sind. Die Haltepunkte der Kohlenstoff-Werkzeugstähle kann man auch, wie es in Amerika geschieht, als Härtegrenze bezeichnen, womit eindeutig die Wesensart derselben festgelegt wird.

Um die Wichtigkeit der Haltepunktskurve des beschriebenen Werkzeugstahls mit 1 v. H. Kohlenstoff verständlicher zu machen, soll ein anderes Beispiel zum Vergleich herangezogen werden.

Im Gegensatz zu den Eisenkohlenstofflegierungen besitzen viele Körper nicht die Eigenschaft, im festen Zustande während der Erhitzung und Abkühlung Umwandlungen einzugehen, mit denen die verschiedenartigen Änderungen chemischer und physi-

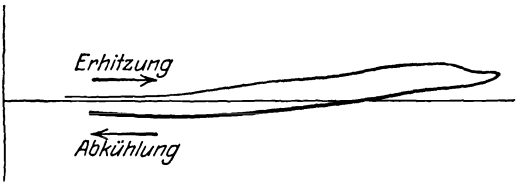


Abb. 21. Erhitzungs- und Abkühlungskurve von Porzellan. $^1/_2$ nat. Größe.

kalischer Natur verbunden sind, die für die Erforschung von Legierungen, wie es bei dem Werkzeugstahl beschrieben worden ist, von großer Bedeutung sind. Ein solcher neutraler Körper ist z. B. das Porzellan, von dem ebenfalls eine Erhitzungs- und Abkühlungskurve aufgenommen wurde, die in Abb. 21 dargestellt sind. Entsprechend der Natur des Porzellans schreitet die Erhitzung stetig, also geradlinig fort, ohne an irgendeiner Stelle der Kurve einen Knick zu zeigen und auch in dem absteigenden Ast der Kurve, die der Abkühlung des Porzellans entspricht, stellen sich keine Veränderungen ein, die Abkühlung schreitet auch hier geradlinig bis zur Ausgangstemperatur weiter. Aus einem oberflächlichen Vergleich beider Linienzüge in Abb. 20 und 21 ist schon ohne weiteres zu entnehmen, daß den Knickpunkten

[1]) Alle Eisensorten mit weniger als 0,6 v. H. Kohlenstoff haben mehrere Haltepunkte. Bei einem Eisen mit etwa 0,16 v. H. Kohlenstoff liegt der oberste Haltepunkt bei ungefähr 845° C, der untere, wie bei allen Eisenkohlenstofflegierungen, bei rund 700° C.

in der Haltepunktskurve des Stahls besondere Bedeutung zukommen muß.

Da Geräte zur Aufnahme thermischer Kurven (Haltepunktskurven, Erhitzungs- und Abkühlungskurven, Wärmekurven) eine wünschenswerte Beigabe zur Ausstattung einer gut eingerichteten Härtungsanlage sind, so ist im letzten Abschnitt eine zweckmäßige Vorrichtung zur Aufnahme von Haltepunktskurven eingehend beschrieben worden (S. 300). Die Haltepunktskurve des eutektischen Kohlenstoffstahls in Abb. 20 mit 1 v. H. Kohlenstoff, 0,2 v. H. Mangan und Spuren von Schwefel und Phosphor ist ebenso wie die Erhitzungs- und Abkühlungskurve des Porzellans in Abb. 21 mit dieser Vorrichtung, dem Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin, aufgenommen worden.

2. Veränderungen des Kleingefüges.

Die Veränderungen, welche beim Erhitzen des Stahls stattfinden, können am leichtesten an einem Stück Werkzeugstahl mit 1 v. H. Kohlenstoff verfolgt werden, dessen Kleingefüge in den Abb. 11 und 18 dargestellt ist. Auf das beim Härten entstehende Gefüge ist natürlich auch die übrige chemische Zusammensetzung namentlich bei Sonderstählen von erheblicher Bedeutung.

Wenn ein Stück von diesem Stahl auf irgendeine Temperatur unter 680° C erhitzt und in kaltem Wasser abgeschreckt wird, dann wird es nicht hart werden und auch sein Gefüge nicht verändern, es wird nur aus Perlit bestehen. Wenn es jedoch auf 750° C erhitzt und dann abgeschreckt wird, d. h. wenn der Stahl mit Gewalt daran gehindert wird, durch langsames Abkühlen in seinen ursprünglichen Zustand zurückzukehren, also der Zerfall der festen Lösung in Perlit oder Perlit und Ferrit unterbunden wird, so erlangt er eine große Härte: der Stahl ist gehärtet, mithin imstande, andere, nicht abgeschreckte Eisensorten zu schneiden. Wenn man jetzt das abgeschreckte Stahlstück schleift und poliert und es mit einem geeigneten Ätzmittel, etwa alkoholischer Salpetersäure, behandelt, so findet man unter dem Mikroskop, daß das perlitische Gefüge vollständig verschwunden, also eine Zustandsänderung eingetreten ist. Man sieht ein Gefüge, welches aus sich kreuzenden Nadeln besteht, während der Perlit bekanntlich parallel zueinander verlaufende Lamellen zeigt. Der Zustand, in dem sich der Stahl nach dem plötzlichen Abkühlen befindet, heißt

martensitischer Zustand, das Gefüge, das in Kohlenstoffstählen nach dem Abschrecken auftritt, heißt Martensit. Abb. 22 stellt das Gefüge eines gehärteten Werkzeugstahls mit 1 v. H. Kohlenstoff dar. Der Unterschied zwischen dem Gefüge des abgeschreckten Stahls und dem Gefüge des normalen, ausgeglühten Stahls in Abb. 11 ist leicht daran erkennbar, daß sich die Martensitnadeln zumeist unter Winkeln von 60° bzw. 120° schneiden, um gleichseitige Dreiecke zu bilden. Mitunter ist der Martensit so feinkörnig, besonders wenn der Stahl, wie in diesem Falle, nur wenige Grade oberhalb 720° C abgeschreckt wurde, daß der nadelige Aufbau des Kleingefüges unter dem Mikroskop nur bei sehr starker Vergrößerung erkannt werden kann (Abb. 23). Gewöhnlich erhält man nur bei kräftigster Abschreckung aus Temperaturen um etwa 900° C schön ausgebildeten mikroskopisch erkennbaren Martensit [1]).

Betrachten wir ferner einen weichen Stahl, der nur 0,35 v. H. Kohlenstoff enthält und dessen Kleingefüge die Abb. 24 veranschaulicht. Es ist ein Stahl mit besonders grobem Korn gewählt worden, um die Gefügeveränderungen besser verfolgen zu können. Schreckt man diesen Stahl unter 680° C ab, so kann auch hier eine Härtung nicht eintreten, die aber beim Abschrecken des Stahls bei 750° C deutlich wahrnehmbar ist. Allerdings ist in diesem Falle die Härtung nicht durchgehend, denn man erkennt unter dem Mikroskop, daß der polierte und geätzte Stahl noch aus hellen und dunkleren Flächen besteht (Abb. 25). Wenn man die hellen Flächen mit einer gehärteten feinen Nadelspitze prüft, so findet man, daß sie trotz der Abschrecktemperatur von 750° C noch weich geblieben sind. Die dunkleren Flächen dagegen lassen sich nicht von der Nadel ritzen, sondern werden

[1]) Rein theoretisch betrachtet ist die oberhalb 720° C bestehende feste Lösung nicht eigentlich Martensit, sondern der weiter unten zu besprechende bei reinen Kohlenstoffstählen nur bei sehr hohen Temperaturen auftretende Austenit. Da aber die Abschreckung bei den üblichen Temperaturen theoretisch niemals vollkommen ist, um die reine feste Lösung Austenit zu ergeben, so ist der Martensit bereits als Zerfallsprodukt des Austenits während der Abschreckung entstanden. Dieser Zerfall läßt sich auch durch schroffste Abschreckung bei den gebräuchlichen Härtungstemperaturen nicht unterdrücken. Da also in richtig abgeschreckten Stählen niemals Austenit auftritt, sondern stets nur Martensit, so ist in den folgenden Ausführungen, wenn von der festen Lösung in abgeschreckten Stählen gesprochen ist, nur von dem Gefüge Martensit die Rede.



Abb. 22. Werkzeugstahl mit 1 v. H. Kohlenstoff bei 740° C in Wasser abgeschreckt. Feinkörniger Martensit.
V = 200.



Abb. 23. Meißelstahl bei 900° C abgeschreckt. Martensit.
V = 600.



Abb. 24. Weicher Stahl mit 0,35 v. H. Kohlenstoff. Ferrit und Perlit. V = 200.

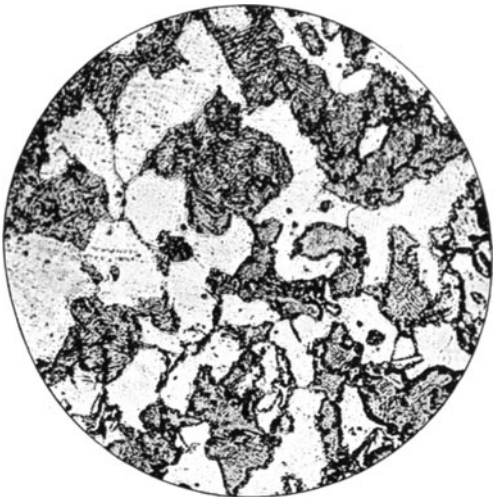


Abb. 25. Weicher Stahl mit 0,35 v. H. Kohlenstoff bei 750° C in Wasser abgeschreckt. Ferrit und Martensit. V = 200.

die Spitze der Nadel umbiegen, sie bestehen also aus dem Gefüge, das den Namen Martensit führt, während die hellen Flächen unveränderten Ferrit darstellen. Das einfachste Mittel, den Unterschied in der Härte dieser beiden Gefügebestandteile zu erkennen, besteht also darin, daß man die geätzte Oberfläche des Probestückes mit einer gehärteten Nadelspitze ritzt und man wird dann finden, daß die dunklen Flächen (Martensit) unverändert bleiben, während die hellen Flächen (Ferrit) tief gefurcht sind.

Beim Vergleich des Gefüges des Stahls in Abb. 24 und 25 beobachtet man, daß die dunklen Flächen nach dem Abschrecken

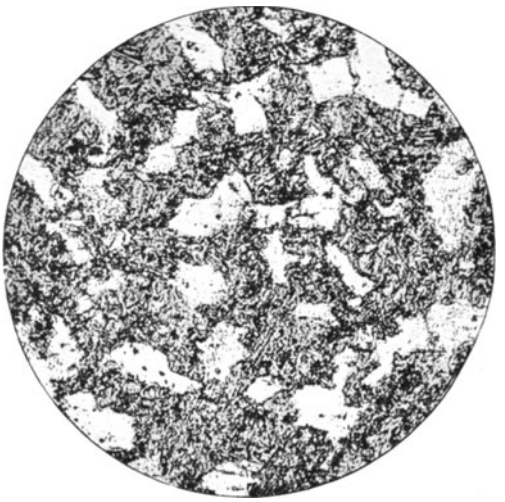


Abb. 26. Weicher Stahl mit 0,35 v. H. Kohlenstoff bei 800° C in Wasser abgeschreckt. Martensit mit wenig Ferrit.
V = 200.

ungefähr denselben Platz im Gesichtsfelde einnehmen wie vorher. Wenn man aber das Probestück, anstatt es nur einige Minuten bei 750° C zu belassen, dieser Temperatur eine längere Zeit aussetzt oder wenn ohne Änderung der Zeit die Temperatur wesentlich über 750° C erhöht wird, dann tritt eine fortschreitende Vermischung (Lösung) des Ferrits und Perlits ein, und schließlich wird die Vermischung bei einer noch höheren Temperatur fast vollständig sein, wie aus Abb. 26 hervorgeht. Eine wesentlich

über 750° C vorgenommene Erhitzung des Stahls bewirkt, daß Ferrit und Perlit vollständig in Martensit übergehen. Aus dem in Abb. 27 zur Anschauung gebrachten Gefüge eines bei 740° C abgeschreckten Stahls mit 0,64 v. H. Kohlenstoff geht ebenfalls hervor, daß bei dieser Temperatur die Umwandlung in Martensit noch nicht vollständig gewesen ist.

Hiermit wird also gesagt, daß das beim Härten entstehende Gefüge von der Höhe der Härtungstemperatur und der Dauer der Erhitzung auf diese Temperatur ganz wesentlich abhängt. Aber auch die Abkühlungsgeschwindigkeit beim Härten, die von



Abb. 27. Stahl mit 0,64 v. H. Kohlenstoff bei 740° C in Wasser abgeschreckt. Martensit, wenig Perlit. V = 200.

der Natur der Härteflüssigkeit, des Abschreckmittels, beeinflußt wird, ist nicht außer acht zu lassen.

Die Eigenschaft, durch Erhitzen und nachfolgendes Abschrecken hart zu werden, geht also bei einem Stahl mit 0,35 v. H. Kohlenstoff, wie überhaupt bei jedem Stahl mit weniger als 1 v. H. Kohlenstoff, in zwei Stufen vor sich:

1. es wandelt sich nur der Perlit in Martensit um und
2. der gebildete Martensit vermischt sich bei höheren Temperaturen auch mit dem Ferrit.



Abb. 28. Werkzeugstahl mit 0,89 v. H. Kohlenstoff bei 820° C in Wasser abgeschreckt. Martensit.
V = 200.



Abb. 29. Werkzeugstahl mit 1,54 v. H. Kohlenstoff bei 1100° C in Wasser abgeschreckt. Grober Martensit.
V = 200.



Abb. 30. Werkzeugstahl (Fräserfeile) mit 1,23 v. H. Kohlenstoff in Wasser abgeschreckt. Austenit zwischen den Martensitnadeln.
V = 200.



Abb. 31. Werkzeugstahl mit 1,57 v. H. Kohlenstoff bei 1350° C in Wasser von 5° C abgeschreckt. Grobe Martensitnadeln im Austenit.
V = 350.

Wenn aber in einem Stahl nur Perlit und kein Ferrit vorhanden ist, wenn also der Stahl 1 v. H. Kohlenstoff enthält, dann hat es keinen Zweck, den Stahl übermäßig lange bei derjenigen Temperatur zu erhitzen, bei welcher der Perlit in Martensit übergeht, noch die Temperatur wesentlich zu erhöhen, da die unter 2. erwähnte und erst bei höheren Temperaturen vor sich gehende Veränderung aus Mangel an Ferrit überhaupt nicht eintreten kann. Aus diesem Grunde ist es erklärlich, daß das Abschrecken der höher gekohlten Stähle zur Erzielung der größten Härte bei einer niedrigeren Temperatur stattfinden muß als bei Stählen mit weniger als 1 v. H. Kohlenstoff. Es ist aber irrig anzunehmen, daß Stahl, der ungefähr 0,6 v. H. Kohlenstoff enthält, überhaupt nicht bei der niedrigsten Temperatur gehärtet werden könnte, die bei einem Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff ausreichend ist. Dieselbe Veränderung geht in beiden Stahlsorten bei annähernd derselben Temperatur vonstatten, nur mit dem Unterschiede, daß bei dem Stahl mit 0,60 v. H. Kohlenstoff eine höhere Temperatur, die bis zu 850° C steigen kann, da der oberste Haltepunkt alsdann überschritten ist, nötig ist, um den Ferrit zu zerstören, der z. B. in Abb. 26 noch sichtbar ist, wogegen im letzteren Falle diese Erwägung sich nicht aufdrängen kann, weil kein freier Ferrit mehr im Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff vorhanden ist. Die Höhe der Abschrecktemperatur ist also abhängig von der Höhe des Kohlenstoffgehaltes.

Das Abschrecken eines Stückes Stahl aus einer Temperatur, bei der Perlit in Martensit übergeht und die als die niedrigste Härtungstemperatur bezeichnet wird, liefert also ein Material, dessen Kleingefüge von demjenigen des ursprünglichen Stahls wesentlich verschieden ist. Wenn man jedoch den bis auf die Härtungstemperatur erhitzten Stahl langsam abkühlen läßt, so zeigt er nach dem Abkühlen wieder das ursprüngliche Kleingefüge. Beim langsamen Abkühlen treten also in einem Stahl die umgekehrten Veränderungen ein, die beim Erhitzen vor sich gehen. Dies bedeutet, daß der Ferrit, der als der letzte Gefügebestandteil in einem weichen Stahl beim Erhitzen verschwand, der erste ist, der beim Abkühlen wieder erscheint. Wenn auch der Ferrit beim Abkühlen zunächst sehr langsam erscheint, so nimmt er doch schließlich im Stahl denselben Raum ein wie vor dem Erhitzen. Gleichzeitig mit der Rückbildung des Ferrits werden auch wieder unter dem Mikroskop die dunklen Flächen beobachtet, die aus Ferrit und

Zementit bestehen und die als Perlit bezeichnet werden. Wenn einmal die Temperatur des Stahls bis zur Perlitbildung gesunken ist, dann kann durch kein noch so kräftiges Abschrecken irgendeine Härtung erzielt werden, und zwar deshalb nicht, weil der die Härte des Stahls bedingende Martensit in dem betreffenden Stahl sich nicht entwickeln kann. Die beim langsamen Abkühlen eines erhitzten Stahls vor sich gehenden Veränderungen sind aus den Abb. 24 bis 26 ersichtlich, wenn dieselben in umgekehrter Reihenfolge betrachtet werden.



Abb. 32. Wie Abb. 30.
V = 600.

Erhitzt man einen Stahl zum Zwecke des Härtens erheblich über seine niedrigste Härtungstemperatur (überhitzte Härtung), so wird, wie bereits betont, der Martensit, der bei dieser niedrigsten Temperatur sehr feinkörnig ist (Abb. 22), immer gröber und natürlich wird auch der Stahl immer spröder. In den Abb. 29 bis 32 sind einige Kleingefügebilder von gehärteten Stählen zusammengestellt, aus denen die Vergröberung des Martensits bei hohen Härtungstemperaturen deutlich hervortritt. Bei sehr hoher Temperatur verschwindet der Martensit allmählich, um einem neuen Gefügebestandteile Platz zu machen, der im Gegensatz



Abb. 33. Werkzeugstahl mit 1,23 v. H. Kohlenstoff bei 1250° C in Wasser abgeschreckt. Polyederstruktur.
V = 200.

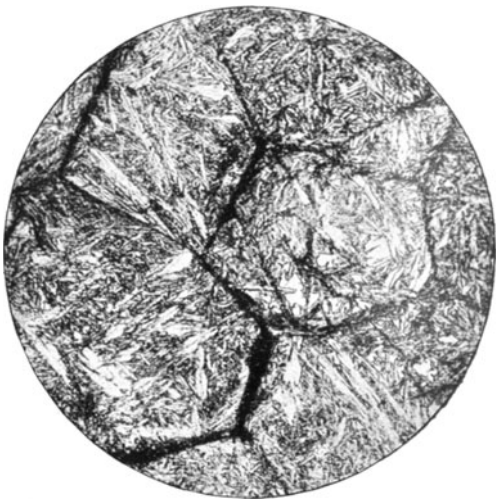


Abb. 34. Werkzeugstahl mit 1,54 v. H. Kohlenstoff bei 1280° C in Wasser abgeschreckt. Härterisse.
V = 200.

zum Martensit kein ausgeprägtes Aussehen besitzt und nach dem Ätzen eines solchen Stahls mit alkoholischer Salpetersäure gewöhnlich als weiße Fläche unter dem Mikroskop erscheint. Dieser Gefügebestandteil, der in Stählen nur bei hohen Härtungstemperaturen (oberhalb 1000° C) auftritt und die eigentliche feste Lösung von Eisenkarbid in Eisen darstellt, heißt Austenit (vgl. Anm. S. 29), der um so gröber ist, je höher Härtehitze und Kohlenstoffgehalt sind. Für den Stahlhärter hat dieser Gefügebestandteil weniger Bedeutung. Sein Auftreten ist ein Zeichen dafür, daß der Stahl

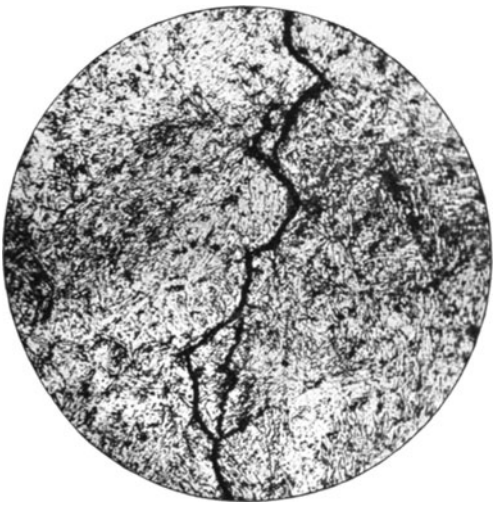


Abb. 35. Elektro-Schnelldrehstahl mit 0,57 v. H. Kohlenstoff, 14,54 v. H. Wolfram und 4,55 v. H. Chrom bei 1250° C in Talg abgeschreckt. Härteriß. V = 200.

aus sehr hoher Temperatur, die bei gewöhnlicher Härtung nicht angewendet werden darf, abgeschreckt wurde. In hoch erhitzten und dann abgeschreckten reinen Kohlenstoffstählen tritt der Austenit, der im Gegensatz zum Martensit verhältnismäßig weich ist, nur selten rein auf, er ist fast immer mit Martensit vermischt. In den Abb. 30 bis 32 sind die zwischen den Martensitnadeln vorhandenen hellen Flächen als Austenit (austenitische Grundmasse) zu bezeichnen.

Da, wie bemerkt, ein Stahl mit martensitischem Kleingefüge spröde ist, so neigen martensitische Stähle, besonders wenn der Martensit grob ist, sehr leicht zur Bildung von Rissen (Härte-



Abb. 36. Werkzeugstahl mit 1,54 v. H. Kohlenstoff bei 1350° C in Wasser abgeschreckt. Ledeburit in Austenit-Martensit.
V = 200.

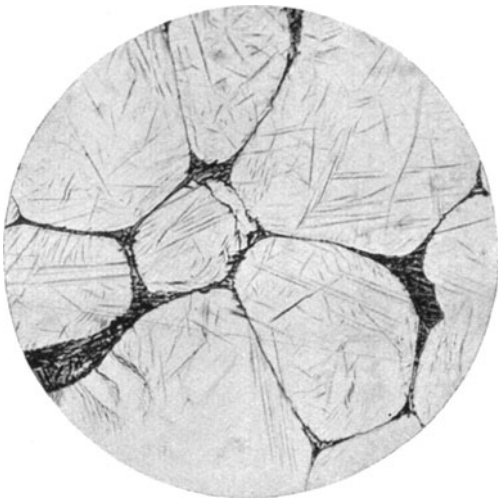


Abb. 37. Wie Abb. 36. Mit Natriumpikrat geätzt.
V = 200.

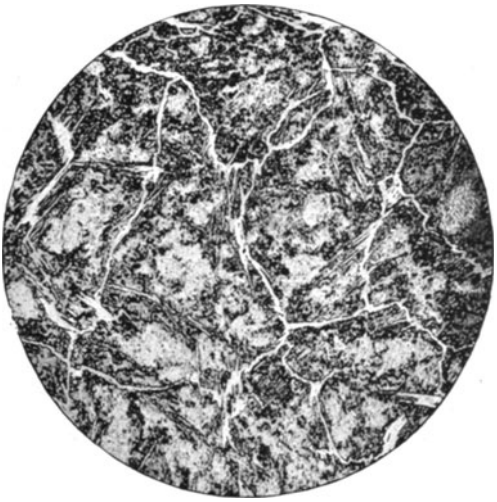


Abb. 38. Werkzeugstahl mit 1,23 v. H. Kohlenstoff bei 750° C in Wasser abgeschreckt. Zementitadern im Martensit.
V = 200.



Abb. 39. Kleingefüge der Schneide eines Drehmessers. Zementitkörner im Martensit.
V = 200.

rissen), die meist in Richtung der Grenzflächen (Kristallfugen) der einzelnen Körner, die gewöhnlich von polyedrischer Gestalt sind (Abb. 33), verlaufen (Abb. 34 und 35). Die Abb. 34 zeigt den ausgeprägten Verlauf von Härterissen in hochgekohlten und aus sehr hoher Temperatur abgeschreckten Kohlenstoff-Werkzeugstählen. Bei Schnelldrehstählen, die bei sehr hoher Temperatur gehärtet werden müssen und die hierbei des öfteren ebenfalls ein martensitisches Gefüge annehmen, treten ganz ähnlich verlaufende Härterisse auf (Abb. 35), deren Zustandekommen gleichen Ursachen zuzuschreiben ist. Im allgemeinen zeigen Werkzeuge, die aus einem Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt in der Nähe von 1 v. H. haben, gegenüber Werkzeugen mit höherem und niederem Kohlenstoffgehalt beim Härten unter sonst gleichen Verhältnissen die größere Neigung zu Härterißbildungen.

Der Vollständigkeit halber soll hier noch ein Gefügebestandteil besprochen werden, der in hochkohlenstoffhaltigen Stählen auftritt, wenn dieselben aus sehr hohen Temperaturen abgeschreckt werden. Es ist dies der sog. Ledeburit (Abb. 36), der meist neben Martensit und Austenit erscheint. Er ist ein ausgesprochener Gefügebestandteil (Eutektikum) des weißen Roheisens und enthält 4,2 v. H. Kohlenstoff. Ein richtig gehärteter Werkzeugstahl besitzt diesen Gefügebestandteil nicht, sein Auftreten läßt den Schluß zu, daß ein hochgekohlter Stahl in unmittelbarer Nähe seines Schmelzpunktes abgeschreckt wurde. Durch Natriumpikrat wird auch der Ledeburit dunkel gefärbt (Abb. 37). Er besitzt eine höhere Härte als die Grundmasse und ähnelt auch sonst in seinen Eigenschaften dem reinen Zementit.

Die genaue Kenntnis der Gefügeänderung in abgeschreckten Stählen ist deshalb von großer Wichtigkeit, weil man aus dem Vorhandensein der verschiedenen Gefügebestandteile nachträglich auf die Höhe der angewendeten Härtungstemperatur schließen kann. Deshalb ist es auch möglich, die Arbeit des Härtens zu überwachen und festzustellen, ob die an den gehärteten Werkzeugen auftretenden Mängel einer unrichtigen Arbeitsweise beim Härten zuzuschreiben sind.

Alle Stahlsorten mit mehr als 1 v. H. Kohlenstoff enthalten, wie oben auseinandergesetzt wurde, freien Zementit, und zwar meist in Form eines Netzwerks. Dieser Bestandteil ist auch in gut gehärteten Werkzeugen ziemlich reichlich vorhanden (Abb. 38). Er ändert beim Erhitzen des Stahls seine Lage nicht, noch werden

durch seine Anwesenheit die physikalischen Eigenschaften des gehärteten Stahls geändert, wenn nicht der Stahl zufällig weit über seine niedrigste Härtungstemperatur erhitzt und dadurch der Zementit zum Verschwinden, zur Auflösung, gebracht wurde. Diese Veränderung geht bei etwa 900° C vor sich, und solcher Stahl zerspringt dann leicht beim Härten. Derartige Sprünge haben eine große Neigung, sich in der Richtung der Begrenzungsebenen der einzelnen Körner auszudehnen. Durch anhaltendes Schmieden eines rohen Stabes wird das Zementitnetz zerstört, der Zementit tritt dann in einzelnen winzigen Körnern auf, die infolge ihrer

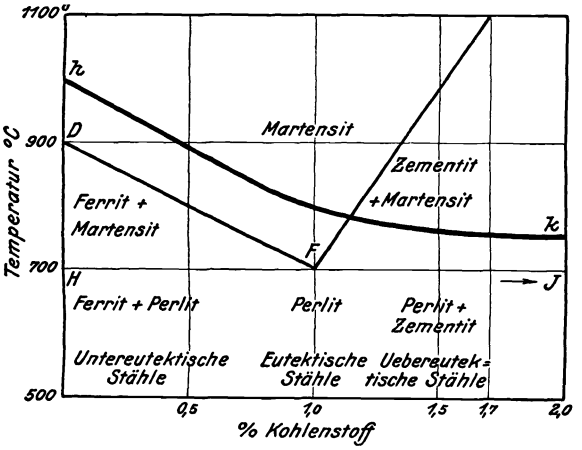


Abb. 40. Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstofflegierungen von 0 bis 1,7 v. H. Kohlenstoff nebst ihren zweckmäßigen Härtungstemperaturen (Linie *h*—*k*).

großen natürlichen Härte in Gemeinschaft mit dem sie umgehenden feinkörnigen Martensit besonders gehärteten feinen Schneidwerkzeugen eine ausgezeichnete Härte und Schneidfähigkeit verleihen (Abb. 39). Trotz dieser eingelagerten Zementitkörner wird jedoch dem gehärteten Stahl immer noch eine gewisse Sprödigkeit verbleiben.

Der Gebrauch von Stahlsorten, die freien Zementit enthalten, ist, wie auf S. 16 erörtert wurde, nur für Werkzeuge gestattet, die keinen starken Schlägen oder Stößen ausgesetzt sind. Da aber der Zementit härter als irgendein anderer, sei es natürlich vorkommender oder künstlich hergestellter Gefügebestandteil des

Stahls ist, so ist ein Werkzeugstahl mit freiem Zementit dort mit Vorteil anzuwenden, wo die mechanische Abnutzung, wie an der Spitze eines Drehstahls oder an dem Lochrande eines Zieheisens, möglichst gering sein soll.

In dem Schaubild in Abb. 40[1]) sind in den einzelnen Feldern alle diejenigen Gefügebestandteile angegeben, die in einem ungehärteten und richtig gehärteten Werkzeugstahl vorkommen. Die stark ausgezogene Linie gibt die geeignetsten Härtungstemperaturen für Stähle mittlerer Stückgröße an. Sie steht in Beziehung zum Kohlenstoffgehalt und zu den entsprechenden kritischen Temperaturen. Für Stähle unter 1 v. H. Kohlenstoff, also für untereutektische Stähle, liegt die Linie oberhalb der Umwandlungszone, für eutektische Stähle bei etwa 740—780° C und bei den übereutektischen Stählen mit wachsendem Kohlenstoffgehalte nähert sich die Linie der Umwandlungstemperatur der eutektischen Stähle. Die Linie *H J* wird die eutektische Gerade (eutektische Linie) genannt, auf der die untersten Haltepunkte, während auf der Linie *D F* die obersten Haltepunkte liegen. Der Punkt *F* ist der eutektische Punkt (Perlitpunkt). Die Abb. 40 stellt mithin nur den Teil des sog. Zustandsdiagramms der Eisenkohlenstofflegierungen dar, der für den Werkzeugstahlfabrikanten und Stahlhärter von Wichtigkeit ist. Dieses Zustandsdiagramm in großer Zeichnung sollte in keiner Härterei fehlen und neben sonstigen Tafeln über Härteskalen und Stahlqualitäten dem Härter stets vor Augen sein, der bei Kenntnis des Kohlenstoffgehaltes eines Stahls, der ihm zum Härten übergeben wurde, sofort aus dem Schaubild entnehmen kann, welche Härtungstemperatur gewählt werden muß.

3. Veränderungen der Form und des spezifischen Gewichts.

Die an verschiedenen Seiten und Formen eines Stahlstückes beim Härten auftretenden verschiedenen Verwerfungen bergen eine endlose Quelle von Mißerfolgen besonders bei der Anfertigung von Lehren und Feinwerkzeugen in sich. Wie erfreut würde man über einen Stahl sein, der sich beim Härten weder ausdehnt, noch zusammenzieht, oder selbst über einen Stahl, dessen Änderungen in den Abmessungen beim Härten im voraus bestimmt

[1]) Vgl. Mars, a. a. O. S. 173.

werden könnten. Ein solcher Idealstahl ist aber bis jetzt noch nicht hergestellt worden, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil die wegen der Härtung notwendige Erhitzung des Stahls eine Änderung seines Gefüges veranlaßt, die unbedingt auch eine Änderung der äußeren Gestalt des Stahls herbeiführen muß.

Das Volumen eines Stückes Stahl nimmt beim Härten immer zu, obgleich gewöhnlich ein Stab kürzer und eine Platte, eine Scheibe oder ein Stahlblech sowohl kürzer als auch schmäler wird, um dafür in der Stärke so viel zu gewinnen, daß tatsächlich eine Vermehrung des Volumens nach der Härtung nachweisbar ist. Ein Würfel gibt beim Härten, besonders nach mehrmaliger Härtung, seine Würfelform auf, indem sich die Ecken und Kanten nach außen verziehen und zuweilen sogar die Mittelpunkte der Flächen nach dem Schwerpunkt zustreben (Abb. 41, übertrieben gezeichnet). Im Vergleich zum Würfel erleidet die Kugel beim Härten nur eine sehr geringe Oberflächenvergrößerung, wobei sie stets ihre Kugelform beibehält [1]).

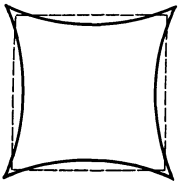


Abb. 41. Formänderung eines Würfels aus eutektischem Kohlenstoffstahl nach mehrmaliger Härtung.

Die beim Härten entstehenden Formveränderungen kann man genau feststellen. Werkstücke mit Bohrungen, in die vor der Härtung ein Dorn genau passend durchgeführt werden kann, nehmen nach dem Härten den Dorn nicht mehr auf, da die Bohrungen enger geworden sind.

Lehrreiche Versuche über Längenänderungen an gehärtetem Stahl, insbesondere an Maßkörpern, haben Leman und Werner durchgeführt [2]). Sie fanden, daß die unmittelbare Einwirkung des Härtens sowohl in Verlängerungen als auch Verkürzungen bestehen kann. In der Praxis sind zwei Verfahren üblich, die störenden Längenveränderungen auf ein Mindestmaß herabzudrücken. Das eine Verfahren besteht darin, die Härtung nicht über den ganzen Körper, sondern nur über die der Abnutzung ausgesetzten Stellen auszudehnen: bei langen Endmaßen die Enden, bei Rachenlehren die Backen in der Nähe der Tastflächen usf. zu härten. Bei dem zweiten Verfahren wird der Maßkörper einer künstlichen Alterung unterworfen, um den natürlichen Aus-

[1]) Mars, a. a. O. S. 110.
[2]) Werkstattstechnik 1911, S. 453.

gleich der beim Härten aufgetretenen Spannungen zu beschleunigen, die auf Änderungen in den ursprünglichen Abmessungen, hervorgerufen durch die beim Erhitzen vor sich gehenden Gefügeveränderungen, zurückzuführen sind. Dieses Verfahren wird als Temperungsverfahren bezeichnet und beruht auf der Beobachtung, daß eine vorübergehende Erwärmung des gehärteten Stahls auf etwa 150—200° C den Härtegrad nicht oder sehr wenig herabsetzt, andererseits aber bei genügend langer Dauer oder mehrfacher Wiederholung die Härtespannungen nahezu beseitigt. Diesem jetzt allgemein in der Technik angewendeten Verfahren werden nicht nur Maßkörper, sondern auch Feinwerkzeuge, Bohrer, Fräser, Reibahlen usw. unterworfen, um ein Verziehen derselben zu verhüten. Bei stählernen Maßkörpern, die in ihrer ganzen Länge der Härtung unterworfen worden sind, genügt nach Leman und Werner eine etwa 10stündige Temperung im Ölbade bei etwa 150° C, um die Härtespannungen sicher zu beseitigen, ohne die Härte zu beeinflussen. So behandelte Bohrer bleiben dauernd unveränderlich.

Als Regel kann angenommen werden, daß abgeschreckter Stahl sich meist senkrecht zu seinen größten Begrenzungsflächen ausgedehnt hat, während nach anderen Richtungen oft Verkürzungen auftreten. Die Ursache für die Zunahme in der Größe ist die, daß der Martensit, der sich oberhalb des Kaleszenzpunktes aus dem Perlit bzw. Perlit und Ferrit bildet und dann durch plötzliches Abkühlen im Stahl festgehalten wird, ein geringeres spez. Gewicht besitzt als die Bestandteile, aus denen er entstanden ist. Deswegen ist im allgemeinen die Zunahme im Volumen um so größer, je schneller und schroffer die Abkühlung oder je höher die Abschrecktemperatur (innerhalb gewisser Grenzen) ist, während ein Werkstück, das auf hohe Temperatur erhitzt wurde und langsam abkühlt, seine ursprüngliche Form wieder zurückerhält, ebenso wie ein gehärtetes Stück, das wieder ausgeglüht worden ist.

Von Fromme[1]) wurde eine Reihe von Stahlstäben von verschiedenen Stärken unter denselben Bedingungen gehärtet und darauf angelassen. Er bestimmte dann ihr Volumen, indem er das Volumen des ungehärteten Stahls als Einheit setzte, und erhielt dann als spezifische Volumina folgende Werte:

[1]) Wiedemanns Annalen 1879, S. 352.

Eigenschaft des Stabes	Spezifisches Volumen des Stabes von 7 mm Durchmesser	Spezifisches Volumen des Stabes von 4,2 mm Durchmesser	Spezifisches Volumen des Stabes von 2,65 mm Durchmesser	Spezifisches Volumen des Stabes von 2,55 mm Durchmesser
ungehärtet	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
größte Härte . .	1,00772	1,01000	1,01285	1,01210
angelassen, gelb .	1,00347	1,00495	1,00660	1,00620
„ blau .	1,00217	1,00425	1,00370	1,00205
„ grau .	0,99957	1,00060	1,00055	0,99930
ausgeglüht	—	1,00175	1,00215	1,00340

Diese Zahlen zeigen nicht nur, daß beim Härten Werkzeuge von geringerem Querschnitte eine größere Zunahme ihres Volumens

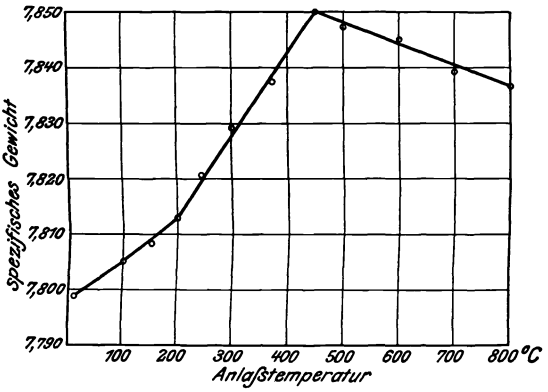


Abb. 42. Beziehung zwischen spezifischem Gewicht und Anlaßbehandlung eines Kohlenstoffstahls mit 0,83 v. H. Kohlenstoff nach dem Abschrecken von 800° C. Nach Maurer.

erfahren, sondern daß auch das Anlassen das Volumen verringert. Die Änderung im spez. Gewicht eines bei 800° C gehärteten und bei verschiedenen Temperaturen angelassenen Stahles mit 0,83 v. H. Kohlenstoff hat Maurer[1]) untersucht, dessen Versuchsergebnisse als Schaubild in Abb. 42 dargestellt sind, aus dem sich ergibt, daß die spezifischen Gewichte mit steigender Anlaßtemperatur größer werden, daß sich der Stahl also zusammenzieht. Bei etwa 450° C besitzt der Stahl sein kleinstes Volumen, um sich dann wieder bei weiter wachsenden Anlaßhitzen auszudehnen.

[1]) Metallurgie 1909, S. 33.

Neben den Änderungen im spez. Gewicht, über welche der Stahlhärter vollkommen ausreichend unterrichtet ist, gibt es noch eine andere Veränderung, die beim Abkühlen des Stahls (und in umgekehrter Weise beim Erhitzen) vor sich geht, der weniger Beachtung geschenkt wird, obgleich ihre Wirkungen sich oft sehr unangemehm bemerkbar machen. Beim langsamen Abkühlen eines auf etwa 900° C erhitzten Stahlstabes verkürzt er sich in der Länge allmählich und gleichmäßig, bis eine Temperatur von ungefähr 700° C erreicht ist. Die Zusammenziehung hört dann auf und eine merkliche Ausdehnung beginnt, also da, wo die ther-

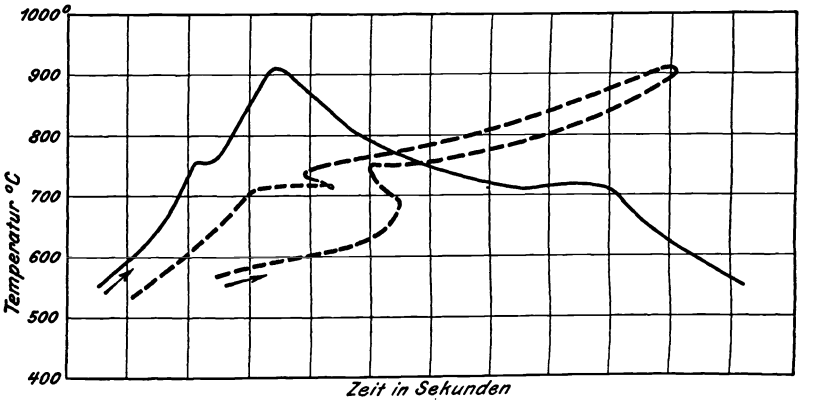


Abb. 43. Zusammenhang zwischen Haltepunkte und Längenänderungen eines erhitzten und abgekühlten Stahls.

mische Kurve einen Haltepunkt beim Fallen der Temperatur zeigt (vgl. Abb. 20). Die Haltepunktskurve und die Ausdehnungskurve für Stahl mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff, die gleichzeitig mit einem besonderen Gerät für Haltepunktsbestimmungen aufgenommen wurden, sind in Abb. 43 dargestellt. Der Anfang beider Kurven ist durch die Pfeile gekennzeichnet. Der rechte Ast der punktierten Kurve (Ausdehnungskurve) steigt allmählich bis auf 900° C an, um dann wieder bis nahe zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Die Knickpunkte in dieser Kurve, die der Ausdehnung bzw. Zusammenziehung des Stahls entsprechen, stimmen überein mit den Knickpunkten in der ausgezogenen Haltepunktskurve, bei welcher der Knick in dem aufsteigenden Ast dem Kaleszenzpunkt (C) und der Knick in dem absteigenden Ast dem Rekaleszenz-

punkt (R) entspricht. Die Knickpunkte der Haltepunktskurve und der Ausdehnungskurve liegen bei denselben Temperaturen[1]). Hieraus geht hervor, daß mit Gefügeänderungen auch immer Änderungen der Form des Werkstückes Hand in Hand gehen.

Die Ausdehnung während des Abschreckens von Stahl macht sich in sehr unangenehmer Weise bei großen Gegenständen von kreisrundem Querschnitt bemerkbar. Allgemeiner gesprochen besagt dies, daß die Bruchgefahr beim Härten eines Stückes Rundstahl, der Glashärte auf der Oberfläche verlangt, mit seinem Durchmesser zunimmt. Kleine Stahlwalzen, Kaliberbolzen, große Gewindebohrer, Reibahlen usw. werden meist in ihrer ganzen Länge aufreißen, wenn sie nicht sorgfältig beim Härten behandelt werden. Es wird häufig angenommen, daß solche Werkstücke aufreißen, weil „die äußeren Teile über die inneren beim Abkühlen schrumpfen. Dies ruft eine Druckwirkung der Innenseite auf die Außenseite hervor, die um so größer wird, je größer die Temperatur auf der Außenseite ist, d. h. je dicker der Stahl ist."

Es ist schwer, der vorstehenden Erklärung zu folgen, und man wird dieselbe besser durch die klarere Darstellung, die aus Abb. 43 abzuleiten ist, ersetzen. Wenn nämlich die Außenseite eines runden Stahlgegenstandes ganz hart wird, bevor der innere Teil sich unter diejenige Temperatur abgekühlt hat, bei welcher die kritische Ausdehnung vor sich geht, dann muß das gehärtete Äußere, weil es nicht nachgeben kann, beim Einsetzen der kritischen Ausdehnung aufreißen. Das Aufreißen eines gehärteten Stahlzylinders durch Expansivkräfte des Stahlkernes geht leicht vonstatten. Das Auftreten von Brüchen bei runden Stäben ist auf S. 81 besprochen und die geeignete Behandlungsweise zur Vermeidung von Bruch bei grobgezähnten zylindrischen Werkzeugen auf S. 136 dargelegt worden. Die Gewohnheit, die Mitte von Stahlwalzen, großen Kaliberbolzen usw. vor dem Härten auszubohren, um Sprüngen vorzubeugen, erleichtert die Abkühlung der inneren Teile unter die kritische Temperatur, ehe die äußere Schicht durch das Abschrecken völlig kalt und hart wird (s. S. 150).

[1]) Vgl. auch Driesen, Ferrum 1914, S. 129 und 161 und 1915, S. 27.

III. Fehler und Bruchaussehen des Rohstahls.

Die nachstehenden Ausführungen müßten eigentlich auf die Betrachtungen der beim Schmieden vorkommenden Arbeiten folgen. Da jedoch der Werkzeugfabrikant fertige Stahlstangen als Rohmaterial ansieht, so muß er imstande sein, vor Beginn seiner eigenen Arbeit jene äußerlichen Fehler am Rohstahl zu erkennen, die leicht zu Mißerfolgen bei der Wärmebehandlung des aus dem Rohstahl gefertigten Werkzeuges führen können.

Ein roher Gußstahlblock ist nicht überall von gleicher Beschaffenheit. Abgesehen von ungenügender Durchmischung des flüssigen Stahls während des Gießens, was allerdings bei Stahlblöcken, die aus kleinen Schmelztiegeln gegossen worden sind, seltener vorkommen wird, ist auch noch die Möglichkeit zur Entstehung von Lunkern, Gußblasen, Schlackeneinschlüssen usw. vorhanden.

Der Lunker kann als derjenige Hohlraum bezeichnet werden, der durch das Schwinden in einem Stahlblock entsteht, und zwar dadurch, daß das geschmolzene Metall allmählich aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeht. Um das Lunkern nach Möglichkeit zu vermeiden, wendet man besonders bei Flußstahl-, aber auch bei Gußstahlblöcken den verlorenen Kopf an, d. h. man gibt dem Gußblock eine größere Höhe als er nach dem Erstarren haben soll und schneidet nach dem Erstarren den oberen Teil, den verlorenen Kopf, ab. Der verlorene Kopf bewirkt, daß das Innere des eigentlichen Blocks möglichst lange flüssig bleibt. Hierdurch wird erreicht, daß das Metall aus dem verlorenen Kopf in dem Maße nachfließt, wie das Schwinden im Inneren des Blocks vor sich geht. Die mit der Anwendung des verlorenen Kopfes verbundenen Vorteile sind um so größer, je länger der verlorene Kopf flüssig erhalten wird. Um dies zu erreichen, bedeckt man ihn häufig mit Brennstoff, gewöhnlich Holzkohlenstaub, der durch das flüssige Eisen zur Entzündung kommt und hierdurch einen Teil

seiner Verbrennungswärme auf den verlorenen Kopf überträgt. Zwar verhindert die brennende Holzkohle, daß die Temperatur im oberen Teile des verlorenen Kopfes sinkt und daher erhält er auch die obere Schicht des eigentlichen Gußblocks länger in flüssigem Zustande, aber zu gleicher Zeit wird die obere Schicht durch den

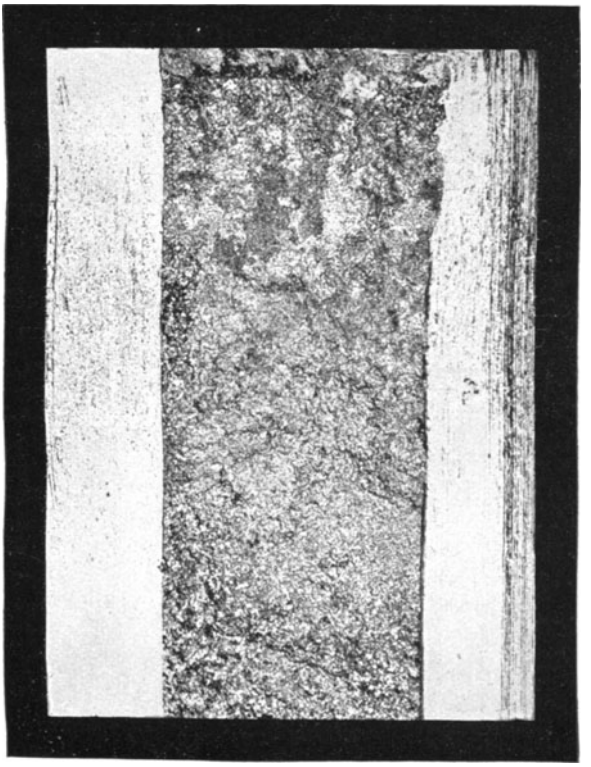


Abb. 44. Innenkohlung eines Gußblocks durch Holzkohle.

verwendeten Brennstoff gekohlt, zumindest tritt aber eine starke Kohlung des verlorenen Kopfes ein.

Solange der flüssige Stahl sich gleichmäßig abkühlt, werden in dem verlorenen Kopfe die obersten Lagen, die später von dem Block getrennt werden, gekohlt, wogegen nichts einzuwenden ist. Wenn jedoch ein Teil des stark gekohlten, noch flüssigen verlorenen Kopfes Gelegenheit findet, in das Innere des Blocks zu laufen,

was auf eine zu geringe Größe des verlorenen Kopfes oder auf eine teilweise Erstarrung der äußeren Teile des Gußblocks zurückgeführt werden kann, dann erhält man in dem eigentlichen Gußblock einen hochgekohlten Kern (Abb. 44). Eine Stange, die hochgekohlte Anteile aus dem verlorenen Kopf enthält, würde in der Mitte bis auf einen gewissen Teil ihrer Länge viel härter als an anderen Stellen sein. Dieser Unterschied in der Härte läßt sich schon an der Bruchfläche der Stange erkennen, indem der harte kohlenstoffreiche Kern ein feineres Korn aufweist und noch schärfer tritt der Unterschied auf einem polierten und dann geätzten

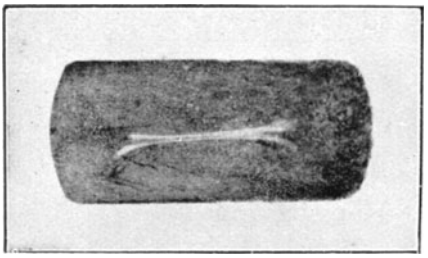


Abb. 45. Querschnitt eines Meißels mit hochgekohltem Kern.

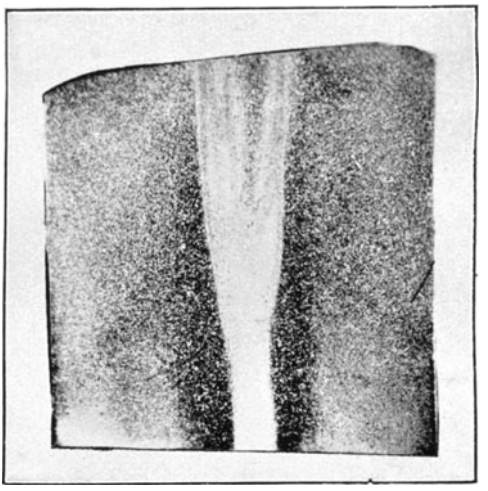


Abb. 46. Längsschnitt einer Stahlstange aus einem Gußblock mit hochgekohltem Kern.

Schliff des Querschnittes der Stange hervor. Das Aussehen eines Querschnittes von einem Meißel mit harter Mitte ist in Abb. 45 wiedergegeben. Eine Stahlstange mit harter Mitte ergibt Meißel,

die Neigung zum Absplittern an der Schneidkante besitzen. Abb. 46 zeigt einen Längsschnitt durch eine Stange aus einem Gußblock mit hochgekohltem Kern. Hätte man diese Stange zu Werkzeugen verarbeitet, so würden sie je nach der Art ihrer Verwendung Mängel aufweisen, die ihren praktischen Gebrauch fast unmöglich machen.

Auf eine ähnliche Ursache, wie bei harten Mitten, ist auch das Vorkommen von harten Adern oder harten Schichten an irgendeiner Stelle der Rohstahlstange zurückzuführen. Sie sind ebenfalls durchweg kohlenstoffreicher als ihre Umgebung, und namentlich auf der Drehbank verursachen sie mitunter Schwierigkeiten, wenn der Meißel beim Abdrehen der Stange auf eine solche Ader trifft. Wenn auch zumeist das Schneidwerkzeug diese harten Stellen überwindet, so werden doch in der Drehbank oder Fräsmaschine starke plötzliche Erschütterungen hervorgerufen, die natürlich unerwünscht sind. Doch kommt es auch vor, daß die Meißelschneide infolge des durch die harten Adern bewirkten starken Widerstandes einen Span nur sehr schwer abnimmt, was besonders bei Schnellbetrieb beobachtet worden ist.

Schon allein bei der Ätzung von ungehärteten Kohlenstoffstählen treten die harten kohlenstoffreichen Stellen hervor, die man jedoch meist nur unter der Lupe oder dem Mikroskop auffinden kann, weil die Säure die harten Adern stärker angreift als die kohlenstoffärmere Umgebung, die daher heller erscheint. Bei gehärteten Stücken mit harten Adern tritt der umgekehrte Vorgang ein, die harten Stellen erscheinen heller als die umgrenzenden Schichten.

Harte geseigerte Adern oder Schichten finden sich mehr in Kohlenstoffstählen, die im Siemens-Martinofen oder in der Bessemer- oder Thomasbirne erzeugt worden sind, als im Tiegelgußstahl oder Elektrostahl, aber ihr Vorhandensein ist auch in Schnelldrehstählen keine Seltenheit, wie die Abb. 47 erkennen läßt. Diese harten Stellen können in gehärteten Schnelldrehstählen durch Ätzung nachgewiesen werden, die im Vergleich zu der weicheren Umgebung von der Säure nicht so stark angegriffen werden. Eine Stahlnadel ritzt daher nur das weiche Polyedergefüge (vgl. S. 208) und setzt an der harten Ader plötzlich ab, wie Abb. 48 deutlich anzeigt. Auch die hohe Härtungstemperatur, die bei diesen Stählen angewendet werden muß, war nicht imstande, einen Ausgleich in der Härte zwischen diesen unterschiedlichen Stellen zu erzielen,



Abb. 47. Harte Ader (linke Bildhälfte) in einem gehärteten Schnelldrehstahl mit 0,87 v. H. Kohlenstoff, 24,12 v. H. Wolfram und 6,44 v. H. Chrom.
V = 200.

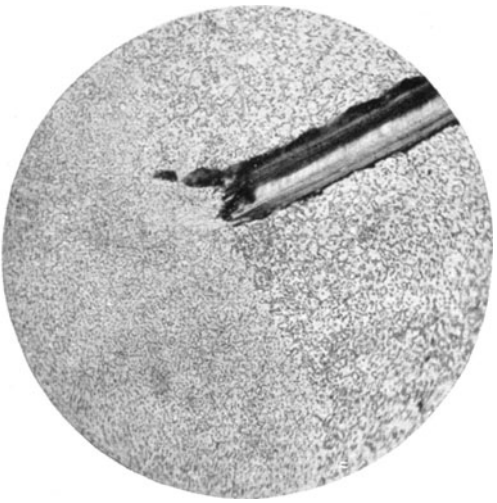


Abb. 48. Harte Ader (linke Bildhälfte) in einem gehärteten englischen Schnelldrehstahl mit 0,59 v. H. Kohlenstoff, 18,30 v. H. Wolfram und 2,38 v. H. Chrom.
V = 200.

die harten Adern blieben unverändert bestehen. Bei Kohlenstoffstählen dürfte es jedoch leichter sein, durch nachträgliches Glühen einen Gleichgewichtszustand zwischen harten und weichen Stellen herbeizuführen.

Die Frage soll jedoch offen bleiben, ob die harten Adern in Schnellstählen kohlenstoffreicher sind als die angrenzenden Schichten, oder ob hinsichtlich der anderen im Schnellstahl vorkommenden wichtigen Legierungsbestandteile, Chrom und Wolfram, ein entsprechender Unterschied besteht. Schneidwerkzeuge sowohl aus Schnelldrehstahl als auch Kohlenstoffstahl werden beim Gebrauch meist ausbrechen, wenn die harte Ader zufällig in die Schneide ausläuft.

Diese harten Adern in Kohlenstoff- und Schnelldrehstählen sind nicht zu verwechseln mit den sog. Härteadern in einfachen weniger wertvollen Kohlenstoffstählen, deren Entstehung Phosphorseigerungen zugeschrieben wird. Diese phosphorreichen Härteadern sind ebenfalls aus denselben Gründen nicht erwünscht, wie die besprochenen harten Adern. Ein Ausglühen übt keinen Einfluß auf die Härteadern aus, sie behalten unverrückbar ihre Zusammensetzung bei.

Die Erkennung von harten Adern und Härteadern ist jedoch nur einem geübten Auge möglich, weshalb ihre Bedeutung zurücksteht gegenüber allen anderen Fehlern und Mängeln im Rohstahl, die in diesem Abschnitt aufgezählt werden.

Auch Schneidwerkzeuge, die aus Kohlenstoffstahl mit Schwarzbruch hergestellt worden sind, müssen als unbrauchbar bezeichnet werden. Dieser Schwarzbruch kommt mitunter in Stahlstangen mit hohem Kohlenstoffgehalt vor, die lange Zeit bei hohen Temperaturen im Bereiche des Feldes Zementit + Martensit (Abb. 40) ausgeglüht wurden. Der bei Stählen mit über 1 v. H. auftretende freie Zementit (Abb. 12, 13 und 14) zerlegt sich unter Abscheidung von Temperkohle, der sich im Gefüge ablagert und daher dem wenig zähen Gefüge ein mattes, schwarz gefärbtes Aussehen verleiht, während der helle Rand unverändert geblieben ist (Abb. 49) [1]).

Da es also nicht schwer ist, Gußfehler, wie sie vorstehend beschrieben sind, in den Rohstangen aufzufinden, z. B. durch Prüfung der Bruchfläche oder besser durch Untersuchung des

[1]) Goerens, Einführung in die Metallographie. 2. Aufl., S. 299.

Kleingefüges, so müssen derartige fehlerhafte Stahlstangen aus dem Stahllager entfernt werden, ehe sie in die Hand des Werkzeugfabrikanten kommen.

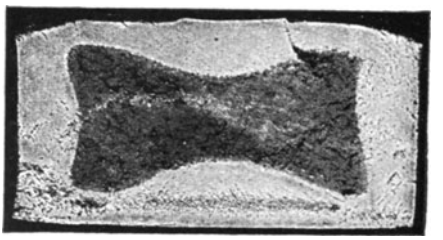


Abb. 49. Bruch eines schwarzbrüchigen Werkzeugstahls. $^2/_3$ nat. Größe.

Blasenräume, ebenso wie Lunker, traf man früher in Stahlblöcken für Werkzeugstähle häufiger an als heute. Zur Beseitigung dieser Fehler pflegte man jeden Stahlblock von hoher Qualität erst vorzuschweißen, bevor man ihn zu handelsüblichen Stäben auswalzte. Obwohl Blasenräume und Oberflächenfehler jetzt weniger zahlreich bei Stahlblöcken vorkommen, können sie auch heute trotz neuzeitlicher Verbesserungs-



Abb. 50. Gußblase in einem ausgeglühten englischen Schnelldrehstahl mit 0,65 v. H. Kohlenstoff, 18,25 v. H. Wolfram, 3,65 v. H. Chrom und 0,15 v. H. Vanadin.
V = 200.

verfahren, z. B. durch Pressen des noch nicht erstarrten Stahlblocks, nicht völlig zum Verschwinden gebracht werden.

Selbst in den teuersten Werkzeugstählen, den Schnelldrehstählen, können Blasenräume vorhanden sein, wie aus Abb. 50 hervorgeht, die einen Teil des Querschnitts einer Rohstange aus Schnelldrehstahl darstellt. Die Stahlstange war zur Herstellung von großen Walzenfräsern bestimmt, und gewisse Mängel an einem gehärteten Fräser veranlaßten eine eingehende Prüfung der Stange, wobei neben vielen anderen Gußblasen die in Abb. 50 deutlich sichtbare Gußblase gefunden wurde (s. S. 199).

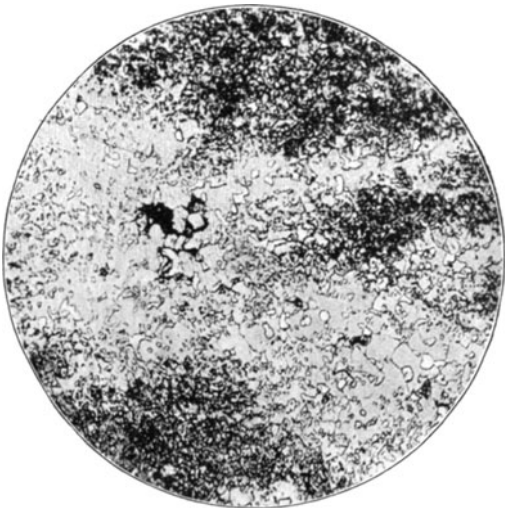


Abb. 51. Hohlräume in einem österreichischen Schnelldrehstahl mit 0,77 v. H. Kohlenstoff, 19,66 v. H. Wolfram und 4,48 v. H. Chrom. V = 200.

Hohlräume anderer Art, wie oben beschrieben, begegnet man ebenfalls in Stangen aus gewöhnlichem Werkzeugstahl, aber auch in den besten Schnelldrehstählen, wie Abb. 51 andeutet. Auch ein aus einem solchen Stahl gefertigtes Werkzeug wird keine lange Lebensdauer haben, wenn durch irgendeinen Umstand diese fehlerhafte Stelle dort auftaucht, wo der Materialzusammenhang unbedingt gewährleistet sein muß.

Bei geringen Querschnitten von gewalzten oder gezogenen Stangen aus weichem oder hartem Stahl können häufig Fehler eigentümlicher Art beobachtet werden. Durch Walzen oder Ziehen von großen Querschnitten auf kleine Durchmesser teilt sich der

Stahlkern mitunter in einzelne Pfropfen, das Material hat im Inneren seinen Zusammenhang verloren, während die Außenschicht, gleichermaßen als Rohr, unverletzt geblieben ist. Schneidet man einen solchen Stab der Länge nach auf, so zeigt er ein Aussehen nach Abb. 52. Bei geringeren Querschnitten, etwa Stahldrähten, nehmen diese flachen tellerförmigen Löcher infolge der starken Quetschung des Materials becherförmige Gestalt an. Stäbe mit aufgerissenen Mitten dieser Art pflegt man als überzogenen Stahl, als überzogenen Draht zu bezeichnen.

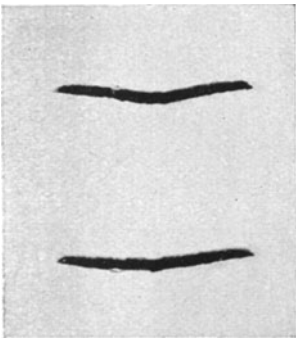


Abb. 52. Überzogener Stahl. Nat. Größe.

Risse, die von der Mitte der Stahlstange nach dem Rande zu verlaufen, können ebenfalls in Walzstangen oder Stahldrähten vorkommen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt ebenfalls darin, daß die inneren Schichten beim Walzen oder Ziehen stärker gereckt wurden als die äußeren, so daß das Arbeitsvermögen des Stahlkerns früher erschöpfte als die Außenschicht und der Zusammenhang verloren ging, wie Abb. 53 erkennen läßt. Werden Stähle mit solchen aufgerissenen Mitten gehärtet — es sei nur an feine Werkzeuge aus sog. Silberstahl erinnert — so wird natürlich kein brauchbares Stück herauskommen und die Schuld muß dem Stahlwerk zugeschoben werden, das nicht darauf geachtet hatte, das Walz- oder Ziehverfahren so einzustellen, daß eine gleichmäßige und allmähliche Streckung von großen zu kleinen Querschnitten stattfand.

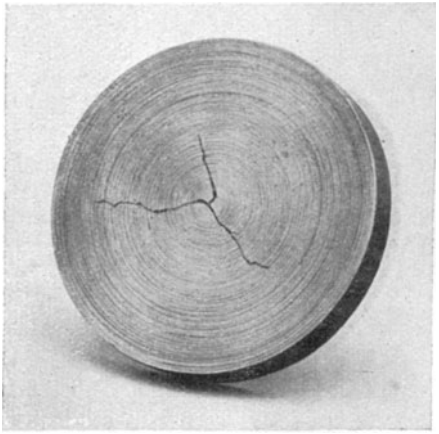


Abb. 53. Ungehärtete Stahlstange mit aufgerissenem Kern. Nat. Größe.



Abb. 54. Siemens-Martinstahl mit Schlackeneinschlüssen. Querschliff. V = 200.

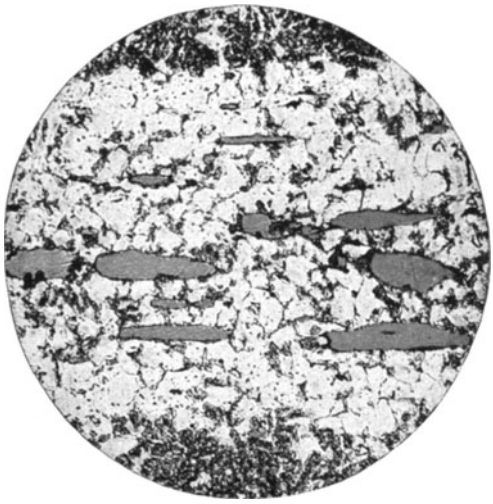


Abb. 55. Wie Abb. 54. Längsschliff. V = 200.



Abb. 56 Abgesplitterte Stelle am Kopfe eines Zahnes von einem im Einsatz gehärteten Zahnrade. Ein Riß verläuft in Richtung der Schlackeneinschlüsse.
V = 100.



Abb. 57. Fortsetzung von Abb. 56.
V = 200.

Die Nachteile, die bei der Verarbeitung von Rohstahl mit Schlackeneinschlüssen, überhaupt fremdartigen Einlagerungen, dem Werkzeugfabrikanten erwachsen können, sind aus den Abb. 54 bis 58 ersichtlich. Die Abb. 54 und 55 geben das Keimgefüge einer Stange aus Siemens-Martinstahl wieder, die zur Herstellung von im Einsatz zu härtenden Zahnrädern benutzt werde. Die grauen in der weißen Ferritader vorhandenen Stellen sind Fremdkörper, die beim Gießen des Rohblocks infolge zu schneller Abkühlung desselben oder wegen eines zu kleinen verlorenen Kopfes sich nicht mehr aus dem eigentlichen Blocke abscheiden konnten oder deren Vorhandensein irgendeinem anderen Umstande zuzuschreiben ist. Die aus diesem Stahl hergestellten und im Einsatz gehärteten Zahnräder hatten nach kurzem Gebrauche die unangenehme Eigenschaft, daß die Zähne absplitterten. Abb. 56 zeigt das Aussehen einer abgesplitterten Stelle am Zahnkopfe. Man sieht einen nach dem Inneren verlaufenden Riß, dessen Richtung den fremdartigen Einschlüssen folgt. Abb. 57 stellt in stärkerer Vergrößerung die Fortsetzung von Abb. 56 dar und läßt erkennen, daß diese Einschlüsse schließlich bis in die Nabe des Zahnrades gehen. Auch auf den abgesplitterten Stücken einer Reihe anderer Zähne desselben Zahnrades waren fremdartige Einschlüsse nachweisbar. Ein weiteres Beispiel für den schlechten Einfluß von Schlackeneinschlüssen gibt Abb. 58 [1]).



Abb. 58. Bruchfläche einer beim Härten geplatzten Schruppfeile, durch Schlackenschicht verursacht. $^2/_3$ nat. Größe.

In Schnelldrehstählen, deren sorgfältige Herstellung die Gewähr für fehlerfreien Guß liefern sollte, kommen ebenfalls fremdartige Einschlüsse vor. In einem gehärteten Walzenfräser aus englischem Schnelldrehstahl, der an der Schneide ausbröckelte, konnten neben einem auch sonst nicht einwandfreien Gefüge unter dem Mikroskop die in Abb. 59 dargestellten dunklen, langgestreckten Einschlüsse beobachtet werden. Es steht außer Zweifel, daß das

[1]) Bach-Baumann, Konstruktionsmaterialien. 2. Aufl. S. 63., Berlin 1921, Verlag von Julius Springer.



Abb. 59. Einschlüsse (dunkel) in der Schneide eines gehärteten Fräsers aus Schnelldrehstahl mit 0,65 v. H. Kohlenstoff, 18,25 v. H. Wolfram, 3,65 v. H. Chrom und 0,15 v. H. Vanadin.
V = 200.



Abb. 60. Gußnaht in einem Stahlstabe.
V = 12.

schlechte Verhalten des Zahnrades und des Fräsers auf die fremdartigen Einlagerungen zurückzuführen ist, die in dem entsprechenden Rohstahl reichlich vorhanden waren.

Diese Einlagerungen können, da dieser Stahl nur einen sehr geringen Gehalt an Schwefel hatte (0,012 v. H.) und auch der Mangangehalt nur 0,17 v. H. betrug, nicht sulfidischen Charakters sein, weil gerade Schwefel und Mangan als Schwefelmangan (Mangansulfid) die Hauptveranlassung zu derartigen Einschlüssen geben. Vielmehr ist auch hier anzunehmen, daß während des Gießens des flüssigen Stahls im Stahlwerk sich Unreinigkeiten im Metall angesammelt haben, die allmählich an die Oberfläche gestiegen sind und mit ausgewalzt wurden, so daß sie in langen Adern den Block durchziehen. Daher ist es unbedingt notwendig, daß mehr noch als bei Kohlenstoffstählen der Werkzeugfabrikant auf die äußere und innere Beschaffenheit der Stahlstangen aus Schnellstahl achtet und hin und wieder selbst Gefügeuntersuchungen mit der Lupe oder besser mit dem Mikroskop vornimmt. Er bewahrt sich dann vor manchem Schaden, der ihm erwächst, wenn er fehlerhafte Stangen (Risse, Einschlüsse, Hohlräume, ungleichmäßiges Gefüge usw.) zu Werkzeugen verwendet.

Auch aus Stahlstangen mit Holzfasern können keine erstklassigen Arbeitsstücke gefertigt werden: Zwar kommen diese Holzfasern im Gußstahl viel seltener vor als im Flußstahl, die sich oft über den ganzen Querschnitt einer Stange erstrecken und somit deren Festigkeit und Dehnung ganz erheblich beeinträchtigen. Wird ein Stab mit Holzfasern, die fast stets mit nichtmetallischen phosphorreichen Einschlüssen angefüllt sind, zerrissen, so zeigt der Bruch ein eigentümliches, an Schiefer erinnerndes Aussehen, der daher auch als Schieferbruch neben Holzfaserbruch bezeichnet wird.

Die hauptsächlichsten Oberflächenfehler, die schließlich noch an Gußblöcken auftreten und die nach dem Bearbeiten der Blöcke mit der Feile sich als schwarze oder graue Streifen darstellen, sind unter dem Namen Gußnähte bekannt. Sie werden durch die verschiedenartigsten Ursachen hervorgerufen und stellen langgestreckte Hohlräume dar, die mit Glühspan (Zunder, Sinter) angefüllt sind. Das Aussehen einer Gußnaht ist aus Abb. 60 erkennbar.

Wenn Stahl mit Gußnähten gehärtet wird, reißt er häufig rechtwinklig zur Mitte, besonders dann, wenn der Stahl bei hoher

Temperatur gehärtet wird. Chromstahl z. B. ist besonders leicht Oberflächenfehlern ausgesetzt und er wird unter gewissen Umständen beim Härten beständig abblättern, wenn die fehlerhafte Oberschicht nicht vorher entfernt worden ist.

Die Oberflächen der in einem Stahlblock vorkommenden Blasenräume oder Poren, die beim Vorschweißen oder Walzen zusammengedrückt werden, lassen einen eigentümlichen Glanz erkennen, der dadurch verursacht wird, daß jene Oberflächen während des

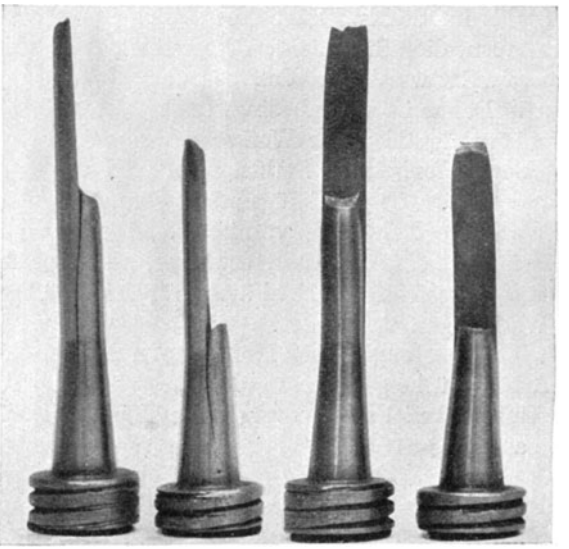


Abb. 61. Durch einen Längsriß im Ausgangsmaterial vorzeitig zu Bruch gekommener Zerreißstahl. Nat. Größe.

Walzens übereinander verschoben werden. Die Oberflächen erscheinen dann wie breitgeschlagen und sind daher leicht zu unterscheiden von solchen inneren Fehlern, die durch ein Zusammendrücken des unzureichend erhitzten Materials zwischen den Walzen verursacht werden.

Ein sprechendes Beispiel dieses Gußfehlers liefert Abb. 61. Es handelt sich hier um eine dünne Stange eines schwachlegierten Nickelstahls, aus dem Zerreißprobestäbe geschnitten wurden. Der Bruch des einen Stabes erfolgte sehr frühzeitig, und zwar infolge eines fast durch den ganzen Stab hindurchgehenden Längsrisses,

der bei vorheriger oberflächlicher Betrachtung des Zerreißstabes nicht bemerkt wurde. Die Wandungen des Risses waren vollkommen glatt und glänzend wie mit einem Messer geschnitten, und es war daher nicht zu verwundern, daß das Ergebnis der Festigkeitsprüfung infolge dieses hervorstechenden Gußfehlers ungünstig ausfiel.

Falten entstehen dadurch, daß Teile des Rohstahls sich beim Walzen oder Schmieden übereinanderlegen und so zusammengewalzt werden. Eine Falte läßt sich leicht von einem Riß unterscheiden. Die erstere geht schräg in den Stab, die Richtung der letzteren ist meist immer gegen die Mitte gerichtet. Eine Falte beginnt stets an der Oberfläche des Stahls. Wenn der Querschnitt einer Falte unter dem Mikroskop geprüft wird, so findet man, daß die Falte aus einer dünnen Schicht Glühspan besteht, die von Ferrit eingeschlossen ist, was dadurch zu erklären ist, daß in den Begrenzungsschichten der Falte eine Entkohlung des Materials durch den Glühspan stattgefunden hat.

Wie nachteilig für die Beurteilung eines Stahls Blasenräume, fremdartige Einlagerungen, Falten usw. sein können, erhellt aus Abb. 62, die einen Zerreißstab darstellt, der in der Zerreißmaschine vorzeitig zu Bruch kam. Hier hatte durch das Walzen der Blasenraum oder die Falte eine langgestreckte Form angenommen. Ein weiteres Beispiel schlechter Stahlbeschaffenheit gibt noch die Abb. 63.

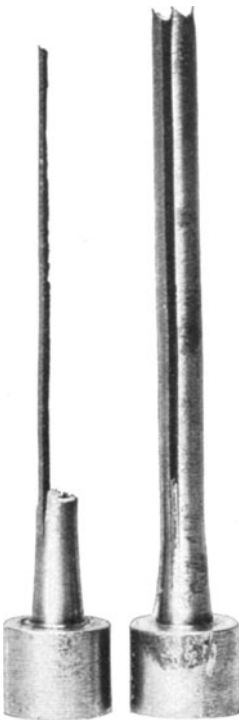


Abb. 62. Durch Blasenräume oder Falten vorzeitig zu Bruch gekommener Zerreißstab. $^3/_4$ nat. Größe.

Aus dem Aussehen der Oberfläche einer Stahlstange kann man schließen, bei welcher Temperatur die Stange die Fertigwalzen verließ. Da bei den Verbrauchern ein Vorurteil zugunsten einer glatten, stark glänzenden, blau angelaufenen Oberfläche herrscht, so werden viele gewalzte Stäbe bei sehr niedriger Rotglut und zuweilen noch darunter schnell gewalzt oder auf andere Weise bearbeitet, um die blaue Anlauffarbe zu erhalten. Die blau

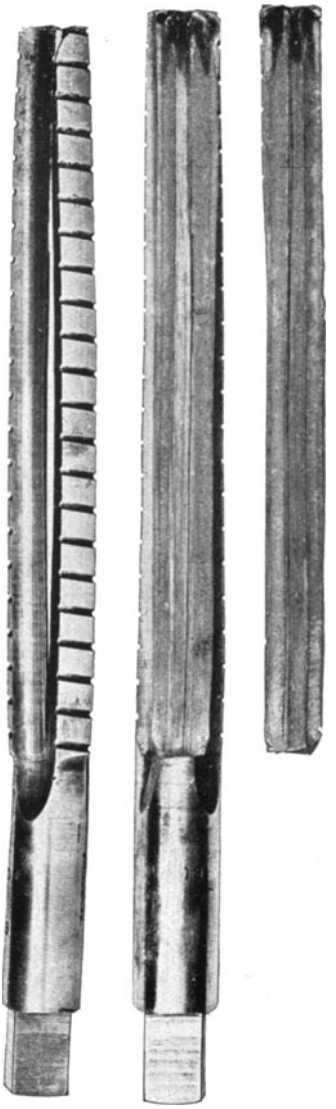


Abb. 63. Infolge schlechter Stahlbeschaffenheit beim Härten aufgerissene Reibahle. $^1/_2$ nat. Größe.

angelassene und glatte Oberfläche gefällt dem Auge, sie kann auch die Neigung zum Rosten vermindern, zerstört aber ein Beweisstück von wirklichem Werte hinsichtlich der guten und schlechten Eigenschaften des Stahls, die aus dem Aussehen einer nicht blau angelaufenen Oberfläche sich ergeben und die infolge der blauen Oberflächenfarbe nicht mehr so leicht erkannt werden können.

Das Aussehen der Bruchfläche kann oft zu Irrtümern in der Beurteilung eines Stahls führen. Die Art des Bruchgefüges hängt davon ab, wie der Bruch hervorgerufen wurde. Ein Versuchsstück aus einem guten unausgeglühten Stahl kann, wenn es in der Zerreißmaschine zerrissen wurde, auf seiner Bruchfläche vollständig sehnig sein. Wenn jedoch ein eingekerbtes Stück desselben Stahls durch einen kurzen und scharfen Schlag zerbrochen wird, ist der Bruch immer deutlich kristallinisch und nicht sehnig. Es ist daher nicht zu empfehlen, auf das Aussehen solcher Bruchflächen, die unter unbekannten Bedingungen entstanden sind, ein Urteil über die Brauchbarkeit des Stahls aufzubauen. Ein Stahlstück, das mit einer Dreikantfeile oder einer Säge oder am besten mit einem V-förmigen Schneidwerkzeug eingekerbt ist und mit einem kurzen scharfen Schlage an der Kerbstelle zerbrochen wird, liefert einen für die

zuverlässige Beurteilung des Stahls geeigneten Bruch und nicht etwa der eines zerrissenen Stabes, wie vielfach noch angenommen wird.

Bei Rohstählen gleicher Beschaffenheit nimmt der Feinheitsgrad des Bruchgefüges zu, wenn die Temperatur, bei welcher das Material fertig gewalzt oder gehämmert worden ist, niedrig gehalten wird. Bis zu einem gewissen Grade ist eine niedrige Walztemperatur für das Material vorteilhaft, kann aber demselben schädlich werden, wenn die Temperatur zu niedrig z. B. bis unter sichtbarer Rotglut gehalten wird. Der Bruch eines Werkzeugstahls soll daher weder zu fein noch zu grobkörnig sein. Wenn die Naturhärte des Stahls (siehe S. 18) nicht sehr hoch ist, der Stahl also eine merkliche Zähigkeit besitzt, so sind seine Bruchstellen krumm und unregelmäßig, niemals gerade oder zackig. Eine gekrümmte und unregelmäßige Bruchfläche wird daher mehr bei weichen als bei harten Stählen beobachtet, doch können aus der Art dieser Bruchflächen nicht ohne weiteres Schlüsse gezogen werden. Es ist vielmehr stets zu empfehlen, einige Stücke von derselben Stange auf verschiedene Temperaturen zu erhitzen und sie schnell abzukühlen, um dann den Bruch und andere physikalische Eigenschaften unter bestimmten Versuchsbedingungen zu prüfen.

Rohstähle von verschiedener Beschaffenheit sind natürlich auch im Bruchgefüge verschieden, und es gibt daher kein Standard-Muster für alle Stahlsorten. Ein Bruch, der als richtig für einen bestimmten Werkzeugstahl betrachtet werden kann, läßt sich an einem Stück herstellen, das während $^1/_2$ Stunde auf 760° C erhitzt worden ist und das man an der Luft hat abkühlen lassen. Stücke desselben Materials, die fein im Bruche sind, sind bei einer zu niedrigen Temperatur behandelt worden und Stücke mit gröberem Bruche bei einer zu hohen Temperatur. Im ersteren Falle kann der Stahl, wenn er über 1 v. H. Kohlenstoff besitzt, feine Risse enthalten, die mit bloßem Auge nicht zu entdecken sind und die auf eine unzweckmäßige Temperatur während der Bearbeitung hindeuten. In diesem Falle ist der Stahl nicht genügend zäh und widerstandsfähig und vollständig ungeeignet für solche Werkzeuge, die kräftigen Schlägen Widerstand leisten sollen. Die Schäfte von Niethämmern für Kesselschmiede, die aus solchem Stahl hergestellt sind, brechen leicht im Stielloch und splittern am Kopfe ab, nur um ein Beispiel von den vielen Mißerfolgen zu erwähnen, die auf rissigen Rohstahl zurückzuführen sind.

Um die beim Erhitzen von Stahl auf verschiedene Temperaturen eintretenden Veränderungen kennen zu lernen, wurde ein kurzer Stahlstab von 75 mm Durchmesser an einem Ende bis auf die für diesen Stahl geeignete Schmiedetemperatur und an dem anderen Ende auf eine bedeutend höhere Temperatur erhitzt, um dann zu einem Stabe von 30 mm Durchmesser ausgeschmiedet zu werden. Stücke, die von den Enden des Stabes abgebrochen wurden, hatten ein sehr verschiedenes Aussehen. Aus diesen Endstücken wurden rechteckige Probestäbe von 15 × 10 mm Kantenlänge herausgeschnitten und eingekerbt. Die eingekerbten Probestäbe wurden zwischen den Backen eines Schraubstocks eingespannt und durch einen Pendelhammer zerschlagen, der mit einer Anordnung zum Messen der Schlagarbeit versehen war. Auf diese Weise wurde festgestellt, daß die zum Zerbrechen des feinkörnigen Materials notwendige Schlagarbeit sich auf etwa 8,5 mkg/qcm belief, während diejenige zum Zerbrechen des grobkörnigen Materials nur 1,5 mkg/qcm betrug. Die so erhaltenen Bruchflächen sind über Eck in Abb. 64 zusammengestellt. Nach diesen Ausführungen muß man sich also hüten, das Bruchaussehen eines unbekannten Stahls als Wertmesser anzusehen, der nur Anspruch auf bedingte Zuverlässigkeit erheben kann.

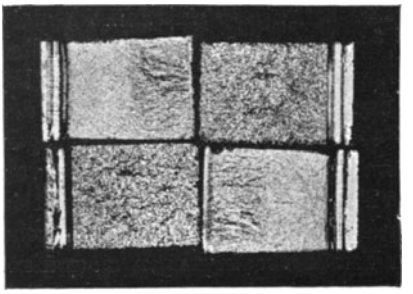


Abb. 64. Bruchflächen von Schlagproben. Etwa $1^1/_2$ nat. Größe.

Der erfahrene Walzwerkarbeiter legt besonders Gewicht auf ein „grünes" Feuer, um eine möglichst reduzierende Atmosphäre im Glühofen zu erhalten. Wenn diese Vorsicht außer acht gelassen wird oder wenn durch irgendeinen Zufall die Stahlblöcke bei einer zu hohen Temperatur einer oxydierenden Atmosphäre ausgesetzt wurden, so werden die Außenschichten der Stahlblöcke entkohlt. Besonders bei dem aus bestimmten Gründen stattfindenden Ausglühen des Stahlgusses kann bei ungeeignetem Feuer eine Entkohlung beobachtet werden (Abb. 65 links), so daß der Rand aus reinem Ferrit besteht. Noch deutlicher ist die entkohlte Außenschicht an einem polierten und geätzten Quer-

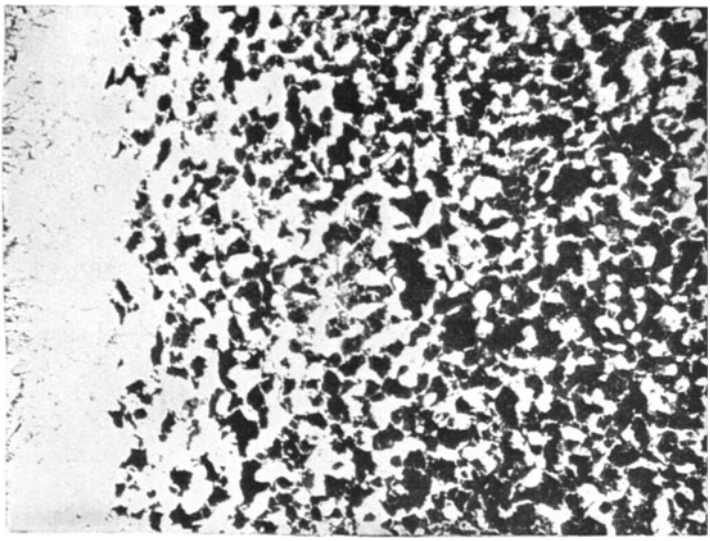


Abb. 65. Ausgeglühter Stahlguß, an der Oberfläche entkohlt (links).

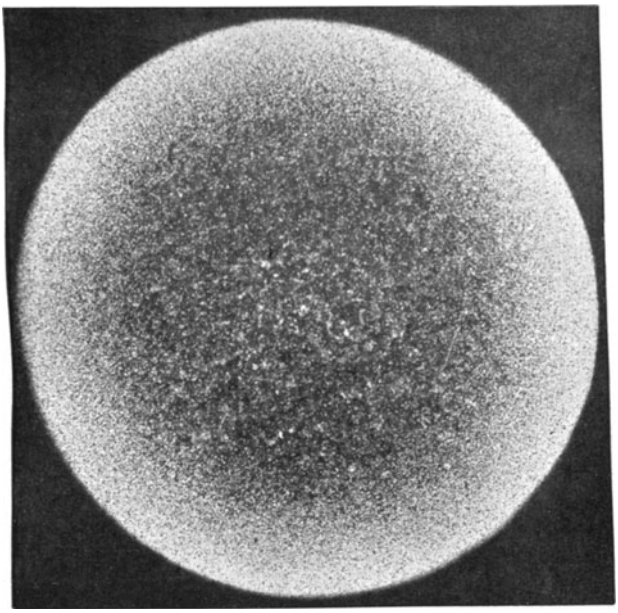


Abb. 66. Stahl mit 0,68 v. H. Kohlenstoff, oberflächlich entkohlt. V = 5.

schnitt einer Stange aus Werkzeugstahl mit 0,68 v. H. Kohlenstoff erkennbar (Abb. 66). Die Entkohlung der Außenschicht wurde dadurch hervorgerufen, daß diese Stange zu lange und bei zu hoher Temperatur ausgeglüht wurde.

Eine ähnliche Entkohlung wurde an der Herdplatte eines lange benutzten und danach außer Tätigkeit gesetzten Glühofens in einem Stahlwerk beobachtet. Abb. 67 zeigt das Bruchaussehen dieser Platte bei geringer Vergrößerung. Der Bruch läßt erkennen, daß an der den heißen Gasen ausgesetzten Oberfläche der Platte ein grobes Korn auftritt, während nach der anderen Seite hin sich das richtige feinkörnige Gefüge in scharfer Trennung von dem grobkörnigen fortsetzt. Ein geätzter Schliff aus dem mit den Feuergasen in Berührung gewesenen Teil der Platte zeigt nur große Ferritkristalle (Abb. 68), von Perlit ist nichts zu sehen, während ein Schliff aus dem den Feuergasen nicht ausgesetzten Teile der Platte aus kleinen Körnern von Ferrit und Perlit besteht (Abb. 69). Die obere Schicht der Platte ist durch die oxydierende Atmosphäre im Laufe der Zeit vollständig entkohlt und infolge der hohen Glühtemperatur vergröbert worden. Wird eine solche oberflächlich entkohlte und gehärtete Platte oder Stange zerschlagen, so kennzeichnet sich ebenfalls die entkohlte Schicht durch ein gröberes Gefüge.



Abb. 67. Bruchaussehen einer Herdplatte aus einem Glühofen. Obere Schicht grob, untere Schicht feinkörnig. V = 2.

An der Oberfläche entkohlte Stahlstangen bergen für den

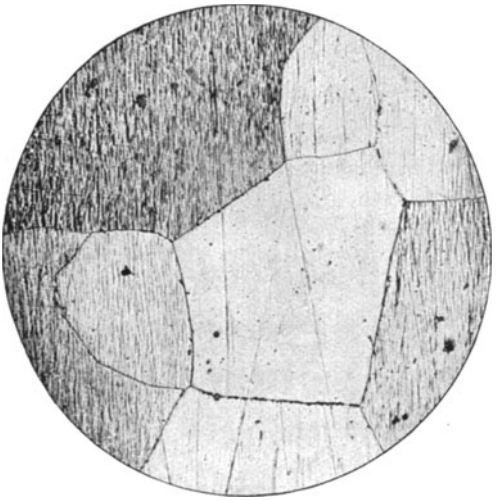


Abb. 68. Zu Abb. 67. Obere entkohlte Schicht. Grobe Ferritkristalle.

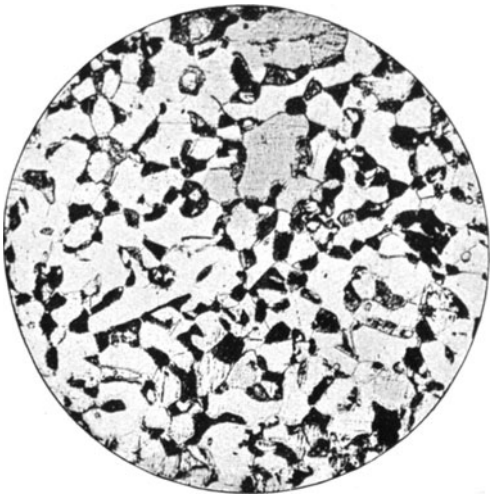


Abb. 69. Zu Abb. 67. Untere Schicht. Ferrit und Perlit. V = 80.

Werkzeugfabrikanten große Nachteile in sich, besonders dann, wenn solche Stangen zu Werkzeugen mit genau festgelegten Abmessungen verarbeitet werden. In Anbetracht der mit der Entkohlung einhergehenden starken Herabsetzung der Stahlqualität bedarf daher diese Erscheinung einer aufmerksamen Beachtung. Bei der Herstellung von zu härtenden Stahlkugeln z. B., die auf ein genaues Maß abgedreht sind, oder bei solchen Gegenständen, die eine ganz harte Oberfläche besitzen müssen, wie bei Feilen, bedeutet die entkohlte Außenschicht das vollständige Versagen des Werkstückes. Wenn die Dicke der entkohlten Schicht übermäßig groß ist, so kann man hieraus zweifellos schließen, daß die Stange noch andere Fehler besitzt, wenn dieselben auch nicht deutlich sichtbar sind. Entweder ist das betreffende Stahlstück zu lange oder bei zu hoher Temperatur im Glühofen gewesen, was nicht nur im Walzwerke, sondern auch später in der Härterei vorkommen kann. Durch langes Glühen wird der Stahl nicht nur oberflächlich entkohlt, sondern auch grobkörnig. Ein solcher abgestandener Stahl läßt sich durch Zementieren (Oberflächenkohlung) wiederherstellen.

Wenn in der üblichen Weise der Stahl mit entkohlter Oberfläche abgeschreckt wird, so wird sich natürlich die entkohlte Oberfläche nicht härten oder nur insoweit, wie es dem geringen Kohlenstoffgehalt derselben entspricht, wodurch das Werkzeug beim Gebrauch natürlich schnell abgenutzt wird. Viele Klagen, daß Stahl nicht härten will, können auf entkohlte Oberflächen zurückgeführt werden. Durch Einritzen der Oberfläche mit der scharfen Kante einer Feile kann die weiche entkohlte Außenschicht des gehärteten Stahls leicht erkannt werden. Die Feile hört auf zu ritzen, sobald die richtige Härte des Werkzeugs unter der entkohlten Oberfläche erreicht ist. Wenn ein solches Werkzeug zerbrochen wird, wird sich die weiche und zähe äußere Haut ausdehnen und eine Art Lippe an der Bruchstelle bilden, die durch sanftes Hinübergleiten des Fingers über die Bruchfläche leicht entdeckt werden kann (Abb. 70). Entkohlte Oberflächen trifft man häufig bei feinen Werkzeugen an, die aus gezogenem, blankem Stahldraht (Silberstahl) hergestellt sind.

Es ist daher erforderlich, daß Werkzeuge, die unbedingt an der Oberfläche tadellos hart sein müssen (Reibahlen, Gewindebohrer, Fräser) aus Stahlstangen geschnitten werden, die eine entkohlte Oberfläche nicht enthalten. Um sicher zu gehen, daß dies

auch wirklich der Fall ist, müssen die Stahlstangen vorher abgedreht werden. Soll z. B. ein fertiger Gewindebohrer 20 mm Durchmesser haben, so muß hierfür eine Stahlstange von mindestens 22 mm Durchmesser gewählt werden, von der dann die Außenschicht abgedreht wird. Besonderes Augenmerk ist aber darauf zu legen, daß auch die ganze Außenhaut entfernt wird. Bei nicht zentrischem Abdrehen verbleibt auf der einen Seite gegebenenfalls noch die entkohlte Außenschicht, die das fertige Werkzeug unbrauchbar macht.

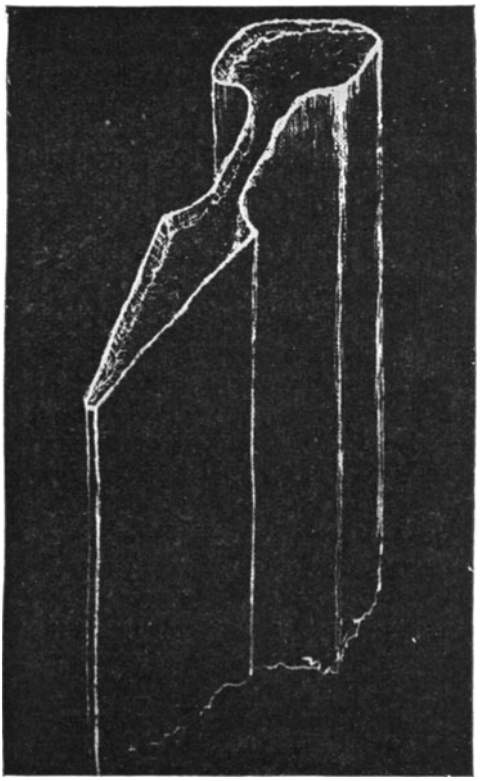


Abb. 70. Zerbrochenes Werkzeug mit Lippenbildung am Rande.

In der Praxis findet man häufig die Ansicht verbreitet, daß gewalzter Stahl, von welchem die weiche Oberschicht entfernt worden ist, leicht Risse bekommt. Dies mag gelegentlich der Fall sein, weil die entkohlte und daher zähere Außenschicht der Bildung von solchen Rissen Widerstand leistet, die an der Oberfläche beginnen. Wenn auch diese Ansicht nicht immer richtig ist, so ist es doch das beste, solche Stahlstangen, deren Oberfläche entkohlt ist, zur Herstellung von Werkzeugen nicht zu benutzen. Werden solche Stahlstangen gehärtet, so können außerdem zwischen der entkohlten Rinde und dem übrigen Material leicht Härterisse auftreten, die nicht selten die kohlenstoffarme Schicht von dem Kern trennen.

Um einer oberflächlichen Entkohlung zu begegnen, werden namentlich wertvolle Schneidwerkzeuge in Holzkohlenpulver gepackt und mit diesem auf die gewünschte Härtungstemperatur erhitzt. Aber auch dieses Mittel verfängt nicht immer, wie an einem Beispiel gezeigt werden soll.

Es handelt sich um einen eigentümlichen Fall der Entkohlung beim Härten von Stahlstempeln mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff und 1 v. H. Chrom, die in einem elektrischen Muffelofen auf 820° C erhitzt und dann $1^1/_2$ Stunden bei dieser Temperatur gehalten wurden, damit sie auch sicher in allen Teilen diese Temperatur angenommen hatten. Ein mit gepulverter Holzkohle gefüllter Eisenblechdeckel schützte die Arbeitsfläche des Stempels. Nach dem Abschrecken zeigte sich derjenige Teil desselben, der mit Holzkohle abgedeckt war, oberflächlich weich, während die übrigen ungeschützten Teile des Stempels vollkommen hart und durch die Oxydation aufgerauht waren. Mit der Feile konnte eine etwa $^1/_2$ mm starke Schicht entfernt werden, alsdann war vollständige Glashärte vorhanden. Anstatt Holzkohle wurde alsdann ein neutraler Stoff, z. B. Sand verwendet, der auf den Grad der späteren Härtung nicht einwirkte.

Es folgt also hieraus, daß Holzkohle keineswegs immer ein Mittel darstellt, eine oberflächliche Entkohlung bei der Erhitzung von Stahlgegenständen zum Zwecke der Härtung vorzubeugen. Der anfänglich vorhandene Gehalt an Kohlenstoff von etwa 1 v. H. war bei den so behandelten Stahlstempeln auf etwa 0,4—0,6 v. H. heruntergegangen[1]).

Um der Ursache dieser Entkohlung auf den Grund zu gehen, ist es zweckmäßig, auf Versuche einzugehen, die über die oberflächliche Entkohlung von Werkzeugstahl mit 1,15 v. H. Kohlenstoff angestellt wurden, deren Erhitzung in einem Röhrenofen mit elektrischer Widerstandsheizung bei verschiedenen Temperaturen erfolgte[2]).

Eine Erhitzung von drei Stunden bei 980° C und sechs Stunden bei 1165° C in einem gereinigten und getrockneten Wasserstoffstrom führte keine Entkohlung herbei, dagegen trat diese ein, als gereinigte und getrocknete Kohlensäure durch den Ofen geleitet wurde. Auch die während des Glühens durch eine kleine Öffnung eingelassene Luft bzw. ein Glühen im Sauerstoffstrom bewirkte

[1]) Greenwood, Ferrum 1914/15, S. 131.
[2]) Emmons, Ferrum 1915/16. S. 184.

naturgemäß eine Entkohlung des Stahls, deren Tiefe bei Temperaturen von 760—1090° C jeweils von 0,10 bis etwa 1,8 mm schwankte. Reines Kohlenoxyd führte keine Entkohlung herbei, die aber eintrat, als der Gasstrom über Hammerschlag geleitet wurde, da sich alsdann wieder Kohlensäure bildete. Auch Wasserdampf, der über die auf 930° C erhitzte Probe geleitet wurde, hatte ebenfalls eine entkohlenne Wirkung. Da Werkzeugstahl stets mehr oder weniger mit Rost- oder Hammerschlag bedeckt ist, so läßt sich der Entkohlungsvorgang leicht erklären.

Das Weichwerden eines Stahls an der Oberfläche während der Erhitzung ist also stets gleichbedeutend mit einer Oberflächenentkohlung. Es liegt hier also ein Oxydationsvorgang vor, der durch Kohlensäure, Wasserdampf oder Luft eingeleitet wird. Die Kohlensäure entsteht während des Prozesses infolge Reduktion von Eisenoxydul (FeO) durch Kohlenoxyd. Eine Entkohlung kann natürlich erst recht nur dann eintreten, wenn der Stahl oberhalb der kritischen Temperatur erhitzt wurde.

Aus diesen Betrachtungen ist mithin die Folgerung zu ziehen. daß ein vorsichtiger Werkzeugfabrikant alle Stahlstangen auf Rost oder Hammerschlag sorgfältig untersucht, bevor er sie in die Härterei gibt, vorausgesetzt natürlich, daß diese Stahlstangen ohne irgendwelche Bearbeitung zu Werkstücken gebraucht werden. Aber auch aus der Stange geschnittene oder geschmiedete Werkzeuge dürfen weder Rost- noch Hammerschlag aufweisen, wenn sie einer Härtung unterworfen werden sollen.

An dieser Stelle soll noch ein Kunstgriff besprochen werden, der zweckmäßig angewendet werden kann, wenn Werkzeugstähle gehärtet werden sollen, die durch irgendeine Ursache oberflächlich entkohlt wurden. Damit Stücke, die aus solchen oberflächlich entkohlten Stäben geschnitten sind, bzw. Werkzeuge mit beim Glühen erhaltener entkohlter Oberfläche doch noch eine vollkommen harte Außenseite durch das Abschrecken erhalten, ist es notwendig, sie mit irgendeinem kohlenden Mittel (sog. Aufstreupulver) zu bestreuen, welches im Härteofen einwirkt. Solche Stoffe sind gewöhnlich Gemische aus folgenden Bestandteilen: Ruß, Hornmehl, Harz, gelbem Blutlaugensalz, gewöhnlichem Salz, Weinsäure, Holzteer und Kornmehl. Das Salz schmilzt auf der Oberfläche des heißen Stahls und gibt in geschmolzenem Zustande den Kohlenstoff leichter an den Stahl ab, eine Behandlungsweise, die man als „Einbrennen“ bezeichnet. Mittel ver-

schiedener Zusammensetzung werden auch gebraucht, um die Bildung von Glühspan zu verhindern und eine Entkohlung während der Wärmebehandlung des Stahls auszuschließen. Kleinen Gegenständen kann eine dünne gekohlte Oberfläche dadurch erteilt werden, daß man sie bis zu der gewünschten Härtungstemperatur in einem Bade von Zyankalium erhitzt und dann abschreckt. Auf diese Weise wird eine außerordentlich harte Oberfläche bei solchen Gegenständen erhalten, die zu dünn sind, um ihre äußere Form bei der üblichen Einsatzhärtung zu behalten. Aber die Dämpfe, die dem geschmolzenen Zyankalium entweichen, sind sehr giftig, und man muß Vorsichtsmaßregeln ergreifen, um gesundheitlichen Schädigungen der die Arbeit ausführenden Personen vorzubeugen. Diese Schädigungen treten aber auch dann auf, wenn dieses Salz in offene Wunden, z. B. der Finger und Hände, gerät. Aus diesem Grunde ist die regelmäßige Anwendung dieses Mittels nicht zu empfehlen. Auch das Abbrennen mit „Kali" (Ferrozyankalium) ist ein oft in der Werkstatt geübtes Verfahren, um meist kleineren Stücken an einzelnen Stellen (Schraubenköpfe und -enden usw.) eine genügende Härte zu verleihen. Das Stück wird kirschrot erhitzt, die betreffende Stelle mit dem Salz bestrichen, das Stück nochmals erwärmt und alsdann abgeschreckt.

Außer den erwähnten und mit dem unbewaffneten Auge, mit einer gewöhnlichen Lupe oder mit dem Mikroskop zu erkennenden Mängel gibt es noch eine Menge anderer Fehler an Rohstählen, die zufälliger Natur sein können und deren Aufzählung des allgemeinen Interesses entbehrt, weil sie nur in sehr seltenen Fällen beobachtet werden.

IV. Das Schmieden.

Der Werkzeugfabrikant muß den von ihm verwendeten Rohstahl in die gewünschte Werkzeugform überführen. Da der Stahl zum Schmieden erhitzt werden muß, so können auch hierbei, wie beim Walzen des Gußblocks, durch falsche Temperaturen grobkörnige Bruchflächen sowie entkohlte Oberflächen auftreten und durch fehlerhaftes Strecken auch Falten usw. entstehen. Außerdem werden sich die meisten Fehler, die in einem Gußstahlblock vorhanden sind oder diesem durch die weitere Bearbeitung (Walzen usw.) einverleibt worden sind, auch zeigen, wenn der zu Stangen ausgewalzte Stab für die Herstellung von Werkzeugen in der Schmiedewerkstatt weiter behandelt wird. Manche Fehler im Rohstahl können zwar durch einen geübten Schmied beseitigt werden, aber für die während des Schmiedens entstehenden Fehler gibt es gewöhnlich kein Heilmittel mehr. Wenn auch die Stahl- und Walzwerke meist vielfach vorgeschmiedete Schmiedestücke in allen Formen für Werkzeuge liefern, so ist doch noch vielfach ein nachträgliches Schmieden nötig, und es ist dann ganz besonders auf die Erfüllung der beiden folgenden Bedingungen Wert zu legen:

1. Anwendung zweckmäßiger Temperaturen von Anfang bis Ende der Schmiedearbeit, und zwar sind diese Temperaturen von der Art des zu bearbeitenden Stahls abhängig zu machen.

Es darf z. B. ein harter Stahl nicht so stark erhitzt werden wie ein weicher Stahl, weil man sonst Gefahr läuft, ihn zu verbrennen, so daß seine weitere Verwendung ausgeschlossen ist. Jedoch gewinnt ein überhitzter Stahl, der, ohne bearbeitet worden zu sein, sich langsam abkühlen kann, fast nahezu alle seine guten Eigenschaften wieder, wenn er nach dem Wiedererhitzen auf eine richtige Temperatur ununterbrochen von dieser Temperatur bis zu dunkler Rotglut geschmiedet wird. Es ist daher klar, daß

die Temperatur am Anfang des Schmiedens nicht höher sein darf als nötig ist, damit das Schmieden bei dunkler Rotglut, bis zum Eintritt der Umwandlungszone (rund 700° C), beendigt werden kann. Auch darf die Schmiedetemperatur unter keinen Umständen höher sein als diejenige, bei welcher erfahrungsgemäß das Material ruhig bearbeitet werden kann, ohne daß man ein Ausbrechen der Kanten befürchten muß. Wenn das Schmieden nicht in einer Hitze durchgeführt werden kann, was jedoch aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen ist, dann muß der betreffende Stahl zweimal erhitzt werden, um der vorstehenden

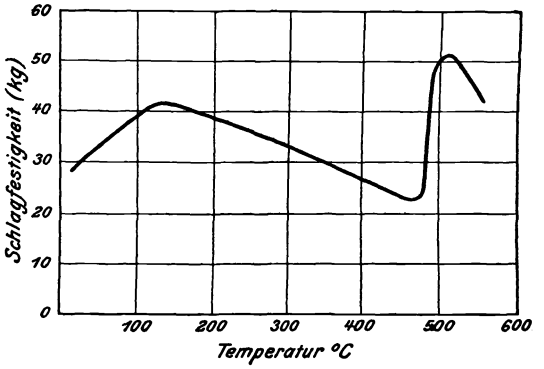


Abb. 71. Abhängigkeit der Schlagfestigkeit von der Temperatur bei einem Werkzeugstahl mit 1,12 v. H. Kohlenstoff. Nach Guillet und Révillon.

Bedingung hinsichtlich der Beendigung des Schmiedens zu genügen. Auch darf beim Schmieden von hartem Stahl eine Temperatur von 1000° C und für weichen Stahl eine solche von 1100° C nicht überschritten werden, wobei es gleichgültig ist, wieviel Arbeit auf den betreffenden Gegenstand verwendet wird. Jedenfalls muß also die Schmiedetemperatur erheblich die kritische Temperaturzone überschreiten.

Etwas unterhalb Rotglühhitze, also bei einer Temperatur von ungefähr 300—325° C, sind alle Arten von Werkzeugstählen sehr empfindlich gegen Stoß, und jede mechanische Beanspruchung, wie Hämmern, Umbiegen oder Ausplatten (Strecken) veranlaßt sehr leicht die Bildung von feinen Rissen, die gewöhnlich von dem unbewaffneten Auge nicht erkannt werden können. Diese Eigenschaft des Stahls, bei ungefähr 300—325° C zu reißen, ist

unter dem Namen Blaubruch bekannt, weil man annimmt, daß der Blaubruch in der unmittelbaren Nähe der Temperatur auftritt, bei welcher die blaue Anlauffarbe erscheint. Eine Kurve, die die Abhängigkeit der Bruchneigung von der Temperatur bei Anwendung der Schlagprobe an einem Werkzeugstahl mit 1,12 v. H. Kohlenstoff erkennen läßt und die von Guillet und Révillon [1]) ausgearbeitet worden ist, ist in Abb. 71 dargestellt. Es geht aus der Kurve hervor, daß mit steigender Temperatur die Schlagfestigkeit eines Stahls bis zu etwa 200° C ansteigt, danach bei weiter steigender Temperatur fällt, um wieder bei beginnender Rotglut anzuwachsen. Die größte Sprödigkeit des Stahls liegt bei ungefähr 475° C, fällt also nicht mit der Blauwärme (300 bis 325° C) zusammen.

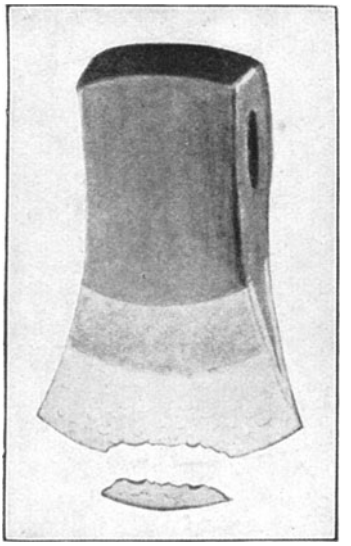


Abb. 72. Sprung in der Schneide eines Beiles.

Die Beispiele, bei denen Fehler im Stahl auf Blaubruch zurückgeführt werden können, sind sehr zahlreich. Beim Schmieden von Meißeln, Beilen, Hobeleisen oder irgendeinem anderen keilförmigen Werkzeug wird der Schmied, der dem Werkstück ein gutes Aussehen verleihen will, das Ausschmieden noch fortsetzen, wenn das Material nicht mehr rotglühend ist. Eine unmittelbare Folge hiervon ist, daß sich halbmondförmige oder daumennagelähnliche Sprünge (Abb. 72) in dem Werkstück zeigen. Ein solcher Sprung kann auch infolge fehlerhafter Behandlung in der Härterei entstehen, aber bei dem in Abb. 72 angeführten Beispiel ist es nicht allzu schwierig, die ursprüngliche Ursache festzustellen.

Es ist noch hervorzuheben, daß Blaubruch zuweilen als eine gute Eigenschaft bezeichnet werden kann. Wenn nämlich eine Stahlstange kalt zerbrochen wird, kann ein winziger in dem Bruchstück vorhandener Sprung selbst gründlicher Prüfung entgehen.

[1]) Mitteilungen des Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik 1909. Auch Metallurgie 1910, S. 343.

Wenn dagegen die Stange auf ungefähr 300° C erhitzt und dann zerbrochen wird, wird ein Sprung (von gleicher Ausdehnung) leicht entdeckt werden, weil er bei dieser Temperatur auseinanderklafft und dadurch dem Auge erkennbar wird (Abb. 73). Das gleiche gilt von Gußblasen und anderen Fehlerstellen, die aus dem gleichen Grunde auf der Bruchfläche einer auf 300° C erhitzten Stahlstange nicht allzu schwer aufgefunden werden können. Aber auch bei Eisen und Stahl für Konstruktionszwecke muß der Blaubrüchigkeit ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es soll hier eingeschaltet werden, daß Risse in der Mitte von rohen Stahlstangen auch dann auftreten können, wenn von ihnen Stücke nach Einkerbung mit dem Kaltmeißel abgeschlagen werden. Das Rissigwerden wird durch die starken Erschütterungen bei dieser Arbeit begünstigt und daher wird die Trennung besser an der erwärmten Stange vorgenommen. Ratsamer ist jedoch das Durchschneiden mit nicht zu dicken Sägen oder Abstechstählen bei reichlichem Wasserzufluß.

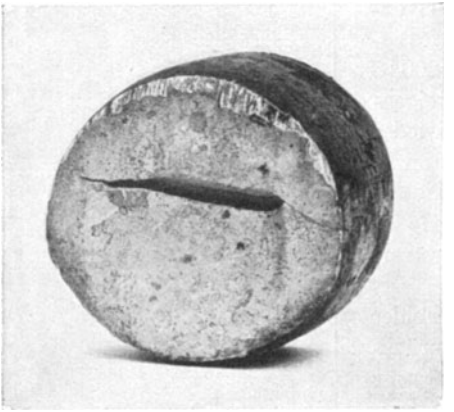


Abb. 73. Riß in einer auf etwa 300° C erwärmten und dann abgeschlagenen Stahlstange. Nat. Größe.

Die vorerwähnten Betrachtungen beziehen sich hauptsächlich auf sehr harten Stahl, der freien Zementit enthält. Die schmalen, nebeneinander liegenden Täfelchen von hartem und brüchigem Zementit geben einen bequemen Weg an, den der Sprung, wenn er einmal begonnen hat, nehmen kann. Daher ist es zu empfehlen, einen Stahl mit über 1 v. H. Kohlenstoff nicht zu verwenden, wenn die nachfolgende Walz- oder Schmiedearbeit aus irgendwelchen Gründen in fast kaltem Zustande erfolgen soll.

Abb. 74 zeigt deutlich, wie die Art der Lagerung des freien Zementits mit dem Laufe des Sprunges zusammenfällt. Bei überhitzten zementithaltigen Stählen bröckelt der Zementit zuweilen leicht aus, wodurch eine Lockerung des Gefüges eintritt und der

Entstehung von Rissen Vorschub geleistet wird. In Abb. 75 sieht man nur noch die schwarze Furche, die der Zementit vorher in dem Stahl eingenommen hatte.

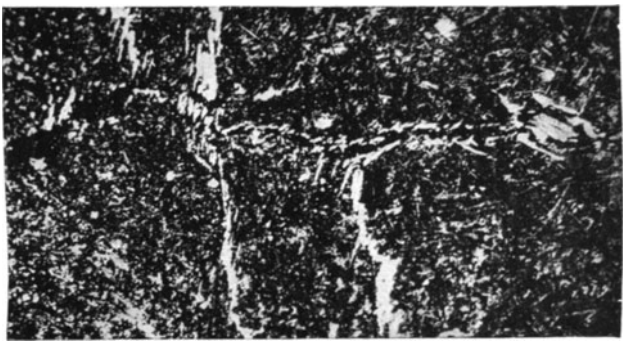


Abb. 74. Sprung (schwarz) in einem übereutektischen Werkzeugstahl in Richtung einer Zementitader.



Abb. 75. Überhitzter Stahl mit groben Zementitadern. Die schwarze Furche gibt an, daß Zementit ausgebröckelt ist. V = 200.

Wenn harter Stahl von kreisförmigem Querschnitt fehlerlos geschmiedet werden soll, dann gehört hierzu ebenso wie zum

Härten eines solchen Stabes eine besondere Kunstfertigkeit. Die Stahlwerke gossen früher — zum Teil geschieht es auch heute noch — den ganzen Tiegelinhalt in runde Gußformen, und zwar gingen sie von der Voraussetzung aus, daß der erste Schlag mit dem Hammer auf den noch heißen Stahlblock allen Glühspan ablösen müßte, und ferner, daß der runde Block der Glühspan-

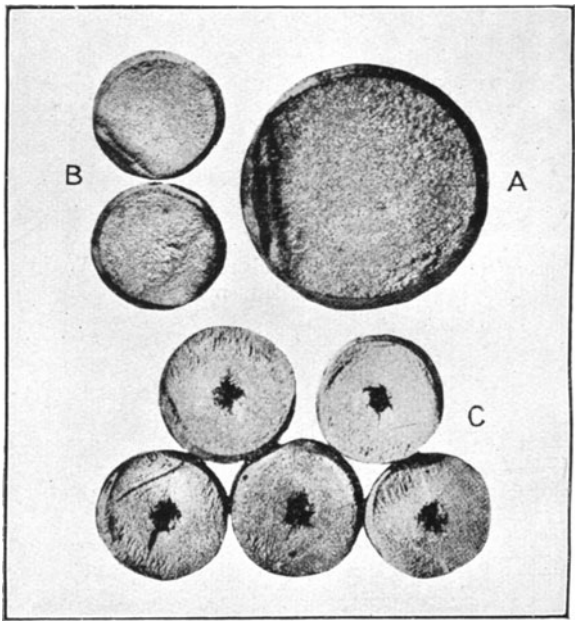


Abb. 76 Stahlstäbe mit rissigen Mitten.
A Bruchfläche des Rohstahls.
B Bruchflächen nach richtiger Verjüngung des Querschnitts von A.
C Bruchflächen nach falscher Verjüngung.

bildung eine auf die Masseneinheit bezogene kleinere Oberfläche darbietet als jede andere Form. Jedoch soll der Werkzeugschmied sich nicht veranlaßt sehen, mit Vorliebe runde statt viereckige Querschnitte zu schmieden. Wenn ein runder Stab verjüngt oder im Durchmesser verkleinert werden soll, muß er zuerst bei der geeigneten Temperatur etwas flachgeschlagen und dann auf die annähernd richtige Größe in Form eines Stabes mit quadratischem Querschnitt geschmiedet werden. Darauf, nicht etwa früher,

kann ihm ein achteckiger Querschnitt verliehen werden, indem man die Kanten abflacht und dem Stab schließlich die gewünschte Rundung gibt. Wenn der Stab vom Anfang bis zum Ende des Schmiedens seine kreisrunde Form behält, dann ist es sehr wahrscheinlich, daß er in der Mitte rissig wird, oder er wird mindestens beim Härten rissig werden.

Die verschiedenen Abbildungen in Abb. 76, die rissig gewordene Mitten von Stahlstäben darstellen, sind dem Buch von Alling: „Points for Buyers and Users of Tool Steel" entnommen.

Wenn runde Stäbe zu kleineren Querschnitten ausgewalzt werden, so ist die Gefahr, daß fehlerhafte Stellen in den Stäben entstehen, geringer als beim Verjüngen solcher Rundstäbe durch Schmiedearbeit. Die Art, in welcher die auf die Form des Stabes zurückzuführenden Spannungen in dem Stabe verringert oder vergrößert werden können, wird eingehender später betrachtet werden.

Als weitere für ein gutes Schmieden unentbehrliche Bedingung gilt:

2. Es ist unbedingt erforderlich, daß das ganze Werkstück gleichmäßig und nicht zu schnell erhitzt, und daß es mit einem geeigneten Hammer bearbeitet wird.

Um diese Bedingung zu erfüllen, muß das Erhitzen größerer Stahlstücke langsam vorgenommen werden, da die bereits vorhandenen inneren Spannungen, die vielleicht durch ungleichmäßiges Abkühlen nach dem Walzen entstanden sind, durch eine zu schnell gesteigerte Erhitzung bis zur Entstehung eines Bruches vergrößert werden können. Bei gewöhnlichem Stangenstahl mit geringem Querschnitt ist eine Bruchgefahr durch zu rasche Erwärmung kaum zu befürchten und wird überhaupt nicht eintreten können, wenn der Stahl vor dem Erhitzen ausgeglüht worden war. Aber bei der Behandlung von Werkzeugen, die zur völligen Fertigstellung eines weiteren Schmiedens bedürfen, kann unvorsichtiges und zu schnelles Erhitzen, wenn ein Teil des Werkstückes sich oberhalb der Umwandlungstemperatur, ein anderer sich dagegen noch unterhalb derselben befindet, die Ursache dazu werden, daß in der Mitte (unter hellem Klingen) Risse entstehen. Dieser Fehler kann leicht bei sonst regelrecht geschmiedeten Stäben aus Schnelldrehstahl infolge schneller Erhitzung unter Rotglut hervorgerufen werden, und, wie später gezeigt ist, kann ein gehärtetes Stück, wenn es nicht vorsichtig

angelassen wird, von selbst in mehrere Teile zerspringen. Daher ist es notwendig, jedes Stahlstück, ganz besonders aber solche Stücke mit kreisrundem Querstück, sehr langsam zu erhitzen, wenn eine solche Erhitzung aus irgendeinem Grunde notwendig wird.

Ist das Gewicht des Hammers zu klein, so erstreckt sich die Kraft des Schlages nicht bis zur Mitte des Werkstückes und folglich werden der innere und äußere Teil des Stahls nicht in derselben Weise ausgereckt. Ähnlich liegt der Fall dann, wenn bei Anwendung eines geeigneten Hammers die Mitte des Werkstücks kälter ist als der äußere Teil. Der äußere Teil dehnt sich dann unter dem Druck des Hammers bedeutend mehr aus und der innere Teil wird entweder aufgerissen oder, wenn er genügenden Widerstand besitzt, wird die weichere Außenschicht stärker ausgereckt als der Kern.

V. Das Ausglühen und Überhitzen.

Kein Werkzeug, wie einfach es auch in seiner Gestalt sein mag, ist nach dem Schmieden in einem gebrauchsfertigen Zustande. Je formenreicher, verwickelter die Werkzeuge sind, um so leichter können in denselben durch die Art der Wärmebehandlung Fehler hervorgerufen werden. Das Auftreten eines grobkörnig-kristallinischen Gefüges in den stärkeren Teilen eines Werkstückes ist gewöhnlich einer fehlerhaften Behandlung während des Schmiedens zuzuschreiben. Das gleichzeitige Auftreten eines grobkörnigen und feinkörnigen Gefüges an verschiedenen Stellen des Werkzeuges gibt aber stets Veranlassung zur Entstehung von Spannungen, die durch Ausglühen des Werkstückes beseitigt werden müssen. Das Ausglühen von Werkzeugen wird zuweilen auch dann notwendig, wenn dieselben unmittelbar aus dem ausgeglühten Rohstahl gefräst oder gehobelt worden sind. Denn durch die bei diesen mechanischen Arbeiten erzeugte Wärme können in Stählen Spannungen ebensogut ausgelöst werden, wie durch eine fehlerhafte Wärmebehandlung während des Schmiedens oder Härtens. Die Seite einer Reibahle, die mit einem stumpfen Werkzeug gefräst worden ist, wird stärker als die übrigen Seiten verzerrt, als wenn sie mit einem scharfen Werkzeug bearbeitet wird. Beim Härten wird sich eine solche Reibahle dementsprechend werfen, wenn sie nicht vorher ausgeglüht wird. Ein ähnliches Verhalten wird ein solches Werkzeug zeigen, das auf der Drehbank bearbeitet wird, wenn von einer Seite mehr Material abgedreht worden ist als von der anderen. In wie großem Umfange Verzerrungen in einem Stahl durch Bearbeitung mit einem stumpfen Werkzeug hervorgerufen werden können, geht aus Abb. 77 hervor, aus der zu erkennen ist, daß der dunkle Perlit durch die falsche mechanische Bearbeitung an der Oberfläche des Stahls Längsverzerrungen von erheblicher Ausdehnung erlitten hat.

Solche beim Hobeln oder Fräsen mit stumpfen Werkzeugen hervorgerufenen Gefügeverzerrungen treten leichter in weichem

als in hartem Stahl auf, weil bei weichem Stahl gröbere Späne durch das Hobeln oder Fräsen abgerissen werden [1]). Durch sorgfältiges Ausglühen des Stahls können auch diese durch Gefügeverzerrungen hervorgerufenen Spannungen beseitigt und es kann das normale Gefüge wieder erlangt werden, was unbedingt geschehen muß, wenn es sich um verwickelte Werkstücke handelt, die sonst sehr leicht beim Härten reißen würden. Auch abgedrehte Wellen werden zweckmäßig ausgeglüht, da sie sich sonst beim Härten

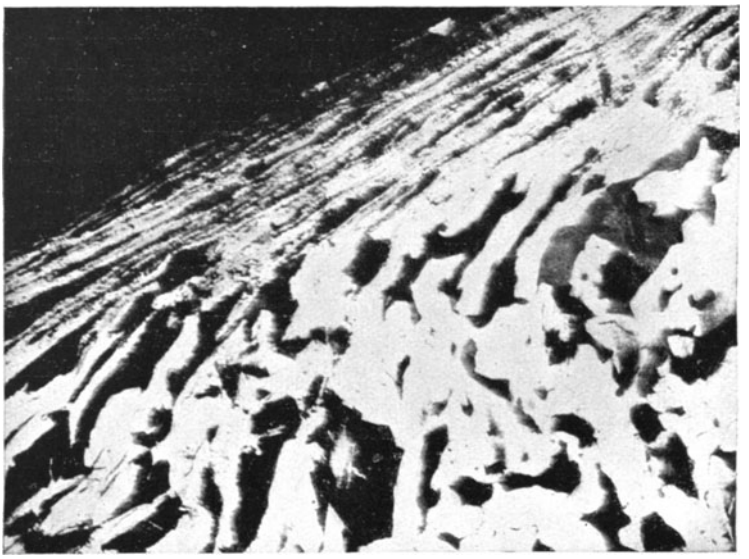


Abb. 77. Längsverzerrungen auf der Oberfläche von weichem Stahl.

werfen. Auf alle Fälle ist das Ausglühen ganz besonders dann am Platze, wenn durch grobes Schruppen mittels Schnellstählen Stahlstücke gewaltsam vorgearbeitet wurden. Das Ausglühen besteht darin, daß man den Stahl auf die niedrigste Temperatur, die zum Härten verlangt wird, erhitzt, und daß man ihn bei dieser Temperatur eine Zeit lang, einige Minuten bis zu mehreren Stunden, je nach der Größe des Gegenstandes, erhält. Das erhitzte Stück wird dann so lange gleichmäßig und langsam abgekühlt, bis es kaum noch rotglühend ist.

[1]) Vgl. Kurrein, Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1905, Heft 37 und Werkstattstechnik 1914, S. 220.

Wenn z. B. ein Stück Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff vollständig ausgeglüht werden soll, um es für die Bearbeitung weich zu machen oder um Spannungen zu beseitigen, so muß es auf mindestens 720° C erhitzt werden, denn, wie früher gezeigt wurde, liegt die Umwandlungstemperatur bei einem Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff bei 720° C. Um sicher zu gehen, daß diese Temperatur auch wirklich erreicht worden ist, muß die Temperaturmessung dort vorgenommen werden, wo der stärkste Teil des betreffenden Stahlstückes sich befindet, also in der Regel in der Mitte der Ausglüh-



Abb. 78. Gefüge eines überhitzten Zahnrades (Ritzels) aus Kohlenstoffstahl. V = 200.

kiste, die zum Ausglühen von Werkzeugstahl unbedingt herangezogen werden muß. Eine höhere Temperatur als 740—760° C für das Ausglühen ist zwecklos, ja sogar schädlich. Die Hitze muß dann abgestellt werden und die Glühkiste mit Inhalt einer langsamen Abkühlung überlassen bleiben, um die ungehinderte Umkristallisation von der festen Lösung in den normalen Zustand zu ermöglichen. Daß ein Stahl mit einem geringeren Kohlenstoffgehalte als 1 v. H. bei einer entsprechend höheren Temperatur ausgeglüht werden muß, ist nach den früheren Ausführungen erklärlich, doch muß hier daran erinnert werden, daß der Härtezustand durch Erhitzen auf Temperaturen auch unterhalb 720° C,

wenn auch nicht so durchgreifend und vollkommen aufgehoben wird, wie es beim Anlassen von Stählen geübt wird.

Wenn der Stahl möglichst weich gemacht werden soll, dann gelingt dies um so besser, je langsamer er bis zu dunkler Rotglut abgekühlt wird. Die Art und Weise des Abkühlens unterhalb dieser Temperatur beeinflußt die Härte oder Weichheit des Stahles nicht. Wenn nur die infolge des Schmiedens entstandenen Spannungen beseitigt werden sollen und der Querschnitt des betreffenden Gegenstandes von einfacher und im Querschnitt gleichmäßiger Gestalt ist, dann kann er, sobald er aus dem Glühofen gezogen ist, an der Luft abgekühlt werden, muß aber vor Luftzug geschützt werden, um eine ungleichmäßige Abkühlung zu vermeiden. Wichtig ist ferner, daß der Stahl beim Ausglühen nicht solchen Temperaturen (über 900° C) ausgesetzt wird, die eine Überhitzung des Stahls herbeiführen können. Durch das Überhitzen wird das Korn außerordentlich vergröbert (Abb. 78), so daß schon das Bruchgefüge sehr grob erscheint und es ist nicht immer leicht, durch eine geeignete Behandlung den überhitzten Stahl wieder gebrauchsfähig zu machen. Aber auch verglühter Stahl, ein durch langandauerndes Glühen bei nicht besonders hohen Temperaturen ebenfalls grobkörnig gewordener Stahl, kann in derselben Weise wiederhergestellt werden. Verglühte Feilen haben vielfach die Neigung, beim Härten der Länge nach aufzureißen. Ein anschauliches Bild von der Kornvergrößerung überhitzter Stähle geben die Abb. 79—83. Es sind dies dieselben Stähle, deren normales Kleingefüge in den Abb. 5, 8, 9, 12 und 14 dargestellt ist. In Abb. 84 ist das Kleingefüge eines überhitzten Stahls mit 1,68 v. H. Kohlenstoff wiedergegeben, das durch Ätzung mit Natriumpikrat sichtbar gemacht wurde. Nur der grobe Zementit hat eine Schwarzfärbung angenommen. Um das durch Überhitzung entstandene grobkörnige Gefüge, z. B. bei einem Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff, zu beseitigen, muß der Stahl auf ungefähr 770° C erhitzt, dann zunächst auf 600° C abgekühlt und vor dem endgültigen Abkühlen wieder auf 770° C erhitzt werden. Wenn das schließliche Abkühlen durch den ganzen Gegenstand hindurch gleichmäßig stattfinden kann, dann zeigt ein abgeschlagenes Stück nicht nur das feinste Korn, das der Stahl im normalen ungehärteten Zustande annehmen kann, sondern das Material ist auch fast vollkommen frei von solchen Neigungen, die bei dem nachfolgenden Härten die Ursache zu un-

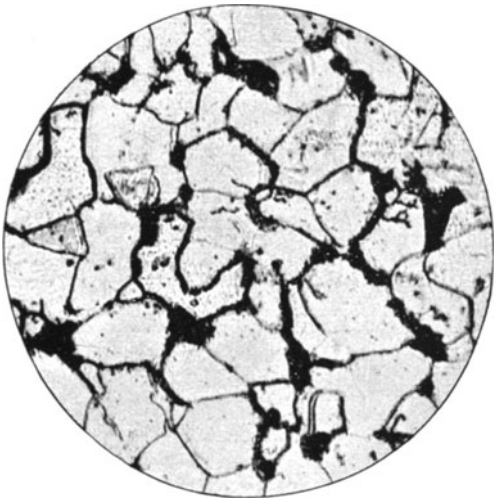


Abb. 79. Überhitztes Flußeisen mit 0,13 v. H. Kohlenstoff. Grobes Gefüge von Ferrit und Perlit.
V = 200.

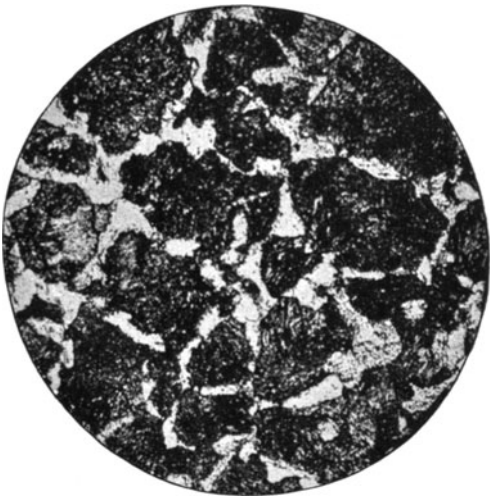


Abb. 80. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 0,55 v. H. Kohlenstoff.
V = 200.

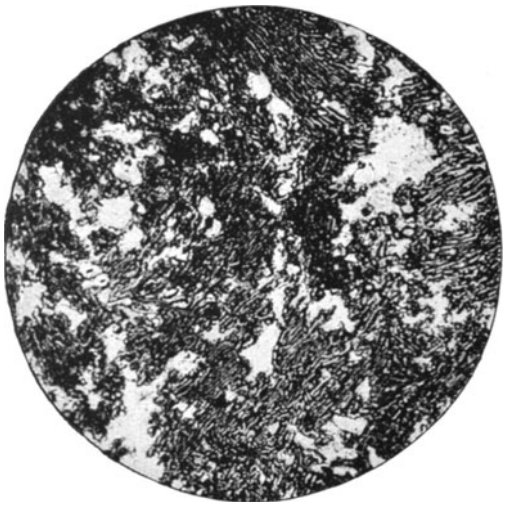


Abb. 81. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 0,68 v. H. Kohlenstoff. V = 200.

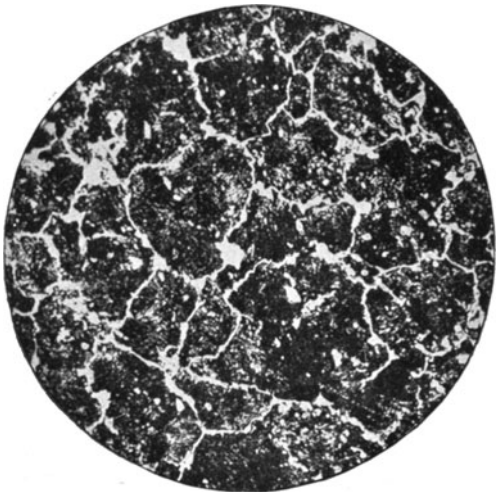


Abb. 82. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 1,23 v. H. Kohlenstoff. V = 200.



Abb. 83. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 1,54 v. H. Kohlenstoff. Grober Zementit und Perlit.
V = 200.



Abb. 84. Überhitzter Kohlenstoffstahl mit 1,68 v. H. Kohlenstoff, mit heißer Natriumpikratlösung geätzt. Grober Zementit.
V = 200.

angenehmen Fehlern werden können. Bei einem weichen Stahl muß das durch Überhitzung entstandene grobkörnige Gefüge durch Ausglühen bei einer höheren Temperatur mit nachfolgendem Durchschmieden beseitigt werden, sonst bleibt die Schlagfestigkeit, die namentlich bei Zahnrädern in Frage kommt, sehr gering. Das in Abb. 78 dargestellte Gefüge, dessen einziges Korn das ganze Gesichtsfeld einnimmt, gehört zu einer Stahlstange, aus dem Scheiben für Ritzel abgestochen wurden. Offenbar war

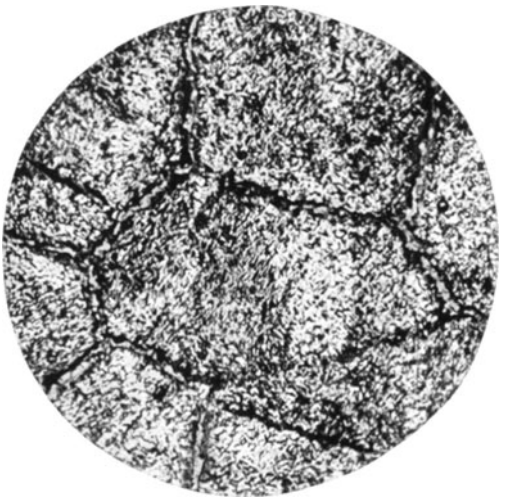


Abb. 85. Verbrannter Meißelstahl.
V = 350.

beim Ausglühen der Stahlstange im Stahlwerk nicht die nötige Vorsicht angewendet worden.

Vorspringende Teile von Werkzeugen, wie Ecken, Kanten, Zähne usw., werden leicht überhitzt. Diese müssen daher vor zu hoher Erwärmung geschützt werden, was durch einen breiigen Überzug aus Holzkohlenpulver, Roggenmehl, Kochsalz und Talg oder durch Abdecken mit Asbest geschehen kann.

Ist ein Stahl irrtümlich bis zu Temperaturen von 1200° C und darüber erhitzt worden, dann verändert er sich unter Funkensprühen, er verbrennt unter Bildung von Oxydationsprodukten des Eisens. Das Korn wird aufgelockert, die Luft dringt durch etwa entstandene Risse in das Innere des Stückes und es sammeln

sich an den Korngrenzen ebenfalls Oxyde (Glühspan, Sinker) an, die im Kleingefüge als dunklere Einschlüsse sichtbar sind (Abb. 85). Der Stahl ist dann für alle weiteren Verwendungszwecke unbrauchbar geworden, kann also durch Ausglühen usw. sein normales Gefüge nicht wiedergewinnen, er kann nicht regeneriert werden und alle Heilmittel, die zur Verbesserung von verbranntem Stahl angeboten werden, sind ausnahmslos zu verwerfen, auch wenn sie noch so sehr mit geheimnisvollen Namen belegt werden.

Überhitzte, verglühte und verbrannte Stähle werden oft miteinander verwechselt, und es ist daher zu empfehlen, daß der Schmied oder der Härter sich immer wieder die Merkmale vor Augen hält, in denen sich solche Stähle voneinander unterscheiden.

Aber auch abgestandener Stahl, ein zu oft erhitzter und zu lange Zeit unter Luftzutritt gestandener Stahl, dessen äußere Schichten durch Oxydation des Kohlenstoffs unter Bildung von Hammerschlag mithin entkohlt worden sind, kann nur nach einer besonderen Behandlung wieder brauchbar gemacht werden, die hauptsächlich in einer erneuten Zuführung des Kohlenstoffs (Oberflächenkohlung) mit nachfolgendem vorsichtigem Schmieden und niederem Abschrecken besteht.

Das Weichmachen des Stahls durch Erhitzen auf eine Temperatur, die unterhalb derjenigen liegt, bei welcher er sich durch Abschrecken noch härten läßt, ist weiter unten besprochen. Eine solche Behandlung bei niedriger Temperatur verbessert das durch Überhitzung entstandene grobkörnige Kleingefüge nicht. Dagegen verliert ein gehärteter Stahl durch Glühen (Anlassen) bei einer Temperatur, die unterhalb der Härtungstemperatur liegt, fast den ganzen Teil seiner Härte durch diese Anlaßwirkung, und zwar ohne daß die Art des Abkühlens des so erhitzten Stahls auf die Härte oder Weichheit desselben von Einfluß ist. Dies ist besonders bei solchem Stahl zu beobachten, der Nickel und Chrom oder bedeutende Mengen von Mangan enthält, d. h. bei solchen Stahlsorten, die eine Neigung für Selbsthärte aufweisen.

VI. Das Härten des Stahls.

Das Härten ist bei der Herstellung von Werkzeugen die wichtigste Arbeit. Die Theorie des Härtens läßt sich in wenigen Sätzen darlegen, die Praxis des Härtens dagegen kann nur durch jahrelange Übung erworben werden.

Ein Stück Stahl ist dann am besten zum Härten geeignet, wenn es ausgeglüht worden ist. Das Erhitzen formenreicher Werkzeuge auf die entsprechende Härtungstemperatur muß allmählich stattfinden und man muß dafür sorgen, daß Ecken, schneidende Kanten und andere dünne Teile weder überhitzt noch entkohlt werden. Diese Angaben enthalten eigentlich nichts Neues, sie geben aber die Hauptpunkte an, die beim Härten zu beachten sind. Die beste Art eines Härteofens ist diejenige, bei welcher eine ausreichend große Fläche des Ofens auf jede gewünschte gleichmäßige Temperatur gebracht werden kann. Ob man zu diesem Zweck einen Flammofen, ein Bad von geschmolzenem Blei, ein Salzbad oder einen Muffelofen wählen wird, hängt von den örtlichen Verhältnissen ab.

Ein über die Härtungstemperatur erhitztes Stück Stahl erleidet in bezug auf seine Abmessungen gewisse Veränderungen, wenn es plötzlich abgekühlt wird (siehe S. 44). Die beim schnellen Abkühlen des erhitzten Stahls hervorgebrachten Volumenänderungen in den äußeren und inneren Schichten sind verschieden, und daher müssen in jedem Stück eines gehärteten Stahls, besonders wenn dasselbe ziemlich groß ist, Spannungen auftreten. Wenn aber zu den unvermeidlichen Spannungen noch infolge von Überhitzung ein grobkörniges Gefüge hinzukommt, dessen natürliche Festigkeit gering ist, dann ist die günstigste Gelegenheit zur Entstehung von Sprüngen oder Brüchen entweder während oder kurz nach dem Abschrecken gegeben. Hieraus folgt mit zwingender Notwendigkeit, daß alle Arten Werkzeuge bei der zulässig niedrigsten Temperatur, die für den verwendeten Stahl geeignet

ist, gehärtet werden müssen, und die ganze Wissenschaft und Kunstfertigkeit des Härtens beschränkt sich darauf, diese Temperatur in regelmäßiger und gleichartiger Weise zu erreichen und das erhitzte Werkzeug mit der durch Größe, Form, Verwendungszweck usw. bedingten Rücksicht abzuschrecken.

Gleichmäßige Durchwärmung des Stückes zum Härten ist viel wichtiger als eine genaue Festlegung der richtigen Härtungstemperatur innerhalb weniger Grade. Eine gleichmäßige Erhitzung kann nur in einem geeigneten Härteofen erzielt werden. Das Salzbad kommt der idealen Art eines Härteofens am nächsten und muß insbesondere für kostspielige Werkzeuge (aus Schnelldrehstahl) empfohlen werden. Der Bleitiegel ist ebenfalls ausgezeichnet; er erhitzt wegen der größeren Wärmeleitfähigkeit des Bleies die Gegenstände schneller als ein Salzbad und muß für gewisse Zwecke dem Salzbadofen vorgezogen werden. Ein flachherdiger, mit Gas geheizter Härteofen ist weniger zuverlässig als irgend einer von den erwähnten Öfen, wenn er auch für manche Zwecke sehr bequem zu verwenden ist. Wenn Muffelöfen benutzt werden, dann ist die Temperatur bei gußeisernen oder Stahlmuffeln gleichmäßiger als bei Muffeln aus feuerfestem Material. Die ungünstigste Form eines Härteofens ist das gewöhnliche Schmiedefeuer, obgleich ein erfahrener Härter eine ganz brauchbare Arbeit damit leisten wird, wenn nichts Besseres zur Verfügung steht.

Es ist schwierig, in irgend einer bekannten Form des Härteofens Werkzeuge von sehr verschiedenem Querschnitt durch ihre ganze Masse hindurch auf denselben Grad anzuwärmen. Wenn diese Tatsache in Verbindung mit den kritischen Kontraktionsänderungen, die auf S. 48 beschrieben sind, berücksichtigt wird, dann ergibt sich ohne weiteres, daß bleibende Formänderungen bei Werkzeugen von bedeutender Größe und wechselndem Querschnitt unvermeidlich sind, ganz abgesehen von der Art des Verziehens, die auf das Gewicht des Gegenstandes oder seine nicht allseitig unterstützte Lage im Härteofen zurückzuführen ist. Eine Verzerrung, die nach dem Abschrecken eines Werkzeuges deutlich sichtbar wird, oder sogar ein Riß in dem Werkzeug sind in den meisten Fällen den Wirkungen der kritischen Kontraktion während des Erhitzens zuzuschreiben.

Die niedrigste Temperatur, bei welcher noch eine Härtung des Stahls durch plötzliche Abkühlung eintritt, kann leicht mit Hilfe des auf S. 300 beschriebenen Gerätes in Form einer Kurve,

ähnlich derjenigen in Abb. 20, bestimmt werden. Wenn auch die Kenntnis der niedrigsten Härtungstemperatur wertvoll ist, so darf doch nicht angenommen werden, daß die besten Härtungsergebnisse unbedingt dadurch zu erzielen sind, daß man das Werkzeug abschreckt, nachdem es nicht höher als einige Grade über die niedrigste zulässige Härtungstemperatur erhitzt worden ist. Sowohl der Härtegrad als auch die Tiefe, bis zu welcher ein Werkzeug gehärtet wird, können sehr verschieden in zwei Werkzeugen ausfallen, von denen das eine bei der theoretisch niedrigsten Temperatur, die von der Haltepunktskurve angegeben wird, und das andere bei einer um ungefähr 30—40° C höheren Temperatur abgeschreckt wurde. Auch muß bedacht werden, daß Stähle gleicher chemischer Zusammensetzung und von gleicher natürlicher Härte (Brinellhärte) sich doch beim Härten verschieden verhalten können. Es folgt hieraus, daß die Behandlung der Rohstähle im Stahlwerk von ganz besonderer Bedeutung ist. Die Temperatur des flüssigen Stahlbades, die Länge der Zeit, während welcher das Stahlbad auf diese Höchsttemperatur gehalten wird, die Art der Abkühlung sind wesentliche Umstände, die erhöhte Aufmerksamkeit erheischen.

Aus verschiedenen Gründen muß die durch die thermische Kurve ermittelte Umwandlungstemperatur eines Stahls beim Härten der aus ihm hergestellten Werkzeuge etwas überschritten werden. Diese Gründe sind folgende:

1. Die Temperatur, bei welcher die Umwandlung im Stahl eintritt, ändert sich ein wenig mit der Art des Erhitzens, besonders bei großen Werkzeugen, die längere Zeit als kleinere gebrauchen, um an allen Stellen die gleiche Temperatur anzunehmen.
2. Die Umwandlung im Stahl ist wahrscheinlich noch nicht ganz beendigt, sobald die Erhitzungskurve in ihre ursprüngliche Richtung wieder zurückkehrt.
3. Die Geschwindigkeit der Abkühlung beim Abschrecken eines erhitzten Werkzeuges nimmt zu. Daher muß das zu härtende Werkzeug vor dem Abschrecken höher erhitzt werden, als die thermische Kurve angibt, damit die Abkühlungsgeschwindigkeit beim Abschrecken ihren Höhepunkt dann erreicht hat, wenn die kritische Umwandlungstemperatur eintritt.

4. Um eine vollkommene Härtung zu erzielen, genügt es nicht allein, die Perlittemperatur von etwa 700° C beim Abschrecken zu unterschreiten, sondern der gesamte Temperaturbereich von der Perlittemperatur bis abwärts zu mindestens 400° C muß schnell durchlaufen werden, um auch eine Anlaßwirkung, die noch durch die im Stahl verbleibende Wärme hervorgerufen werden kann, zu unterdrücken.

Die praktische Erfahrung hat ergeben, daß es zweckmäßig ist, den Stahl etwa 20—40° C höher zu erhitzen, als es nach der Erhitzungskurve nötig erscheint, und daß hierdurch bei der Härtung Unregelmäßigkeiten vermieden werden, die auf die unter 1—3 angeführten Gründe zurückzuführen sind. Bei dieser höheren Temperatur gehen die Gefügeumwandlungen auch schneller und vollständiger vonstatten. Bei kleinen oder dünnwandigen Gegenständen ist aber auch diese höhere Temperatur nicht einmal nötig. Erfahrene Härter erhitzen solche Gegenstände eben über den oberen Haltepunkt, der durch die Linie *D F* der Abb. 40 angezeigt wird, abkühlen dann bis wenig über den unteren Haltepunkt und schrecken dann in Wasser ab.

Die übliche Härtepraxis ist die, den Stahl aus der höchsten zulässigen Temperatur abzuschrecken. In diesem Falle braucht man sich dann mit dem Abschrecken nicht zu beeilen, da die Temperatur noch wesentlich fallen muß, bevor diejenige niedrigste Temperatur erreicht ist, bei welcher noch eine vollkommene Härtung des Stahls möglich ist (Punkt *R* in Abb. 40). Viele Härter halten den erhitzten Stahl einige Sekunden lang in der Luft, bevor sie ihn abschrecken, und bezeichnen diese Praxis als „Härten bei fallender Hitze". Durch dieses Härten bei fallender Hitze wird dem Werkzeug kein Schaden zugefügt, solange alle Teile des Werkzeuges bei Beginn des Abschreckens noch dieselbe Temperatur besitzen. Diese Forderung wird aber dann nicht mehr erfüllt, wenn z. B. dicke Werkzeuge weit über die niedrigste Härtungstemperatur erhitzt und dann bis zu dieser nach dem Verfahren des Härtens bei fallender Hitze vor dem Abschrecken abgekühlt werden. Einen entschiedenen Vorteil bringt dagegen das Verfahren dadurch, daß durch die verhältnismäßig langsame Abkühlung in der Luft vor dem Abschrecken die durch die Erhitzung hervorgerufenen Volumenänderungen möglichst beseitigt und dadurch die Spannungen im Werkzeug verringert werden.

Wegen dieses Vorteils ist in den letzten Jahren in den Härtereien ein Verfahren eingeführt worden, durch welches die Bruchgefahr bei formenreichen Werkzeugen fast vollständig beseitigt und die natürliche Brüchigkeit eines Werkzeuges gewöhnlich vermindert wird, ohne daß zugleich seine Härte beeinträchtigt wird. Dieses Verfahren besteht darin, daß man das schon in einem Härteofen auf eine Temperatur von ungefähr 780° C erhitzte Werkzeug in einen zweiten Härteofen bringt, in dem es bei einer Temperatur verbleibt, die etwa 20° C über dem Rekaleszenzpunkt, also ungefähr bei 700° C liegt. Die passendste Form für den zweiten Härteofen ist ein Salzbad, dessen Temperatur leicht und fast ohne Kosten durch die Abhitze der Werkzeuge erhalten werden kann, wenn letztere sich in dem Bad von 780° C abkühlen. Mit Bezug auf den erwähnten Zweck sind auf S. 261 verschiedene Formen des Salzbad-Härteofens besprochen worden.

Das folgende Verfahren zur Bestimmung des in einem gewöhnlichen Schmiedefeuer erzielten Grades derjenigen Rotglut, bei welcher der erstrebte feinkörnigste Bruch beim Stahl durch Abschrecken erzielt wird, ist von Metcalf angegeben worden.

Nach diesem Verfahren wird eine Stahlstange von 15—20 mm Stärke alle 15 mm, im ganzen etwa 8 mal, von einem Ende aus eingekerbt. Der eingekerbte Teil der Stange wird dann in einem Schmiedefeuer erhitzt, bis das äußerste Ende der Stange unter Funkensprühen zu verbrennen beginnt. Nach rückwärts nimmt die Hitze allmählich ab, und zwar so, daß der letzte Abschnitt der Stange ohne Farbhitze ist. Nach dem Abschrecken in Wasser wird der Stahl sorgfältig abgetrocknet und bei jeder aufeinanderfolgenden Kerbe (in einem Schraubstock) zerbrochen. Das erste und vielleicht auch noch das zweite Stück werden sehr leicht abbrechen, wenn sie nicht bereits beim Abschrecken abgesprungen sind, und einen grobkörnigen, auffallend weißen Bruch aufweisen. Die folgenden Stücke werden weniger leicht abbrechen und in ihrem Bruchgefüge allmählich feiner werden, bis das glatte, samtartige, mattglänzende Aussehen eines gut gehärteten Stahls erreicht ist. Hierauf wird bis zum ungehärteten Teil herab der Bruch grobkörniger. In Abb. 86 sind die Bruchstellen eines so behandelten Werkzeugstahls mit 1,1 v. H. Kohlenstoff in natürlicher Größe wiedergegeben, wobei Bruch 4 dem eines richtig gehärteten Stahls entspricht, der in diesem Zustande das überhaupt mögliche feinste Gefüge (Korn) angenommen hat. Man muß also

beim Härten bestrebt sein, die geringste Korngröße der festen Lösung bei ihrer Bildungstemperatur zu erzielen, da ein überhitzt gehärteter Stahl, der an seinem groben Korn im Bruch- und Kleingefüge leicht erkennbar ist, von geringerer Lebensdauer und Leistungsfähigkeit ist.

Die Rotfärbung, die bei dem heißen Stabe gerade an der Stelle vorhanden war, wo später der beste Bruch gefunden wurde (Stelle 4 in Abb. 86), ist im Gedächtnis zu behalten. Der Versuch ist natürlich nur dann wertvoll, wenn alle Werkzeuge aus diesem Stahl unter denselben Bedingungen erhitzt werden. Bei der Beurteilung der Rotfärbung spielt auch die Beleuchtung der Härterei eine gewisse Rolle. Die Metcalf-Prüfung ist deshalb empfehlenswert, weil sie mit geringer Mühe eine Reihe von Brüchen liefert, die die Wirkung verschiedener Härtungstemperaturen auf den Stahl erkennen läßt. Die Bruchstücke werden zweckmäßig

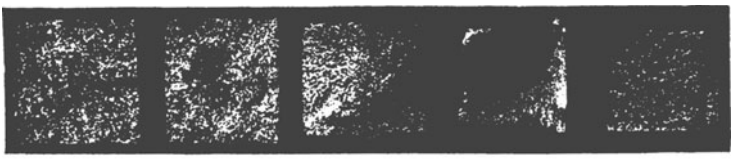


Abb. 86. Metcalfs Härtungsprobe zur Bestimmung der richtigen Härtungstemperatur. Nat. Größe.

in einer mit Glas bedeckten Schachtel aufbewahrt und dienen dann als Standardmuster, mit dem die Brüche solcher Werkzeuge verglichen werden können, die schlecht gehärtet sind. Wenn der Härter diese Standardmuster hergestellt hat, so kann er sich in beliebigen Zwischenräumen davon überzeugen, ob die von ihm gehärteten Werkzeuge den richtigen Bruch aufweisen, obwohl allerdings das Bruchgefüge nicht allein von der Höhe der Temperatur, sondern auch von der Zeitdauer abhängig ist, während welcher der Stahl erhitzt wurde.

Eine Abänderung der Metcalf-Prüfung ist von Alling beschrieben worden. Diese Prüfung ist nicht so leicht wie die Metcalfsche Probe auszuführen, aber sie ist bei weitem lehrreicher. Man bringt den Stahl (ein Stück von 100 mm × 30 mm im Querschnitt) in die Einspannvorrichtung einer Fräsmaschine in eine solche Stellung, daß der Fräser nahezu ein Viertel an einem

Ende einschneidet und ungefähr drei Viertel an dem anderen. Hierauf schneidet man die Fräserfurche V-förmig aus. Alsdann setzt man das Stahlstück einer allmählich nachlassenden Hitze aus, ähnlich wie bei der Metcalfschen Prüfung, indem man dafür sorgt, daß die Überhitzung an dem Ende vor sich geht, das am wenigsten von dem Fräser eingeschnitten wurde. Nach dem

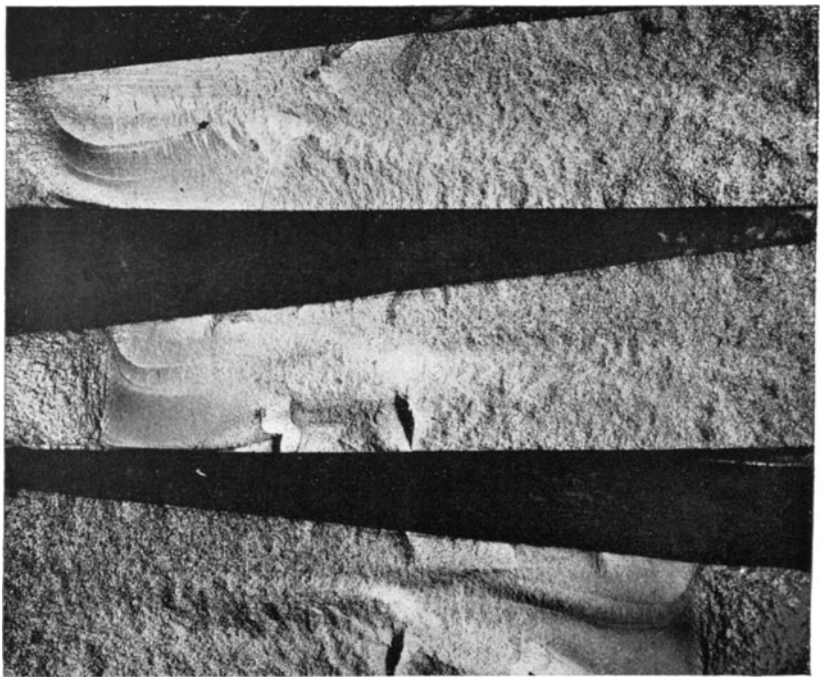


Abb. 87. Allings Härtungsprobe zur Bestimmung der richtigen Härtungstemperatur. Nat. Größe.

Abschrecken reibt man das Stahlstück vollkommen trocken. Wenn jetzt ein Keil in die Furche getrieben wird, dann können die beiden Hälften durch einige kräftige Schläge voneinander getrennt werden, die ein Bruchgefüge bloßlegen, welches die Wirkung der verschiedenen Temperaturen zeigt, bis zu welchen der Stahl erhitzt worden ist. Das Aussehen von Stahlstücken, die auf diese Weise hergestellt und zerbrochen wurden, ist in Abb. 87

wiedergegeben, die leicht die Stellen mit dem feinkörnigsten Bruche erkennen läßt.

Ist irgendein Mittel zur Bestimmung und Überwachung der richtigen Härtungstemperatur nicht vorhanden, so besteht das zuverlässigste Verfahren zur Ermittelung dieser Temperatur darin, durch Versuche an einigen halbzölligen Stäben des zu verarbeitenden Stahles von neuem den gewünschten Farbenton der Rotglühhitze dem Gedächtnis einzuprägen, so oft wie die Bedingungen, die den Farbenton des heißen Stahls beeinflussen, sich ändern. Nach dem Abschrecken werden die Stäbe mit einer Feile geprüft und zerbrochen. Dennoch ist dieses Abschreckverfahren im besten Falle nur ein Notbehelf, aber wenn der Härter, der es anwendet, Geduld und Beobachtungsgabe besitzt, wird er, soweit Temperaturen bis zu einer gewissen Höhe in Betracht kommen, kaum Irrtümer begehen.

Die niedrigste Temperatur, bei welcher ein Stück gewöhnlicher, etwa 1 v. H. Kohlenstoff enthaltender Stahl gehärtet werden kann, ist ungefähr 740° C. Der Stahl, der mindestens bis zu dieser Temperatur oder etwas höher erhitzt wird, kann bis auf 700—710° C abgekühlt werden und wird sich dann noch immer beim Abschrecken härten. Wenn ein Stahl 2 oder 3 v. H. Chrom oder 3 oder 4 v. H. Wolfram (Magnetstahl) enthält, dann liegt seine niedrigste Härtungstemperatur bei 800° C. Man kann daher Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff und Stahl mit 2—3 v. H. Chrom oder 3—4 v. H. Wolfram dazu benutzen, die drei Temperaturgrade in dem Härteofen: 700, 750 und 800° C festzustellen. Von kleinen Streifen der genannten Stahlsorten, wie sie zur Herstellung von Tischmessern oder kleinen Feilen dienen, schneidet man 50—75 mm lange Stücke ab, legt sie in den Härteofen, und wenn sie die Hitze des Ofens angenommen haben, schreckt man sie ab. Wenn der Chromstahl sich härtet, so ist die Temperatur 800° C oder darüber, wenn der Kohlenstoffstahl sich härtet und der Chromstahl nicht, so ist die Temperatur nicht 800° C, sondern 750° C oder mindestens 740° C. Härtet der Kohlenstoffstahl sich nicht und wird er dann absichtlich heißer gemacht als die Temperatur des Ofens zuläßt, kühlt man ihn dann bis zur Temperatur des Härteofens ab und wird weiter beim Abschrecken gefunden, daß er sich härtet, dann ist die Temperatur 700° C oder etwas darüber, aber nicht 750° C. Auf diese Weise kann man leicht ohne besondere Meßgeräte die Temperatur des Härteofens innerhalb des Temperaturbereichs von 700—800° C ermitteln.

Gleichmäßige Abkühlung ist ebenso wichtig wie gleichmäßige Erhitzung der verschiedenen Teile eines Werkzeuges. Ersteres ist mitunter sehr schwierig und wegen der Schnelligkeit, mit welcher das Abkühlen beim Abschrecken vor sich gehen muß, um den Stahl überhaupt zu härten, fast unmöglich. Um daher einen möglichst vollen Erfolg durch das Abschrecken zu erzielen, muß das Werkstück schnell durch das Härtebad bewegt werden,

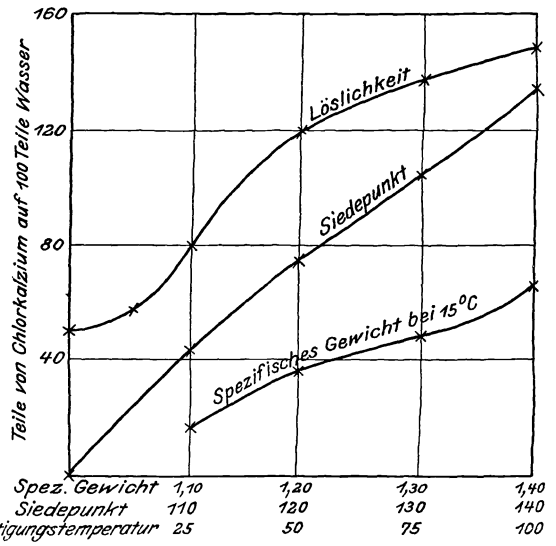


Abb. 88. Physikalische Eigenschaften wäßriger Lösungen von Chlorkalzium.

um einer Gasbildung um den Stahl, die eine durchgreifende Härtung verhindert, vorzubeugen.

Fast jeder gewünschte Härtegrad kann durch Abschrecken in Wasser erzielt werden. Das Wasser kann ganz kalt sein, wenn das Werkzeug von einfacher Gestalt ist und Glashärte verlangt wird, jedoch zu einer weniger schroffen Härtewirkung und für verwickelte Werkzeuge kann das Härtewasser bis auf 30 oder sogar bis auf 40° C erwärmt werden. Wenn indessen das Wasser vorher mit Chlorkalzium gesättigt und hierdurch der Siedepunkt dieser Härteflüssigkeit bedeutend erhöht wurde, so kann das Bad nötigenfalls auf 70—80° C erhitzt werden. Auf diese Weise kann man mit wäßrigen Salzlösungen dieselben guten Ergebnisse

beim Härten erhalten wie mit Öl, obgleich aus Gründen der Bequemlichkeit und für milde Härtung Öl zum Abschrecken gewöhnlich vorgezogen wird. Die physikalischen Eigenschaften wäßriger Lösungen von Chlorkalzium, die für den Härter Interesse haben, sind in Abb. 88 dargestellt.

Die Wirkungen der als Abschreckmittel verwendeten Flüssigkeiten sind auf folgende Eigenschaften derselben zurückzuführen: Wärmeleitungsvermögen, von welchem die Verteilung der aus dem heißen Stahl aufgenommenen Wärme in dem ganzen Abschreckbade abhängt; Verdampfungsfähigkeit, welche die Art der Dampfbildung um den heißen Stahl herum bestimmt; Zähflüssigkeit, von welcher die Geschwindigkeit zwischen den verschiedenen Teilen der Flüssigkeit und damit auch die Art der Abkühlung des Stahls abhängt; spezifische Wärme, die einen Maßstab für die Wärmemenge abgibt, die von einem bestimmten Volumen der Flüssigkeit aufgenommen werden kann, wenn ihre Temperatur um 1° C steigt; in Ölen die Schnelligkeit, mit welcher ein Überzug von verbranntem Öl über große und daher nicht schnell abzukühlende Gegenstände gebildet wird. Nach Benedicks [1]) ist die Abkühlungsfähigkeit einer Flüssigkeit hauptsächlich von ihrer latenten Verdampfungswärme abhängig. Die spezifische Wärme, Wärmeleitfähigkeit und Zähflüssigkeit besitzen erst in zweiter Linie Bedeutung. Diese Behauptungen scheinen sich nur auf Laboratoriumsversuche zu stützen, und da sie nicht gänzlich mit den Ansichten erfahrener Härter übereinstimmen, erscheint es wünschenswert, sie durch verschiedene Arten von Härtungsversuchen nachzuprüfen, die an Stahlproben von verschiedenen Abmessungen und unter den bei praktischen Härtungen üblichen Bedingungen angestellt werden.

Manche früheren irrigen Anschauungen über die Wirkungsweise verschiedener Härteflüssigkeiten wurden von Le Chatelier widerlegt. Er erhitzte kleine mit einem Tonstopfen verschlossene Zylinder aus Eisen, in denen ein Thermoelement untergebracht war. Beim Abschrecken der Eisenzylinder in verschiedenen Flüssigkeiten beobachtete er die Zeiten, die gebraucht wurden, um eine Abkühlung von 700° C bis auf 100° C hervorzubringen. Die Ergebnisse dieser Versuche, die Haedicke zusammengestellt hat, sind in Abb. 89 wiedergegeben [2]).

[1]) Metallurgie 1908, S. 340.
[2]) Stahl und Eisen 1904, S. 1239.

Das am wenigsten erwartete Ergebnis beim Abschrecken zeigte Quecksilber (Kurve *B*). Seine große Wärmeleitfähigkeit, die das Gefühl von Kälte hervorruft, wenn man Quecksilber von Zimmertemperatur mit den Fingern berührt, ist die Ursache zu der Ansicht geworden, daß das Quecksilber erhitzte Stähle sehr

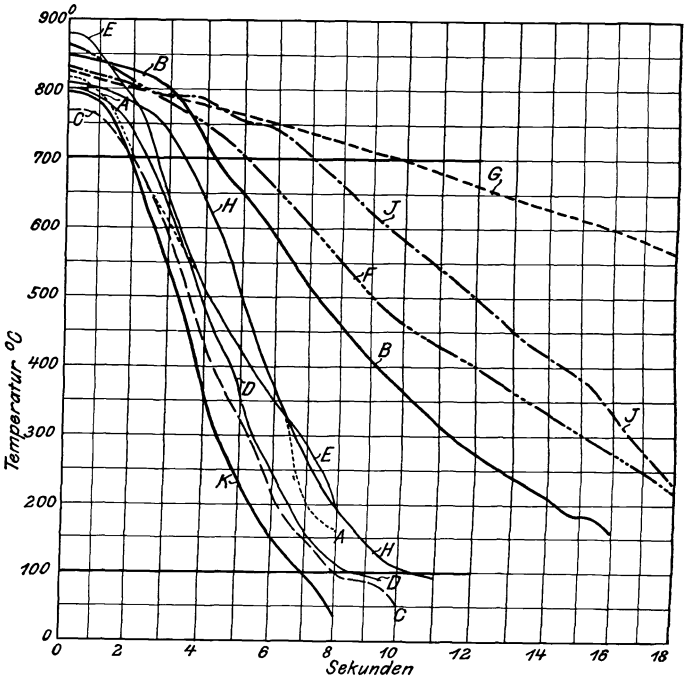


Abb. 89. Wirkung des Abschreckens von Stahl in verschiedenen Flüssigkeiten.

A = kaltes Wasser. *B* = Quecksilber. *C* = Wasser von 20° C. *D* = Salzwasser. *E* = 10prozentige Schwefelsäure. *F* = Leinöl. *G* = Blei. *H* = Wasser von 50° C. *I* = Wasser von 100° C. *K* = Sprühregen.
Nach Le Chatelier-Haedicke.

schnell abkühlen und auf sie einen hohen Härtegrad übertragen müßte. Es wird indessen in dieser Hinsicht von kaltem Wasser übertroffen, und zwar aus dem Grunde, weil die spezifische Wärme des Quecksilbers ungefähr 30mal geringer ist als diejenige des Wassers. Die abkühlenden Wirkungen von Salzwasser und

verdünnter Schwefelsäure wurden als nicht merklich verschieden von gewöhnlichem Wasser gefunden und rechtfertigen daher nicht die landläufige Ansicht über ihre Vorzüglichkeit als Abschreckmittel. Die Wirkung, die man dadurch erreicht, daß man das Wasser vorher bis auf 50° C erhitzt, ist auch nicht viel besser, jedoch muß daran erinnert werden, daß alle diese Versuche mit kleinen Eisenstückchen von wenigen Grammen Gewicht (durchschnittlich 2—3 g) angestellt wurden und daher nicht beweiskräftig bei Anwendung großer Stahlwerkzeuge sind. Es soll noch bemerkt werden, daß man dem Wasser in großen Härtebottichen noch aus dem Grunde Salz hinzufügt, um es vor dem frühzeitigen „Verfaulen" zu bewahren.

Für feine Werkzeuge mit geringen Durchmessern und verhältnismäßig großen Längen, die sehr hart sein müssen und sich nicht verziehen dürfen, wird Zwiebelhärtung vorgeschlagen, die in ihrer Art sehr einfach ist. Hierbei wird der glühende Stahl in einen Brei von rohen Zwiebeln eingetaucht und schnell hin und herbewegt.

Aus dem Überblick über die physikalischen Veränderungen im Stahl, denen die merkwürdige Erscheinung der Härtbarkeit zuzuschreiben ist, ergibt sich, daß die Art der Abkühlung den erreichbaren Härtegrad bestimmt, und mit dem Härtegrad schwankt auch die Änderung des Volumens, und folglich schwanken auch die daraus sich ergebenden Spannungen. Auch aus den thermischen Kurven ist zu folgern, daß die wirksamste Härtung, die durch Abschrecken hervorgerufen werden kann, auf einen ziemlich engen Temperaturbereich, in gewöhnlichen Werkzeugstählen zwischen 720 und 680° C, beschränkt ist. Das Abschrecken unter 680° C, wenn es auch sehr schnell ausgeführt wird, reicht noch nicht aus, um den Stahl zu härten, sondern der Stahl muß bis auf etwa 100° C abgekühlt werden. Denn wird der Stahl, nachdem er etwa bis auf 600° C, also wesentlich unter 680° C abgeschreckt ist, aus dem Härtebade herausgenommen und dann an der Luft abgekühlt, so wird die Härtung abgeschwächt, und zwar in derselben Weise, wie der richtig bis auf ungefähr 100° C schnell abgekühlte, durch Wiedererhitzen auf Temperaturen unter 600° C erhitzte Stahl angelassen, d. h. weicher gemacht werden kann. Bei der Verwendung von Ölen und ähnlichen Flüssigkeiten als Abschnreckmittel findet sowohl das Abkühlen bis zu 680° C als auch unter diese Temperatur mit einer geringeren Geschwindig-

keit statt, als wenn Wasser verwendet würde, was je nach den vorliegenden Umständen mit Vorteil oder Nachteil für die bei dem Werkstück zu erreichende Härte verbunden sein kann. Es ist klar, daß eine gewisse geringste Geschwindigkeit des Abkühlens zwischen 720 und 680° C notwendig ist, um irgendein besonderes Stück Stahl bis zu einem gewünschten Grade zu härten. Diese Geschwindigkeit ändert sich jedoch mit der Zusammensetzung des Stahls und beinahe alle erstklassigen Tiegelstähle, die nicht besonders für Ölhärtung hergestellt sind, härten sich nicht gut in Öl. Meist schreiben die Stahlwerke für besonders zähharte Gußstahlsorten Ölhärtung vor. Hier zeigt es sich dann sehr oft, daß Werkzeuge aus einem solchen Stahl, namentlich wenn sie starke Querschnitte aufweisen, keine harte Oberfläche erhalten oder aber daß ihre Härte zu mild ausfällt. Der Grund für dieses eigenartige Verhalten solcher Stähle bei der Ölhärtung mag vielleicht darin liegen, daß ihre chemische Zusammensetzung aus dem üblichen Rahmen fällt. Jedenfalls erhalten diese Stähle auch bei Ölhärtung dann eine gute Härte, wenn sie in gebrannter Lederkohle verpackt auf eine Temperatur von 740—760° C erhitzt wurden. Wenn der Betrag an Mangan von 0,15—0,25 v. H., der gewöhnlich in erstklassigem Werkzeugstahl vorhanden ist, bis auf 0,40 v. H. und darüber steigt, so wird die Schnelligkeit, mit welcher die Umwandlung im Stahl vor sich geht, verringert, und ein Werkzeug, das sonst zu weich wäre, härtet sich zufriedenstellend, auch wenn die Abkühlung zwischen 720 und 680° C nicht mit der wünschenswerten Schnelligkeit vor sich geht. Bei Feilen ist ein Gehalt an Mangan wichtig, da dieser die Tiefe der Härtungsschicht erhöht. Aber bei großen Feilen darf er auch nicht zu hoch sein, da die beim Härten auftretenden hohen Spannungen das Reißen der Feilen erleichtern. Bei ganz dünnen Feilen kann allerdings auch ein Mangangehalt ungünstig sein, da die gehärteten Feilen dann sehr spröde sind. In England wählt man gewöhnlich für Feilen einen Kohlenstoffgehalt von 0,90—1,40 v. H. und einen Mangangehalt von 0,35—0,80 v. H.

Von den in Gebrauch befindlichen Ölen oder ähnlichen Stoffen härtet Petroleum am besten. Am nächsten steht Glyzerin, das ehemals nicht genügend als Härteflüssigkeit gewürdigt worden ist, aber im Gegensatz zu anderen Ölen und Fetten die Eigenschaft hat, sich mit Wasser zu vermischen. Es verleiht Werkzeugen neben einer hohen Härte auch eine gewisse Elastizität und Milde,

welch letztere um so größer ist, je mehr Glyzerin das Wasser enthält, so daß man leicht in der Lage ist, die jeweils gewünschten Härteabstufungen ohne Anlassen zu erreichen. In der Regel fügt man dem Wasser etwa bis zu einem Drittel Glyzerin bei, wodurch bereits eine sehr milde Härtung hervorgerufen wird. Einem etwaigen Reißen des Werkstückes beugt der Glyzeringehalt vor, so daß dieses Bad zum Härten schwieriger Gegenstände, wie kleiner Federn oder von Stücken mit scharfen Winkeln und schlanken Spitzen usw. gut geeignet ist. Das billige ungereinigte Glyzerin genügt vollkommen, das außerdem noch eine vorzeitige Verdunstung oder Eintrocknung des Härtewassers verhindert.

Dem Glyzerin folgen leichtflüssige Mineralöle und endlich dickflüssige Pflanzenöle, wie Leinöl u. a. Eine Schicht Öl auf der Oberfläche des Härtewassers gibt Veranlassung, daß beim Stahl ein höherer Härtegrad erreicht wird, als mit Öl allein, und ein geringerer Härtegrad, als mit Wasser allein, weil eine dünne Ölschicht auf dem Werkzeug haften bleibt, wenn es durch das auf dem Wasser schwimmende Öl gezogen wird und hierdurch die Ursache zur Verzögerung der Kühlwirkung des Wassers gegeben wird. Die Härtungsergebnisse können durch Veränderung der Dicke der Ölschicht beeinflußt werden, jedoch gelingt es nur einem praktisch erfahrenen Härter, bei verhältnismäßig einfachen Werkzeugen gleichmäßig gute Ergebnisse durch Anwendung eines Härtewassers mit einer Ölschicht zu erzielen. Da das Öl beim Hineintauchen von rotglühenden Gegenständen leicht entflammt, müssen bei Ölbädern Säcke zur Erstickung der Flamme zur Hand sein. Anstatt des Öles wird das Wasser zuweilen mit Kalk oder Lehm oder sogar Seife vermischt, die alle den einen Zweck haben, eine dünne Schicht eines die Wärme schlecht leitenden Stoffes um den Stahl herum zu bilden. Häufiger jedoch wird eine gesättigte Salzlösung angewendet und zum Härten von Feilen allgemein gebraucht. Ätznatron, Schwefelsäure, Salmiak, Soda, Mangansulfat und fast jeder in Wasser lösliche Stoff, der in den Bereich der Härterei kommt, wird dann und wann dem Härtewasser hinzugefügt. Diese gelegentlichen Beimischungen sind meist nicht schädlich, doch sind sie gewöhnlich nutzlos.

Da die Härtungswirkung der Kühlflüssigkeit vorüber ist, sobald die Temperatur des Stahls in allen Teilen unter 680° C bis etwa 400° C gefallen ist, und die Art des nachfolgenden Ab-

kühlens nur das spätere Anlassen beeinflußt, so ist es zweckmäßig, die Abschreckarbeit in der Weise durchzuführen, daß Härten und Anlassen in ein und derselben Flüssigkeit vorgenommen werden können. Wenn es z. B. gewünscht wird, einen gehärteten Gegenstand auf 350° C anzulassen, so könnte man glauben, daß unmittelbares Abschrecken in geschmolzenem Blei, dessen Tempe-

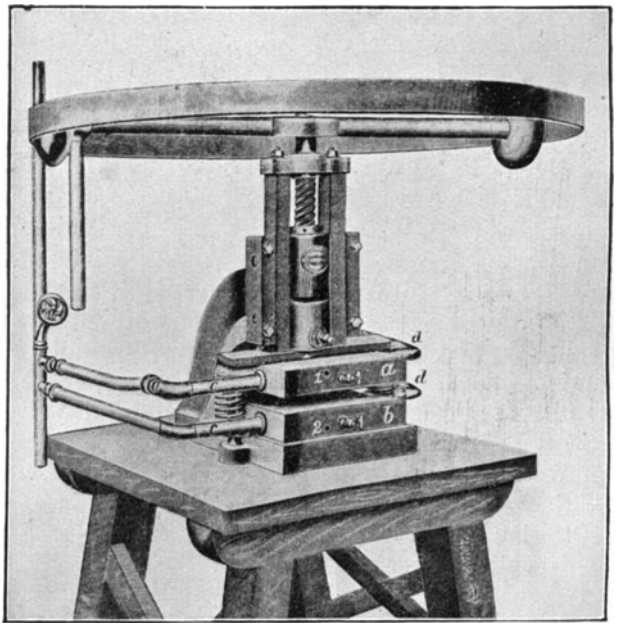


Abb. 90. Presse zum Härten von Stahlstreifen.

ratur ungefähr 350° C sein wird, ebenso wirksam sein würde, als ihn zuerst in Wasser zu härten und alsdann anzulassen. Dasselbe würde der Fall sein, wenn die Schnelligkeit des Abkühlens von der Abschrecktemperatur herab bis 350° C ebenso schnell in Blei als in Wasser wäre. In der Tat verläuft das Abkühlen in Blei sehr viel langsamer als in Wasser, und die Anwendung von geschmolzenem Blei oder einem ähnlichen Metall oder einer Metallegierung oder einem anderen geschmolzenen Stoff ist nur in verhältnismäßig wenigen Fällen möglich, wenn vom Stahl große Zähigkeit und ein sehr mäßiger Härtegrad gewünscht werden.

Zum Härten von Sägeblättern, Bandsägen, Sicherheitsrasierklingen, Schirmstangen und anderen Gegenständen von dünnem Querschnitt ist die Anwendung einer Presse zu empfehlen, die in ihrer Wirkung dem Metallbade völlig gleichwertig ist. Eine Ansicht einer solchen Presse stellt Abb. 90 dar[1]), in welcher *a* und *b* hohle Metallkästen bedeuten, die je nach Wunsch durch fließendes Wasser gekühlt oder durch heißes Öl erwärmt werden können. Die Temperatur der hindurchströmenden Flüssigkeit wird an den Stellen 1 und 2 mit Hilfe eines Thermometers gemessen und deren Geschwindigkeit durch Absperrungsvorrichtungen an den Zu- und Ableitungsröhren *c* und *d* geregelt. Die zu härtenden Gegenstände werden unmittelbar vom Härteofen zwischen den Preßkörpern gepreßt und bedürfen, wenn sie herausgenommen werden, weder des Anlassens noch des Geraderichtens. Durch Vertiefungen in den Preßplatten kann irgendein Teil eines Gegenstandes, z. B. der Rücken eines Sägeblattes, weich gelassen werden. Diese Art Presse kann auch zur ununterbrochenen unmittelbaren Stahlbandhärtung benutzt werden. Zu diesem Zweck ist die Presse gleich hinter dem Härteofen, in welchem das Stahlband erhitzt wird, aufgestellt. Das erhitzte Stahlband wird dann zwischen die Härtungsplatten hindurchgezogen, die vorher auf eine solche Temperatur und einen solchen Druck eingestellt sind, daß das Band sie mit der verlangten richtigen Federhärte verläßt. Derselbe Zweck kann anstatt mit parallel angeordneten Platten auch mit Hilfe von Walzen erreicht werden.

Auf Grund allgemeiner Anweisungen läßt sich nur wenig über die Art sagen, nach welcher irgendein Werkzeug in die Härteflüssigkeit gebracht werden muß. Wenn das Werkzeug nicht richtig gehärtet worden ist, so ist es besser, daß es wieder ausgeglüht und dann von neuem gehärtet wird. Jede Werkzeugform verlangt bei der Härtung besondere Überlegung seitens des Härters, und meist genügen wenige Vorversuche, um zu dem Abkühlungsverfahren zu gelangen, bei dem am wenigsten die Entstehung gefährlicher Kräfte und Spannungen im Werkstück zu befürchten ist. Bedeutende Schwankungen in der Stärke der einzelnen Teile, scharfe Ecken und besonders scharfe Winkel an Werkzeugen verursachen immer Schwierigkeiten bei der Härtung. Aus diesem Grunde müssen Maschinenbauer und Werkzeug-

[1]) Stahl und Eisen 1896, S. 900.

konstrukteur mit dem erfahrenen Härter zusammenarbeiten, damit derartige Formen an nur mit Gefahr zu härtenden Werkzeugen vermieden werden.

Die stärkeren Teile eines Werkzeuges müssen immer zuerst das Wasser berühren, damit die durch ihre Kontraktion ausgelöste Kraft die dünneren Querschnitte nicht zum Reißen bringen kann, solange letztere warm und daher fähig sind, sich zu biegen ohne zu brechen. Es ist also ratsam, alle einseitig erhitzten Werkzeuge am kälteren Ende zuerst abzuschrecken.

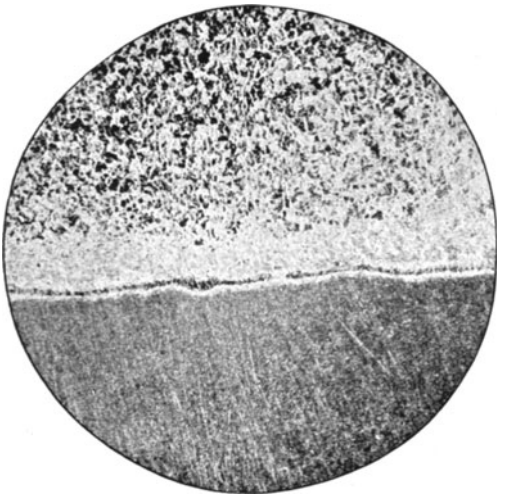


Abb. 91. Trennungslinie zwischen der gehärteten Schneide und dem ungehärteten Rücken eines Schneidwerkzeuges.
V = 100.

Ein einfacher Flachstab wird, wenn er gleichmäßig erhitzt und durch gleichmäßiges Eintauchen in die Härteflüssigkeit nur auf einen Teil seiner Breite abgeschreckt wird, beständig an der Stelle geschwächt sein, die den gehärteten von dem ungehärteten Teile trennt. Ein Beispiel für eine derartige Härtung gibt Abb. 91, die das Gefüge eines Schneidwerkzeuges darstellt. Das aus gewöhnlichem Martinstahl hergestellte Werkzeug enthält eine Schneide, deren Kleingefüge aus feinem Martensit besteht (untere Hälfte der Abb. 91). Unmittelbar an die gehärtete Schneide stößt in scharfer Abgrenzung der Rücken des Werkzeuges, dessen Klein-

gefüge Ferrit und Perlit aufweist. Da Werkzeuge dieser Art Stößen nicht ausgesetzt sind, so ist auch ein Abbrechen der gehärteten Schneide von dem ungehärteten Rücken nicht zu befürchten. Wenn dagegen der Stahl sehr arm an Ferrit und daher nach dem Abschrecken glashart ist, so wird er häufig an der Trennungsfläche entlang, entweder vor oder bald nach dem Herausnehmen aus dem Wasser, reißen. Die geschwächte Stelle wird oft unentdeckt bleiben, wenn nicht das nachfolgende Schleifen einen feinen Riß zwischen gehärteter und ungehärteter Schicht hervorruft.

Eine weiche Stelle an der Oberfläche eines gehärteten Gegenstandes ist zum Absplittern geneigt oder kann sogar einen tiefen Riß verursachen. Solche Risse können bei der Behandlung mit kalten oder nassen Zangen, bei Berührung mit einem zu kalten



Abb. 92. Risse in der harten Außenseite eines Stahlringes.

Ofenteile, durch einen zufälligen Wasserspritzer oder durch das flüchtige Hinlegen auf irgendeine kalte Fläche auf dem Wege vom Ofen zum Härtebottich entstehen. Es ist gleichgültig, wodurch solche örtlich begrenzten Abkühlungen hervorgerufen werden, doch ist zu beachten, daß der abgekühlte Teil weich bleiben wird oder sich nur unvollkommen härten läßt, wenn er vor dem Abschrecken bereits unter seine kritische Temperatur abgekühlt war.

Betrachten wir jetzt die Bedingungen, die zum Reißen eines Werkzeuges führen können. Die Oberfläche des gehärteten Stahls hat sich bleibend vergrößert. Der weichere innere Teil ist nicht so stark vergrößert und muß sich daher in einem Zustande der Dehnung befinden, solange er mit dem äußeren im Volumen vergrößerten Teil noch in inniger Verbindung steht. Irgendein plötzlicher Stoß oder eine molekulare Störung, z. B. schon Schleifen, kann die Ursache sein, daß die zwischen dem äußeren und inneren Teil vorhandenen Spannungen die Widerstandsfähigkeit des

Materials überwinden und dadurch einen deutlichen Bruch an der Oberfläche hervorrufen. Ein eigentümlicher Bruch dieser Art, der auf der Oberfläche eines im Einsatz gehärteten Ringes vorkam, ist in Abb. 92 gezeigt, die auch durch die mit der Feile gemachten Einritzungen die verhältnismäßige Weichheit des abgesplitterten Teiles erkennen läßt. Absplitterungen dieser Art sind gewöhnlich in der Mitte dicker und gehen allmählich in eine sehr dünne Kante über. Wenn ein Schnitt durch einen solchen Splitter gelegt und für die mikroskopische Prüfung geeignet vor-

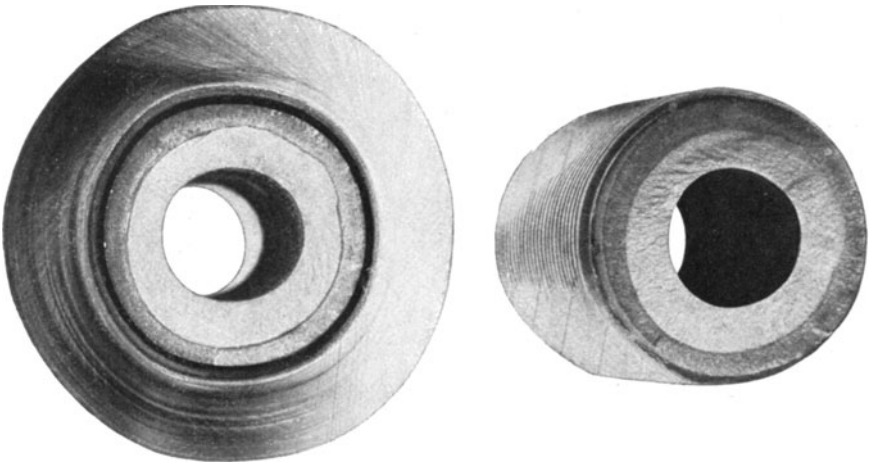


Abb. 93. Am scharfen Übergang vom starken zum schwachen Teil beim Härten geplatzte Bohrspindel.
V = 2.

bereitet wird, so ist es gewöhnlich sehr leicht, den Ursprung der Absplitterungen auf die eine oder die andere der erwähnten Ursachen zurückzuführen.

Weiche Stellen in einem gehärteten Stahlstück können auf wirkliche Entkohlung, wie auf S. 70 auseinandergesetzt wurde, zurückgeführt werden. Sie sind dann meist sehr unregelmäßig in der Form und können nicht so leicht mit solchen weichen Stellen verwechselt werden, die durch Unregelmäßigkeiten bei der Härtung hervorgerufen werden, wie vorher angegeben worden ist. Auch können weiche Stellen dadurch entstehen, daß das Werkzeug in einem Kohlenfeuer erhitzt wurde, das noch nicht

ordentlich durchgebrannt war. In diesem Falle verbindet sich Schwefel aus der Kohle mit dem Eisen und bildet entweder ein Eisensulfid oder bewirkt, daß die Oberfläche des Stahls sehr leicht abblättert und sich mit Narben bedeckt (Weichflecken, s. S. 250). Deswegen ist Koks oder am besten Holzkohle der geeignetste Brennstoff für Härteöfen, wenn keine andere Feuerstätte zur Verfügung steht. Während diejenigen weichen Stellen, die früher erwähnt sind, bei nochmaligem Härten verschwinden, so tun dies solche weichen Stellen nicht, die eine Entkohlung zur Ursache haben, durch die jedoch nie oder nur in seltenen Fällen eine Absplitterung herbeigeführt wird. Die gewöhnlichste Ursache bei zersprungenen Werkzeugen, auch in einer gut geleiteten Härterei, sind scharfe Winkel oder Ecken des betreffenden Werkzeuges. Wie einwandfrei auch das Erhitzen und Abschrecken solcher Werkzeuge gewesen sein mag, so kann doch nicht die größte Sorgfalt bei der Härtung die mit scharfen Ecken und Winkeln verbundene Gefahr des Zerspringens der Werkzeuge beseitigen.

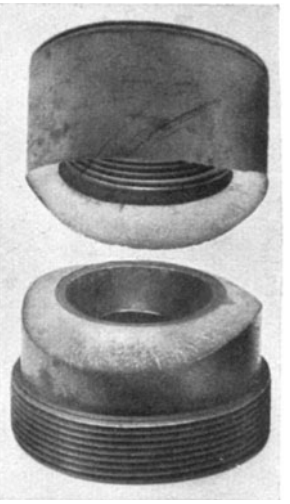


Abb. 94. Beim Härten abgeplatztes Meßei. Nat. Größe.



Abb. 95. Härtestreifungen an scharfen Ecken.

Ein Beispiel der Schädlichkeit des plötzlichen Überganges von starken zu schwachen Querschnitten gibt Abb. 93. Beim Härten riß die Bohrspindel an dem scharfen Übergange ein und brach bei Inbetriebnahme gänzlich auseinander. Man sieht deutlich zwei Bruchflächen (dunkel, beim Härten entstanden, und hell, späterer Bruch). Auch das in Abb. 94 veranschaulichte, beim Härten geplatzte Meßei zur Bestimmung hoher Drucke (z. B. von Pulvergasen) zeigt deutlich die scharfe Eindrehung des inneren Gewindeanfanges, wo der Riß einsetzte.



Abb. 96. Streifungen bei erstarrtem Schwefelantimon.

Die Gefahr des Zerspringens von Werkzeugen mit scharfen Winkeln und Ecken hängt im besonderen auch von der Art der Abkühlung ab. Abb. 95 stellt die Abschreckwirkung an den zwei inneren im rechten Winkel zueinander versetzten Flächen einer Keilnute mit der unvermeidlichen Linie der Schwächung dar, die diagonal zwischen ihnen verläuft. Eine ähnliche Beobachtung kann man bei einem geschmolzenen in einem viereckigen Kasten abgeschreckten Schwefelantimonklumpen machen. Er kann leicht in der Hand an der deutlich erkennbaren Diagonallinie (Abb. 96) entlang zerbrochen werden.

Es ist schon über die Bruchneigung des Stahls an einer Ebene entlang berichtet worden, die scharf den gehärteten von dem ungehärteten Teile des Werkzeuges trennt (S. 110). Ist der Querschnitt

eines Werkstückes sehr groß, so gibt es im Inneren desselben immer eine Stelle, wo der gehärtete und nicht gehärtete Teil

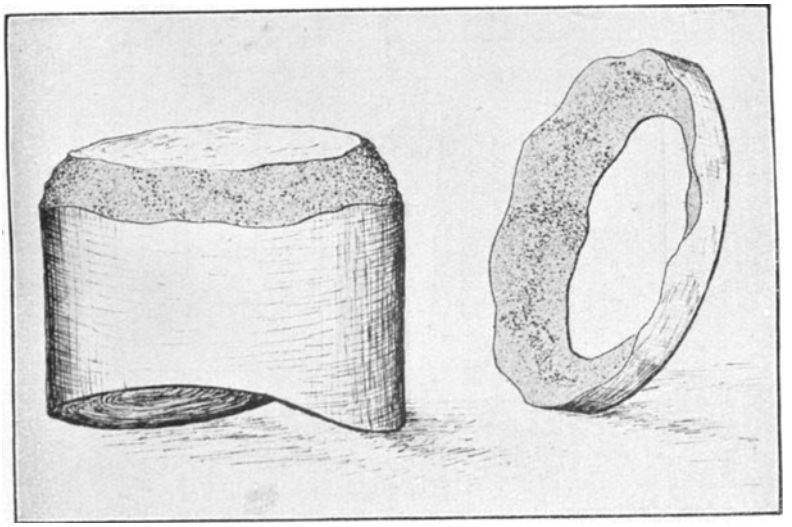


Abb. 97. Ringförmiger Bruch der Kante eines gehärteten Stahlzylinders.

zusammentreffen, so daß in einem solchen Werkstücke stets eine größere oder geringere Bruchgefahr vorhanden ist. Besonders dort, wo Flächen zusammentreffen, um eine scharfe Kante zu bilden, müssen besondere Vorsichtsmaßregeln getroffen werden, um einem Bruche während des Härtens vorzubeugen. Dies kann dadurch erreicht werden, daß scharfe Übergänge durch Hohlkehlen ausgeglichen werden. Ist dies aus konstruktiven Gründen nicht möglich, so wird die Gefahr des Reißens an diesen gefährlichen Stellen dadurch vermieden, daß sie vor dem Härten des Stückes mit Lehm oder einer anderen feuerbeständigen Masse oder mit Asbest abgedeckt werden.

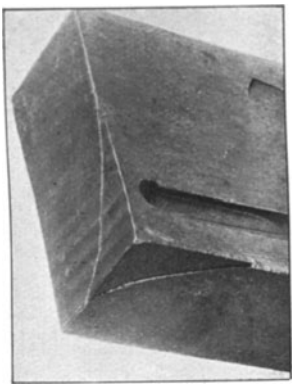


Abb. 98. Prägeform mit beim Härten abgesprungener Ecke. Ecke wieder aufgesetzt. 1/5 nat. Größe.

Ein runder Stab aus Werkzeugstahl mit abgeflachten Enden kann, wenn er

erhitzt und in Wasser abgeschreckt wird, seine Kante in Form eines Ringes abwerfen (Abb. 97). Besonders starke Wellenzapfenbolzen, wie sie früher im Gebrauch waren, werden auf diese Weise

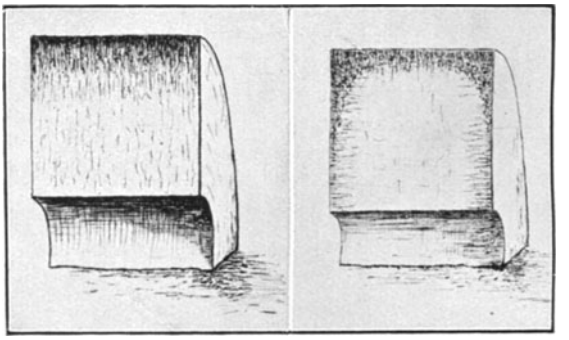


Abb. 99. Durch verschiedenartige Abkühlung hervorgerufene Streifungen an Fräserzähnen.

unbrauchbar. Um diesem Übelstande zu begegnen, ist der sicherste Weg der, daß man die Konstruktion ändert. Wenn das nicht mög-

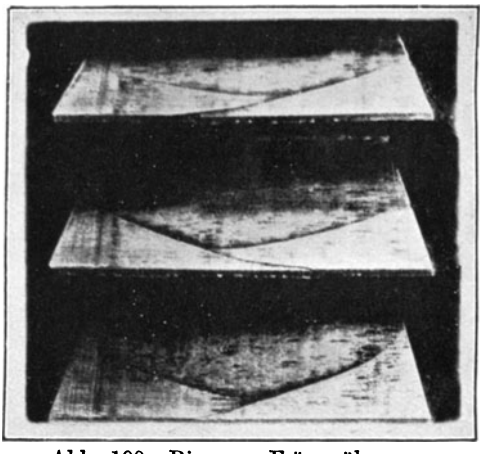


Abb. 100. Risse an Fräserzähnen.

lich ist und entweder nur die Außenschicht oder ein Ende solcher Werkstücke gehärtet werden soll, dann muß das schroffe Abkühlen auf diese Teile beschränkt werden. Dies kann mit Hilfe eines Sprüh-

regens erreicht werden, der so angeordnet ist, daß er die Außenschicht oder das Ende des Stahlstabes trifft.

Das Vorhandensein von weichen Teilen im Innern des gehärteten Stahls erklärt auch das Abblättern der Hammerflächen und das Abplatzen der Ecken an Werkzeugen für Walzendreher und an gewissen Prägeformen (Abb. 98[1]). Wenn noch Überhitzung oder ungleichmäßige Erwärmung des Werkzeuges hinzukommen, dann kann ein Mißerfolg beim Härten kaum abgewendet werden. Zuweilen brechen die Zähne eines Fräsers kreisförmig aus, auch dieser Bruch ist auf eine ähnliche Ursache, wie das erwähnte Abplatzen von Hammerflächen, zurückzuführen. Ein solcher Bruch kann jedoch dadurch vermieden werden, daß man eine kreisrunde Platte, die über die Zähne hinausreicht, auf jede Seite des Fräsers legt, so daß das Abkühlen hauptsächlich im rechten Winkel zur Achse des Fräsers vor sich gehen und so eine gleichmäßige Tiefe der Härte quer zur Breite entstehen kann anstatt einer gekrümmten Ebene, die die gehärteten von den ungehärteten Teilen trennt, wie in Abb. 99 dargestellt ist. Risse, die auf die gleichzeitige Anwesenheit von gehärteten und ungehärteten Teilen zurückzuführen sind, kommen leicht an den Zähnen eines gewöhnlichen Fräsers vor, wie Abb. 100 erkennen läßt.

[1]) Bach-Baumann, a. a. O. S. 63.

VII. Das Anlassen und Ausrichten.

Der Zweck des Anlassens (Nachlassens) kann entweder sein, Härterisse (richtiger als Spannungsrisse zu bezeichnen) zu vermeiden, oder die Brüchigkeit und Sprödigkeit des gehärteten Stahls, also dessen Glashärte, die namentlich bei Schneidwerkzeugen unerwünscht ist, bis zu einem gewissen Grade zu verringern, ihm also neben einer genügenden Härte auch noch die größtmögliche Zähigkeit zu verleihen. Letztere ist wiederum abhängig von der Festigkeit des Stahls, die als Gütemaßstab allerdings für Werkzeugstähle nicht die Bedeutung besitzt wie für Konstruktionsstähle.

Durch das Anlassen kann man daher verschiedene Härtegrade erreichen, die zwischen der durch die Härtung erzielten Härte (Härtungshärte) und der natürlichen Härte liegen. Dieser letzteren nähern sich die Härtegrade um so mehr, je höher das Stück angelassen wird. Die Herbeiführung der jeweils gewünschten Anlaßhärte für ein bestimmtes Werkzeug ist daher für jeden Härter wichtig. Daß durch das Anlassen, bei dem die entgegengesetzten Volumenveränderungen wie beim Härten hervorgerufen und infolgedessen die vorhandenen Spannungen erniedrigt werden, unter gewissen Umständen Risse herbeigeführt werden können, ist früher angedeutet worden. Auch soll daran erinnert werden, daß abgeschreckte Stähle bei einer Anlaßtemperatur bis rund 500° C dauernde Verkürzungen erfahren, deren Höchstwerte bei Stählen mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff liegen.

Die beim Anlassen angewendeten Temperaturen werden nach den beim Erhitzen eines gehärteten Stahlstückes auftretenden Farbenänderungen als dunkle Rotglut, Kirschrotglut, helle Kirschrotglut usw. bezeichnet. Selbstverständlich können diese Bezeichnungen nicht ganz bestimmte Temperaturen angeben, sondern werden je nach der besonderen Veranlagung des Beobachters

verschiedene Temperaturen darstellen, die bis zu 100° C voneinander abweichen können. Große Übereinstimmung herrscht dagegen bei den Fachleuten über die Höhe derjenigen Temperaturen, bei welchen die verschiedenen Anlauffarben (auch Anlaßfarben genannt) erscheinen, wenn ein Stück gehärteter und blankgeriebener Stahl erhitzt wird. Die folgenden Temperaturen werden gewöhnlich in Lehrbüchern, Zeitschriften usw. für das Auftreten der Anlauffarben angegeben:

Anlauffarbe	Temperatur
keine Farbe	bis 220° C
hellgelb	220—230° C
dunkelgelb	240° C
gelbbraun	255° C
rotbraun	265° C
purpurrot	275° C
violett	285° C
kornblumenblau	295° C
hellblau	310—315° C
grau oder meergrün	325—330° C
keine Farbe	über 330° C

Es ist jedoch falsch, wenn man annimmt, daß diese Farben bestimmte Temperaturen angeben. Es ist sogar zweifelhaft, ob durch sie bestimmte Grade des Anlassens angegeben werden. Die Meinung hierüber ist sehr geteilt.

Wenn ein Stück polierter Stahl von ungefähr 5 g Gewicht in ein Gefäß gelegt wird, das vorher bis zu einer Temperatur von 275° C erhitzt wurde, so wird der Stahl nach einer halben Minute gelb werden und jede Farbe bis zum hellblau in ungefähr $^1/_2$ Stunde durchlaufen. Um das Verhalten des Stahls bei verschiedenen Anlaßtemperaturen zu prüfen, wurden in ähnlicher Weise Probestücke unter Luftzutritt in ein gleichmäßig erhitztes Gefäß eingesetzt, wobei die folgenden Ergebnisse erzielt wurden:

Temperatur	Gelb	Braun	Purpurrot	Dunkelblau	Lichtblau
200° C	6	49	—	—	—
220° C	3	33	63	—	—
250° C	1	10	39	—	—
275° C	$^1/_2$	3	11	27	40

Die Zahlen bedeuten die Minuten, die zur Erzielung der vollen Farbe, die an der Spitze der senkrechten Reihe steht, verlangt wurden.

Aus den vorstehenden Zahlen ist ersichtlich, daß die Anlauffarben nicht den in der ersten Aufstellung angegebenen Temperaturen zu entsprechen brauchen, weil sie die Temperaturen für das erste Auftreten der Farben angibt, während aus der zweiten Aufstellung hervorgeht, daß dieselben Anlauffarben bei wesentlich niedrigeren Temperaturen entstehen können, wenn diese niedrigeren Temperaturen ausreichend Zeit haben, auf das Stahlstück einzuwirken. Die Anlauffarbe ist also abhängig von der Zeit der Einwirkung der Temperatur und gibt daher nur einen oberflächlichen Wert für die Beurteilung des Anlaßzustandes an.

Hieraus folgt, daß das Ergebnis beim Anlassen, sowohl in bezug auf die Härte als auch auf andere Eigenschaften des Stahls, dasselbe ist, ob die Farbe durch ein kürzeres Erhitzen bei einer höheren Temperatur oder ein längeres Erhitzen bei einer niedrigeren Temperatur erreicht wurde. Dies ist jedoch eine Schlußfolgerung, mit der man nicht ohne weiteres einverstanden sein kann. Sicherlich wird sie nicht durch Festigkeitsprüfungen an in Öl gehärteten und angelassenen Automobilstählen bestätigt, die nicht sehr große Verschiedenheiten zeigen, nachdem sie während einer Zeitdauer angelassen sind, die zwischen 15 Minuten bis zu 2 Stunden schwankt.

Die Anlauffarbe ist auf eine Oberflächen-Oxydation des Stahls zurückzuführen, und es ist klar, daß die Farbenänderungen unabhängig von der Temperatur sind und nur durch die Erhitzungsdauer bestimmt werden, ebenso wie der Glühspan, der sich bei Rotglut bildet, an Stärke mit der Zeit zunimmt, obwohl die Temperatur unverändert bleibt. Daher ist es nicht angängig, aus den schon bei niedrigen Temperaturen auftretenden Anlauffarben oder aus der Ausdehnung des oberhalb Rotglut entstehenden Glühspans einen Schluß auf die Temperatur zu ziehen, bei welcher der Gegenstand erhitzt wurde. Aus dieser Tatsache folgt weiter, daß man weder aus der Anlauffarbe noch aus der Ausdehnung bzw. Dicke des Glühspans bestimmen kann, bis zu welchem Grade gewisse physikalische Veränderungen, die beim Erhitzen auf bestimmte Temperaturen im Stahl vor sich gehen, stattgefunden haben.

Für gewisse Gewerbezweige kommen blau angelassene Werkzeuge auf den Markt, die mit einer anderen Anlauffarbe kaum verkäuflich sein würden (s. S. 66). Aus diesem Grunde und mit Rücksicht auf ihre allgemeine Zweckdienlichkeit kann die Anlauffarbe beibehalten und selbst unter bestimmten Bedingungen empfohlen werden, um wenigstens eine gewisse Sicherheit dafür zu haben, daß der verlangte Anlaßgrad erreicht wurde. Die Anlauffarbe ist zuweilen bei einfachen Werkzeugen überhaupt nicht zu vermeiden, denn gewöhnliche Werkzeuge werden meist schnell blank gerieben, nachdem sie genügend weit unter die Umwandlungstemperatur abgekühlt sind, aber sie bleiben noch heiß genug, um (nach dem Polieren) wieder anzulaufen.

Wenn bei teuren Werkzeugen ein besonders sorgfältiges Anlassen notwendig wird, dann wird man nicht die Anlauffarbe als Maß für die gewünschte Temperatur ansehen, sondern ein Ölbad verwenden, das bis zu der verlangten Anlaßtemperatur erhitzt ist und das bei dieser Temperatur auch für jede gewünschte Zeit erhalten werden kann. In Öl angelassene Gegenstände nehmen in allen ihren Teilen auch dieselbe gleichmäßige Temperatur an, wodurch Härtespannungen gewöhnlich ausgeglichen werden. Für hohe Anlaßtemperaturen kann ein Bleibad angewendet werden, das in Form eines rechteckigen Troges zum Anlassen langer Stahlblätter besonders geeignet ist. Blei wird auch überall zum Anlassen der nicht gezähnten Feilenangeln, von Bohrerschäften und anderen Teilen von Werkzeugen verwendet, die an gewissen Stellen weich sein sollen. Um die Temperatur des Bades nur wenig über dem Schmelzpunkt des Bleies (327° C) zu erhalten, ist es nur nötig, die Beheizung des Bades so zu regeln, daß sich an der Seite des Troges eine schwache Kruste von festem Blei bildet. Um das Bleibad für niedrige Anlaßtemperaturen geeignet zu machen, setzt man dem Blei Zinn in folgenden Verhältnissen zu:

Prozent Zinn	10	20	30	40	50	60
Flüssig bei	300°	275°	255°	230°	210°	185° C

Eine ähnliche Erniedrigung des Schmelzpunktes des Bleies erreicht man durch Hinzufügung des billigeren Antimons in folgenden Verhältnissen:

Prozent Antimon	5	10	13
Flüssig bei	290°	270°	250° C

Höhere Temperaturen des Bleibades als 327° C werden ungefähr durch das Verkohlen (350° C) oder Funkensprühen (430° C) eines Spanes Fichtenholz oder nach der Schnelligkeit bestimmt, mit welcher die Anlauffarben sich bilden und an einer polierten Stahlstange herauflaufen, die senkrecht in das Bleibad getaucht wird. Alle diese Verfahren stehen natürlich den pyrometrischen Meßverfahren nach, sind aber häufig genau genug und leicht ausführbar.

Kleine Gegenstände, die in großen Mengen hergestellt werden, werden zuweilen nach der Ölhärtung dadurch angelassen, daß man sie erhitzt, bis das anhaftende Öl aufflammt oder bis seine Flamme erlöscht. Man spricht dann auch hier vom „Abbrennen" des Stahls (vgl. S. 76), mit welchem in der Regel sog. Federhärte verbunden ist (vgl. S. 109). Dieses Verfahren kann nicht empfohlen werden, wenn die Gegenstände eine unregelmäßige Stärke besitzen, weil die dünneren Teile von innen heraus schneller auf eine höhere Temperatur erhitzt werden als die dickeren Teile. Bei manchen Gegenständen von gleichartigem Querschnitt (Friktionsscheiben) pflegt dagegen das Abbrennen ausgezeichnete Ergebnisse zu liefern, und es muß gewöhnlich dann angewendet werden, wenn Anlaßtemperaturen verlangt werden, die man im Ölbade nicht mit genügender Zuverlässigkeit erreicht.

Es kommt zuweilen vor, daß ein Stahl, der für Drehstähle oder kleine Bohrer geeignet ist, zu Maschinen-Gewindebohrern oder ähnlichen Werkzeugen verarbeitet wird, die bei groben Arbeiten widerstandsfähig sein müssen. Bei den gewöhnlichen Anlaßtemperaturen (200—300° C) sind sie zu brüchig und bleiben es auch noch bei höheren Temperaturen, bis sie schließlich bei einer zu hohen Anlaßtemperatur zu weich werden, um eine Schneidkante zu behalten. Die Brüchigkeit nach dem Anlassen bei niedrigen Temperaturen ist meist auf das Vorhandensein von freiem Zementit zurückzuführen, der durch das Anlassen bei den üblichen niedrigen Temperaturen nicht beeinflußt wird. Zur Herstellung der genannten Werkzeuge wird man daher einen weicheren Stahl wählen, der bei einer niedrigen Temperatur angelassen werden kann. Die Zusammenstellung auf S. 123 wird gewöhnlich durch eine Reihe von Werkzeugen erweitert, die bis zu den noch beistehenden Anlauffarben angelassen werden sollen. Solche Tafeln können leicht zu Irrtümern führen, wenn nicht die Art des ver-

wendeten Stahls, die Größe des Werkzeuges, die Art seiner Härtung und der genaue Zweck, zu welchem das Werkzeug verwendet werden soll, besonders angegeben sind. Jeder Maschinenbauer zieht das haltbarste Werkzeug jedem anderen vor und läßt es in der Regel nach seinem Gutdünken bis zu einer bestimmten Farbe an, die meist ganz verschieden von derjenigen ist, die in den üblichen Verzeichnissen angegeben wird. Immerhin können folgende Temperaturen für Werkzeuge empfohlen werden, die in einem Ölbadanlaßofen angelassen werden sollen und für welche ein ihren Eigenschaften entsprechender Stahl angewendet worden ist [1]):

Bei rund 220° C:

Schaber für Messing
Stahlstecherwerkzeuge
Kleine Drehstähle
Hammerbahnen
Hobelwerkzeuge für Stahl
Schneidwerkzeuge für Elfenbein
Hobelwerkzeuge für Eisen
Papiermesser
Holzschneiderwerkzeuge
Hornschneiderwerkzeuge.

Bei rund 240° C:

Fräser
Drahtzieheisen
Bohrgeräte
Lederschneidmesser
Schraubenschneidbacken
Eingesetzte Sägezähne
Gewindebohrer
Steinbohrer
Gewindestrehler
Durchschläge und Gesenke
Federmesser
Reibahlen
Halbrundbohrer
Hobel- und Profilhobelmesser
Steinschneidewerkzeuge.

Bei rund 260° C:

Hohleisen
Handhobeleisen
Spiralbohrer
Flachbohrer für Messing
Holzbohrer
Lochhämmer
Küferwerkzeuge
Schärfmesser.

Bei rund 275° C:

Holzbohrer
Zahnärztliche und chirurgische Instrumente
Nuteisen für Stahl
Äxte.

[1]) Fulwider, Metallurgie 1910, S. 157.

Bei rund 285° C:

Nagelbohrer	Holzmeißel
Nuteisen für Gußeisen	Nuteisen für Schweißeisen
Sägen für Horn und Elfenbein	Rundsägen für Metall
Nadeln	Schraubenzieher
Stechbeitel	Federn
Handsägen	Holzsägen.

Es sind zwei Verfahren des Ölbadanlassens im Gebrauch. Nach dem ersteren wird das Werkzeug in das auf etwa 120° C erhitzte Ölbad eingetaucht und dann letzteres auf die gewünschte Temperatur gebracht. Ist diese erreicht, dann wird das Werkzeug aus dem Ölbade herausgenommen und je nach der gewünschten Anlauffarbe schneller oder langsamer abgekühlt. Das zweite Verfahren besteht darin, daß das Werkzeug in das bereits auf die gewünschte Temperatur erhitzte Ölbad gebracht, einige Zeit zum Temperaturausgleich darin belassen und alsdann abgekühlt wird. Die nach dem ersten Verfahren behandelten Werkzeuge sind von besserer Beschaffenheit, während das zweite Verfahren den Vorzug der Einfachheit besitzt.

Es wurde bereits auf S. 46 angeführt, daß das Erwärmen von gehärteten Stahlgegenständen auf 100—150° C ihre Härte nicht oder nur unmerklich beeinflußt. Werden Schneidwerkzeuge bei zu hoher Temperatur angelassen, so nimmt ihre Härte ab, womit natürlich eine Verminderung ihrer Schnittfähigkeit verbunden ist. Aus der folgenden Übersicht ist ersichtlich, daß mit steigender Temperatur ein gehärteter Stahl seine Härte allmählich verliert[1]).

Werkzeugstahl mit 1,1 v. H. Kohlenstoff	Brinellsche Härtezahl
Ausgeglüht	200
Auf 760° C erhitzt und in Wasser abgeschreckt	2499
„ 50° C angelassen	2499
„ 100° C „	2490
„ 200° C „	2380
„ 300° C „	1190
„ 400° C „	917
„ 500° C „	770
„ 600° C „	358

[1]) Vgl. auch Heyn, Metallurgie 1909, S. 376.

Diese Zahlen zeigen, daß die Härte (Brinellhärte) bis zu einer Anlaßtemperatur von ungefähr 200° C nicht vermindert wird, daß dagegen der bei 300° C angelassene Stahl nur noch ungefähr 50 v. H. von der Härte besitzt, die er nach dem Abschrecken bei 760° C besaß.

Anlaßversuche unter Betriebsbedingungen sind immer befriedigender als ein feststehendes Verfahren, das einem Buch oder einem Geschäftsverzeichnis entnommen ist. Wenn während des Anlassens der Gegenstand noch gerichtet werden muß, dann muß die angewendete Anlaßtemperatur noch über diejenige erhöht werden, die man sonst für nötig hält, um das Richten ohne Bruchgefahr zu ermöglichen.

Das Verwerfen oder Verziehen (Schmeißen) bei Werkzeugen ist entweder auf einen Mangel an Gleichmäßigkeit des Gefüges oder auf die Art des Erhitzens oder Abkühlens für das Härten zurückzuführen. Ungleichmäßigkeit des Gefüges und die damit verbundenen inneren Spannungen sind gewöhnlich auf unrichtiges Schmieden zurückzuführen, und dieser Fehler ist durch Ausglühen und langsames Abkühlen zu beseitigen. Ein durch ungleichmäßiges Erhitzen oder Abkühlen hervorgerufenes Verziehen von Werkzeugen ist nicht immer zu vermeiden.

Bei Werkzeugen von ungleicher Stärke aber gleichmäßigem Querschnitt kann das Verziehen fast gänzlich dadurch beseitigt werden, daß man das betreffende Werkzeug so biegt, daß es durch das Abschrecken wieder gerade gerichtet wird. Die Wärmebehandlung einer langen Säbelklinge kann hierfür als Beispiel angeführt werden. Die Klinge, welche schon ausgeglüht worden ist, um Spannungen, die vom Schmieden oder Walzen herrühren, zu beseitigen, wird in einem Salzbade oder auf dem Herde eines langen Ofens bis zur Rotglut erhitzt. Die Klinge wird dann einem Metalltisch zugeführt, der mit einem Schlitz versehen ist, in den die Spitze der Klinge hineingelegt wird, um darauf an dem anderen Ende festgeklemmt zu werden. Gegen eine besonders gebogene Schablone wird dann die Klinge nach der Rückenkante um so viel gebogen, als erfahrungsgemäß eine solche Klinge aus ihrer geraden Richtung bei einer bestimmten Art des Abschreckens nach der entgegengesetzten Richtung hin sich ausbiegt. Diese vorgebogene Klinge wird dann beim Abschrecken vollkommen gerade.

Um gute Anlaßergebnisse zu erzielen, empfiehlt es sich, das Abschrecken so einfach wie möglich durchzuführen. Alle halb-

runden Feilen werden vor dem Härten konkav gesetzt, beim Härten richten sie sich dann von selbst gerade. Nötigenfalls werden sie, bevor sie ganz kalt sind, noch unbedeutend weiter gerichtet. Zu diesem Zwecke sind ein paar Eisenstäbe in einem geeigneten Abstande im oberen Teile des Härtebottichs besonders befestigt. Die Feile wird in der verlangten Richtung zwischen ihnen eingespannt. Dann wird Wasser auf die obere Seite der Feile gespritzt, um sie ganz abzukühlen, worauf sie aus der Einspannvorrichtung herausgenommen wird.

Stahlbleche, z. B. Sägeblätter, werden am besten in einer Presse gehärtet (Abb. 90), wodurch ein Verziehen der Bleche vermieden wird. Falls es nötig erscheint, kann ein gelindes Ausrichten mit dem Hammer nachfolgen. Lange dünne Gegenstände müssen bei der Abschreckung senkrecht in das Härtebad geführt werden, hierdurch wird allein schon ein Krummwerden weniger in die Erscheinung treten.

Nach dem Abschrecken kann der größte Teil einer entstandenen Krümmung dadurch beseitigt werden, daß das Werkstück zwischen die polierten Preßkörper einer Presse hindurchgezogen wird, die bis auf die gewünschte Anlaßtemperatur erhitzt wurden. Das endgültige Geraderichten wird dann mit einem an der Schlagfläche zylinderförmig abgerundeten Hammer vorgenommen. Hierbei ist eine große Geschicklichkeit erforderlich, da sonst der Schlag, anstatt gerade zu richten, den Stahl noch krummer macht. Jeder Schlag soll die gewölbte Fläche ebnen, und dies geschieht am besten, indem der Hammer während der Arbeit gedreht wird. Gegenstände, die nicht gestreckt werden dürfen, können auch nicht durch Hammerschläge gerade gerichtet werden. Daher werden Sägen oder Messer, die sehr hart gemacht werden müssen, beim Bearbeiten mit dem Hammer leicht rissig, weil die Beschaffenheit des Materials die verlangte Streckung nicht zuläßt. Kleine Haarrisse auf der Oberfläche von Metallsägen, die nur beim Schleifen oder erst später sichtbar werden, können häufig von dem Eindruck des Hammers herrühren. Verbogene Werkzeuge, z. B. Bohrer und Reibahlen, werden, nachdem sie gewöhnlich auf einem sog. Blaubrenner angewärmt worden sind, unter einer Spindelpresse gerade gemacht. Lange, dünne Stahlstreifen, z. B. Schwertklingen, werden in eine Vertiefung gelegt und mit Hilfe einer Klaue gerade gerichtet. Ein paar Klauen können ebenfalls verwendet werden, um ein Stahlblatt auszurichten, indem jedes Ende des Stahlblattes

in entgegengesetzter Richtung gedreht wird, nachdem das Blatt vorher bis zur verlangten Anlaßhitze erwärmt worden war. Auch kann ein Ende des Blattes zwischen die Backen eines Schraubstocks gespannt und das andere dann mit Hilfe einer Klaue gedreht werden. Wenn auch das Verziehen bei einem Werkzeuge auf mechanischem Wege beseitigt werden kann, so ist doch zu empfehlen, ein erstmaliges Verziehen überhaupt zu verhindern, da ein verzogener und dann gerade gerichteter Gegenstand

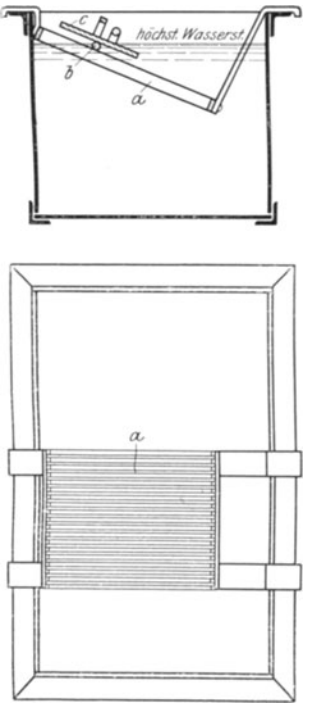


Abb. 101. Vorrichtung zum Härten von Spiralbohrern.

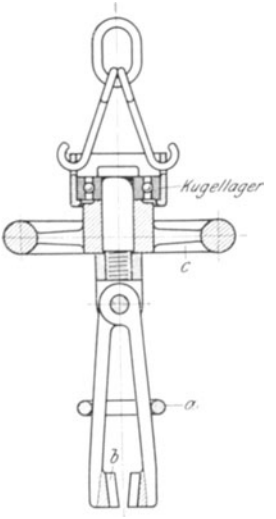


Abb. 102. Vorrichtung zum Härten von Stehbolzengewindebohrern.

bei angestrengtem Gebrauche sehr leicht seine richtige Form wieder aufgibt.

Um ein Verziehen von Spiralbohrern und Reibahlen zu vermeiden, bedient man sich zweckmäßig der in Abb. 101 dargestellten Vorrichtung [1]). Diese besteht aus einem schräg im Härtebottich angebrachten Rost *a*, auf welchen die erhitzten Bohrer gelegt und mittels einer Holzplatte *b* schnell hin- und

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 289.

hergerollt werden. Lange Gegenstände, wie z. B. Stehbolzengewindebohrer, dürfen in rotwarmem Zustande zum Zwecke der Abkühlung nicht in eine wagerechte Lage gebracht werden, da sie sich sonst durchbiegen. Zum Härten dieser Werkzeuge wendet man daher die in Abb. 102 dargestellte Vorrichtung an. Dieselbe wird über dem Härtebottich aufgehängt und das Werkzeug in die Zange *b* durch Verschieben des Ringes *a* festgeklemmt. Alsdann wird das Werkzeug durch kräftiges Arbeiten am Handrade gedreht und in die Härteflüssigkeit getaucht. Die Drehung des Werkzeuges im Kühlmittel muß stets in der Schneidenrichtung erfolgen.

Die auch heute noch vielfach angebotenen „Geheimmittel", die ein Verziehen und Reißen gehärteter Gegenstände verhindern sollen, müssen ohne Ausnahme zurückgewiesen werden, da es gegen das Verziehen und Reißen kein Allheilmittel gibt.

Beim Anlassen von gehärtetem Werkzeugstahl beobachtet man auch Gefügeveränderungen, die allerdings nicht so erhebliche Bedeutung für die Brauchbarkeit des betreffenden Werkzeuges besitzen, als diejenigen Gefügeveränderungen, durch die die Härte des Stahls bedingt werden. Bei Anlaßtemperaturen bis ungefähr 400° C wandelt sich der beim Abschrecken erhaltene Martensit um, es erscheint als Gefügebestandteil der sog. Troostit. Abb. 103 stellt das Gefüge eines Werkzeugstahls mit 1 v. H. Kohlenstoff dar, der in Wasser abgeschreckt und auf ungefähr 100° C angelassen wurde. Der anfänglich vorhandene nadelförmige, helle Martensit ist nicht mehr so scharf begrenzt, er geht in den dunkleren Troostit über. Abb. 104 und 105 geben das Kleingefüge eines Feilenstahls mit etwa 1,28 v. H. Kohlenstoff wieder. Die dunklen Flecken sind Troostit, der in einer martensitischen Grundmasse liegt. Außerdem sieht man noch helle Inselchen, die Zementit darstellen. Das Auftreten des Troostits ist wahrscheinlich in diesem Falle nicht auf ein Anlassen, sondern auf eine Verzögerung beim Abschrecken in der Härteflüssigkeit zurückzuführen.

Um 400° C herum geht der Troostit in Osmondit über, der allerdings nur von einem geübten Auge unter dem Mikroskop erkannt werden kann. Bei höheren Anlaßtemperaturen und zwar bis in die Nähe des kritischen Punktes, also bis gegen 650° C, erscheint ein anderer Gefügebestandteil, der Sorbit, der ebenfalls unter dem Mikroskop nur sehr schwer festzustellen ist. Meist findet man in den auf Lager gehaltenen Stahlstangen, die an

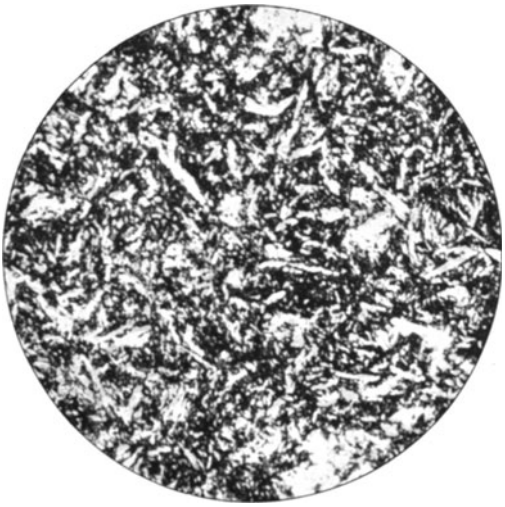


Abb. 103. Gehärteter Werkzeugstahl mit 1 v. H. Kohlenstoff auf 100° C angelassen. Troostit.
V = 400.

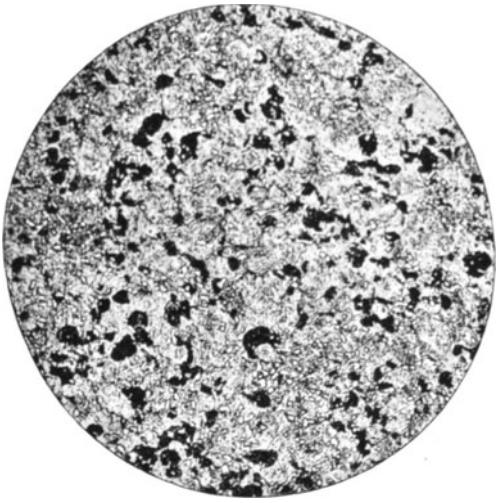


Abb. 104. Gefüge einer Feile mit 1,28 v. H. Kohlenstoff. Troostit (dunkel) in einer martensitischen Grundmasse. Die hellen Körner sind Zementit.
V = 200.

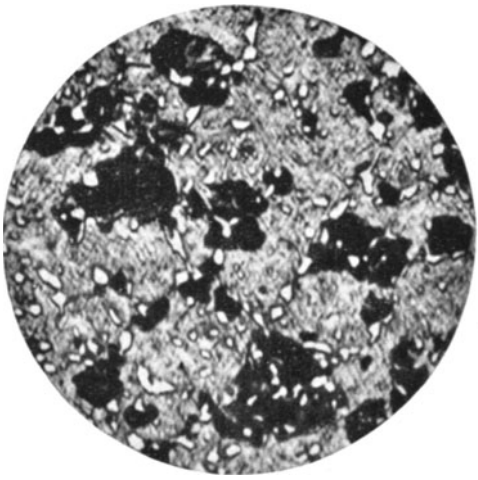


Abb. 105 Wie Abb. 104.
V = 600.

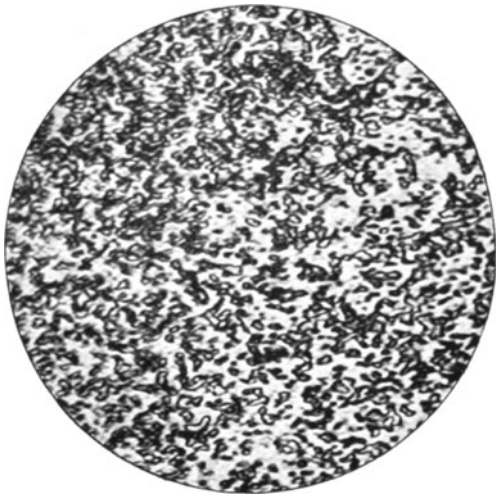


Abb. 106. Gehärteter Werkzeugstahl auf 670° C angelassen. Körniger Perlit.
V = 600.

der Luft schnell abkühlten, statt des Perlits Sorbit oder nur geringe perlitische Anteile, den der Härter schon unter dem Mikroskop, wenn er einen Schliff geätzt hat, an der andersgearteten Färbung gegenüber dem Perlit feststellen kann. Beim Anlassen des gehärteten Stahls bis in die Nähe des kritischen Punktes (etwa 700° C) beginnt der Sorbit wieder sein ursprüngliches Gefüge anzunehmen, das bei einem Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff nur aus Perlit besteht. Dieser durch hohes Anlassen hervorgerufene Perlit unterscheidet sich von dem früher beschriebenen lamellaren Perlit (Abb. 4 und 18) dadurch, daß er ein körniges Aussehen besitzt, und er wird daher körniger Perlit genannt (Abb. 106; vgl. hiermit Abb. 152). So lehrreich auch die Kenntnis dieser durch die verschiedenen Anlaßtemperaturen hervorgerufenen Gefügeveränderungen im Stahl ist, so haben letztere doch für den praktischen Härter keine grundlegende Bedeutung, so daß sich die genaue Entstehung und Beschreibung dieser Gefügebestandteile an dieser Stelle erübrigt. Bemerkenswert bei diesen Übergangsstufen ist jedoch der Grad der Dunkelfärbung nach Ätzung mit alkoholischer Salzsäure (1 : 100) bei gleicher Zeitdauer, wie Abb. 107 deutlich veranschaulicht. Es handelt sich hier um Stahlproben mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff, die bei 900° C schroff abgeschreckt und bei steigenden Temperaturen angelassen wurden. Der Martensit hat fast gar keine Färbung angenommen. Mit steigender Anlaßhitze nimmt die Dunkelfärbung stetig

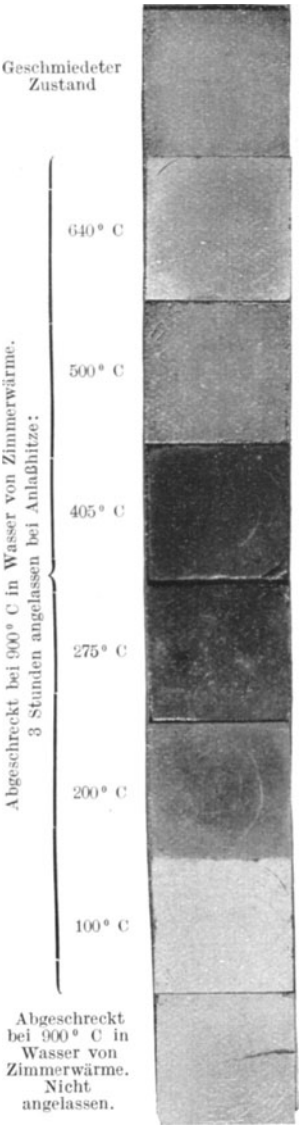


Abb. 107.
Mit alkoholischer Salzsäure geätzte Stahlscheiben.

zu, die bei etwa 400° C (Osmondit) ihren Höchstwert erreicht. Dann fällt die Färbung bis zum Perlit wieder ab[1]).

Mit der Dunkelfärbung geht aber auch die sog. Säurelöslichkeit in verdünnter Schwefelsäure (1 : 100) einher. Die bei 400° C angelassenen Stahlproben haben hinsichtlich ihrer Löslichkeit einen scharf ausgeprägten Höchstwert, aber sowohl mit zunehmender als auch mit abnehmender Anlaßtemperatur nimmt die Löslichkeit schnell ab, eine Tatsache, die unter gewissen Voraussetzungen zu einer Beurteilung eines gehärteten und angelassenen Stahls herangezogen werden kann.

---

[1]) Heyn und Bauer, Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt 1906, Heft 1 und Stahl und Eisen 1906, S. 778, 915 und 991.

VIII. Das Härten gebräuchlicher Werkzeuge.

Beim Härten (und Anlassen) von Gegenständen, wie Hand- und Schrotmeißeln, ist es nicht nötig, das ganze Werkzeug zu erhitzen, sondern nur 20—30 mm des zugeschärften Endes. Ein zu geringer Teil der Schneide darf nicht erhitzt werden, da sonst der hinter dem gehärteten liegende Teil sich unter schweren Schlägen biegen und die Ursache zum Abbrechen für die Schneide abgeben kann, die der Richtungsablenkung nicht zu folgen vermag. Wenn eine große Zahl Meißel zu härten ist, so ist ein gewöhnlicher Flammofenherd, bei welchem die Feuergase von der Feuerungsstelle nach der an der entgegengesetzten Ofenseite befindlichen Arbeitstür ziehen und dann in die Esse gelangen, besonders geeignet. Die Werkzeuge werden am besten in einem kurzen eisernen Rohre von 150—200 mm Durchmesser, das an beiden Enden offen ist, verpackt und dann allmählich bis zu derjenigen Stelle des Herdes vorgerückt, an welcher die Temperatur zwischen 770 und 800° C beträgt (Abb. 108), oder sie können in Reihen auf ein Stück einzölliges Eisen aufgebaut werden. Wenn die Schneiden gegen das Feuer gerichtet sind, so werden diese allein auf die verlangte Härtungstemperatur erhitzt. Auf diese Weise kann mit geringen Kosten der ganze Satz Werkzeuge zum Abschrecken vorbereitet werden, eine Arbeit, die schneller erledigt wird, als wenn man die Werkzeuge einzeln von dem Ofen zum Härtebottich befördert.

Auch ein Salz- oder Bleibadofen kann bequem zum Härten von Meißeln benutzt werden. Der letztere ist besonders zum Härten von Mühlpicken geeignet, da die eine Schneide derselben beliebig erhitzt werden kann, ohne daß hierdurch die Temperatur der anderen Schneide merklich geändert wird. Das Anlassen geschieht bei Schrotmeißeln dadurch, daß die Schäfte quer zur Breite eines langen schmalen Ofens gelegt werden, wo sie gleichmäßig angewärmt werden, bis die dunkelblaue oder

irgendeine andere gewünschte Anlauffarbe an der blank geriebenen Schneide erscheint. Handmeißel zum Abschneiden sehr weicher Materialien werden zuweilen aus Stahl gefertigt, der ungefähr 0,4 v. H. Kohlenstoff enthält, in welchem Falle sie zwischen 800—820° C gehärtet werden müssen, ohne daß ein Anlassen nötig ist.

Schellhämmer (Döpper) werden gewöhnlich maschinell unmittelbar aus der Stange geschnitten. Wenn die gebrochene Stahlstange anstatt des üblichen feinen Bruches einen grobkörnigen Bruch besitzt, so ist der Stahl für erstklassige Schellhämmer

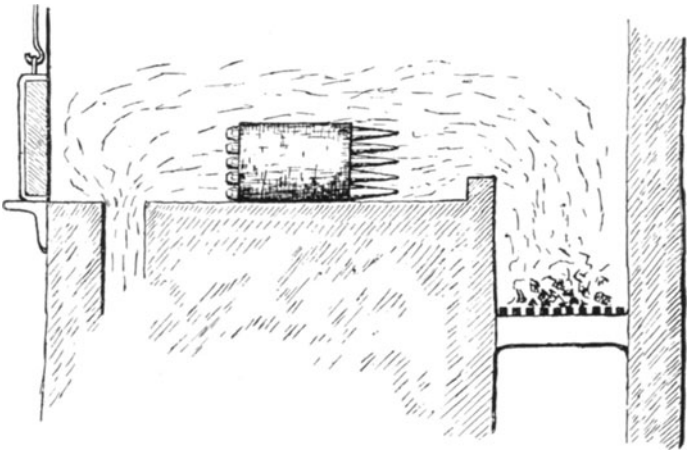


Abb. 108. Flammofen für Härtezwecke.

ungeeignet, und ein aus diesem Stahl gefertigter Schellhammer wird sicher in der Kerbe brechen, selbst wenn der hohle Kopf gut standhält. Das Ziel muß daher sein, eine gehärtete Schicht unmittelbar hinter der Kopfschicht zu bilden. Unmittelbares Abschrecken würde die Kante der Vertiefung zu hart machen und die Mitte derselben zu weich lassen. Daher werden die Kanten eines so gehärteten Schellhammers beim Gebrauche abspringen. Man pflegt, um dies zu vermeiden, die Schellhämmer unter einem durch einen Hahn regelbaren Wasserstrahl zu härten, wie in Abb. 109 A gezeigt ist. Ein ebenfalls bequemes Härteverfahren ist in Abb. 109 B angedeutet.

Die Schellhämmer können wie Schrotmeißel in einem Bündel erhitzt und ebenso wie diese angelassen werden. Noch besser

ist es, wenn man sie mit dem Schaftende zuerst durch den durchlochten Deckel eines flachen Bleibades steckt, bis die richtige

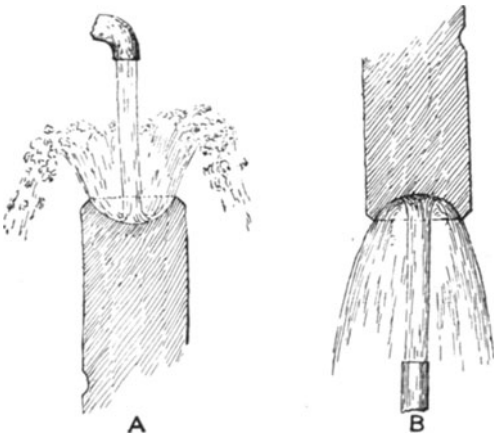


Abb. 109. Verfahren zum Härten von Schellhämmern.

Anlauffarbe erscheint. Wenn große Mengen Schellhämmer zu härten sind, bringt man über dem Wasserstrahl eine Klammerfeder an, zwischen deren Backen der heiße Schellhammer eingeschoben und so in der richtigen Lage über dem aufsteigenden Wasserstrahl festgehalten wird. Der Hammer kann nach dem Härten aus der Klammer leicht herausgenommen und durch den nächsten ersetzt werden. Die Lebensdauer von gut gehärteten Schellhämmern, Schrotmeißeln u. dgl. wird ebensooft durch Abnutzung am Kopfe als auch durch Brüche an der Schneide verkürzt. Die Abnutzung ist sehr stark, wenn die Werkzeuge aus unausgeglühtem Rohstahl hergestellt sind. Unter anderem kann dies durch Härten der Köpfe, etwa in Öl, bevor die Schneidkante gehärtet wird, vermieden

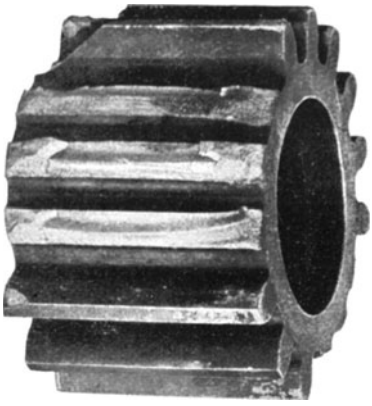


Abb. 110. Zahnrad mit abgebrochenen Zähnen. $^1/_2$ nat. Größe.

werden. Beim Abschrecken in Öl bleibt zwar das Volumen des Werkzeuges dasselbe, als wenn eine Vorhärtung nicht stattgefunden hätte, aber die Köpfe erhalten durch diese Vorhärtung eine viel größere Zähigkeit als ohne eine solche, daher splittern sie weder ab noch bilden sie so leicht einen Pilzkopf.

Das Härten von Gewindebohrern und ähnlichen Werkzeugen wie Reibahlen, Fräsdornen und Spiralbohrern muß so geschehen, daß sie sowohl eine harte Schneidkante als auch einen verhältnismäßig weichen, biegsamen Kern erhalten, so daß jähe Stöße nicht den Anlaß dazu geben, daß sie kurz abbrechen. Diesem Ziele lann man sich auf zwei Wegen nähern. Erstens durch Anwendung eines guten Tiegelstahls, der frei von nichtmetallischen Verunreinigungen und arm an Mangan ist, und der nach seiner Beschaffenheit den Härtungswirkung kaum bis über

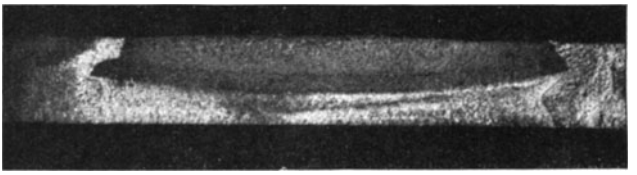


Abb. 111. Bruchfläche eines abgebrochenen Zahnes eines Zahnrades (zu Abb. 110). Nat. Größe.

das Ende der Schneidzähne vordringen läßt, und zweitens durch die Art des Abschreckens, die wegen ihrer allgemeinen Anwendbarkeit eine eingehende Beschreibung verdient.

Das Härten irgendeines gezähnten Werkzeuges muß so geschehen, daß die Härtung eben bis zum Fuße der Zähne dringt, wodurch nicht nur die Lebensdauer des Werkzeuges verlängert, sondern auch die Gefahr von Härtespannungen auf ein Mindestmaß beschränkt wird. Das Verfahren, das als unterbrochene Härtung bekannt ist, besteht darin, daß das Werkzeug in Wasser abgeschreckt wird, bis die Röte von der Oberfläche verschwunden ist. Man bringt es dann in ein Ölbad, bis es kalt geworden ist. Die Wärme, die vor dem Einbringen in das Öl noch im Innern des Werkzeuges zurückgeblieben war, hält es weich, und diese zurückgebliebene Wärme dringt, während das Stück im Ölbad verweilt, allmählich bis zu den Kanten der Zähne vor, kann sie aber höchstens nur bis zur Wärme des umgebenden Öles

anlassen. Auf diese Weise können Werkzeuge tadellos gehärtet werden, die sonst beim unmittelbaren Abschrecken reißen würden. Bei fortlaufender Herstellung derselben Art Werkzeuge lernt der Härter schnell und richtig, wie lange sie am besten in Wasser zu kühlen sind, so daß nach dem Ölbade ein weiteres Anlassen nicht erforderlich wird.

In ähnlicher Weise verläuft auch die abgestufte Härtung, die ein Härten und Anlassen auf etwa 300—400° C im Ölbade bezweckt. Das Abschrecken wird im Bleibade vorgenommen, worauf das gänzliche Abkühlen in kaltem Öl folgt.

Ein ähnliches Ergebnis kann beim Härten von Reibahlen, Gewindebohrern usw. dadurch erzielt werden, daß man die Werkzeuge in einem Blei- oder Salzbade erhitzt, bis die Zähne rot sind, worauf die Werkzeuge dann abgeschreckt werden. Indessen ist dieses Verfahren nicht so zuverlässig wie die unterbrochene Härtung. Es ist verhältnismäßig leicht, das Verziehen bei Werkzeugen zu vermeiden, bei denen der Kern weich gelassen wurde.

Für Räumahlen wählt man zweckmäßig einen weichen Stahl mit 0,2—0,25 v. H. Kohlenstoff, die bei etwa 950° C im Einsatz gekohlt und alsdann zunächst in Wasser abgeschreckt und schließlich in Öl vollständig abgekühlt werden. Hierauf läßt man sie in einem Ölbade bei etwa 180° C an, also bei einer niedrigeren Temperatur, wie beim Anlassen von Werkzeugstahl üblich ist. Seltener wird auch für Räumnadeln Schnellstahl gewählt, in manchen Fällen sogar mit Vorteil Vanadinstahl, der einen zäheren Kern nach dem Härten hinterläßt. Beim Härten verziehen sich aber die Räumnadeln sehr leicht, das deshalb sehr vorsichtig und mit Überlegung vorgenommen werden muß. Räumnadeln aus Schnellstahl oder Venadinstahl werden am besten in einer beiderseits luftdicht verschlossenen mit Holzkohlenpulver ausgeschütteten Röhre erhitzt. Verzogene Räumnadeln werden während des Anlassens unter einer Dornpresse oder durch kurze Schläge mit der Finne eines Handhammers ausgerichtet.

Fräser müssen ebenfalls zuerst in Wasser, bis die Zähne ihre Röte verlieren, und dann in Öl abgeschreckt werden. Scharfe Kanten bei Keilnuten von im Einsatz zu härtenden Zahnrädern sowie bei Fräsern, müssen aus den auf S. 114 dargelegten Gründen vermieden werden. Wenn Zähne an gehärteten Zahnrädern ganz abbrechen, so tun sie es gewöhnlich längs bogen-

förmiger Risse, und zwar, weil sie überhitzt worden sind oder weil sie schlecht abgeschreckt wurden oder aus beiden Gründen (Abb. 112).

Das Härten von Walzen geschieht am besten folgendermaßen [1]):



Abb. 112. Bogenförmig abgebrochene Zähne eines gehärteten Zahnrades. $^2/_3$ nat. Größe.

„Die Gefahr des Reißens von innen wird durch Durchbohrung der Walze schon bei ihrer Herstellung herabgemindert. An der Walze wird die ganze Oberfläche $a-a$, $b-b$ (Abb. 113) hart gewünscht, die Zapfen $z-z$ sollen möglichst weich und zähe bleiben.

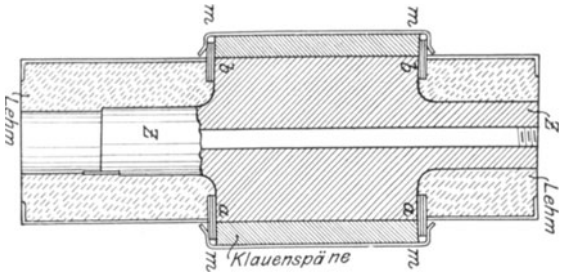


Abb. 113. Härten einer Walze.

Vor der Erwärmung gibt man den Zapfen $z-z$ eine Umhüllung von Lehm oder Ton, welchem man zur besseren Bindung Kuhhaare und, um ein Abspringen infolge der Schwindung beim Erwärmen hintanzuhalten, Schamotte, Graphit, Ziegelmehl aus feuerfesten Ziegeln usw. beimengt. Man stampft diese Mischung zwischen den Zapfen und einem darüber geschobenen Blechrohr

[1]) Thallner, a. a. O. S. 158.

von größtem Durchmesser der Walze fest. Bei $m-m$ ordnet man auf die Zapfen Blechscheiben, welche über den Rand der Walze hervorragen, an. Nun wird noch die Durchbohrung, welche an den Enden Schraubengewinde enthält, bis zu diesen durch trockenen Lehm verstampft.

Bei der Erwärmung der Walze, welche oft den Zeitraum von einigen Stunden beansprucht, ist zu beachten, daß die Oberfläche in dieser Zeit ebensowohl der schädlichen Einwirkung der Verbrennungsgase, als der Entkohlung ausgesetzt ist, wenn man nicht für zweckmäßigen Schutz sorgt. Hierzu wird die Walze in ein Blechrohr von etwas größerem Durchmesser geschoben, der Zwischenraum mit Klauenspänen oder mit Ruß verstampft, worauf die Ränder des Rohres umgebogen werden.

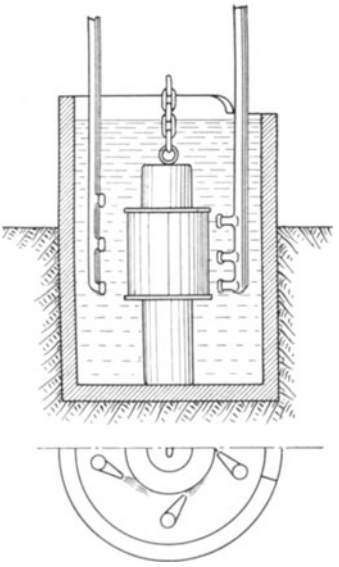


Abb. 114. Härten einer Walze.

Nun kann die Walze in den am wenigsten erhitzten Teil eines genügend breiten Flammofens gebracht und der langsamen Erwärmung überlassen werden. Man zieht zur Erwärmung einen Flammofen vor, weil andere Einrichtungen, z. B. bei Erwärmung durch Holzkohle u. dgl., schwer zu treffen sind, wenn die Walze zur Erzielung gleichmäßiger Temperatur gewendet und gedreht werden soll. Der verwendete Flammofen soll einen möglichst langen Herd haben, um eine gegen die Feuerungsstelle zu allmählich gesteigerte Hitze herbeizuführen.

Die Walze wird nach und nach der höheren Hitze entgegengerollt und um so öfter gewendet, je wärmer sie wird. Ist anzunehmen, daß dieselbe die geeignete Härtungstemperatur erreicht hat, so wird ein Haken in das am Ende des Zapfens hergestellte Gewinde geschraubt, die Walze daran mittels Kette aufgehängt, vom leicht zu entfernenden äußeren Blechmantel befreit und mittels Drahtbürste von anhaftenden Klauen rasch gereinigt. Nun wird die Walze in das nahe dem Ofen befindliche Härtebad getaucht.

Da es nicht möglich ist, eine Walze von großem Durchmesser durch Bewegung im Wasser gleichmäßig abzukühlen, so bewegt man das Wasser, während die Walze in ihrer Ruhelage verbleibt.

Den Zweck erreicht man durch eine Anordnung, die in Abb. 114 dargestellt ist. Man wählt hierzu ein Gefäß von genügender Tiefe und 2—4fachem Durchmesser der Walze, in welches man Rohrleitungen führt, durch die Druckwasser in schräger Richtung ausströmt.

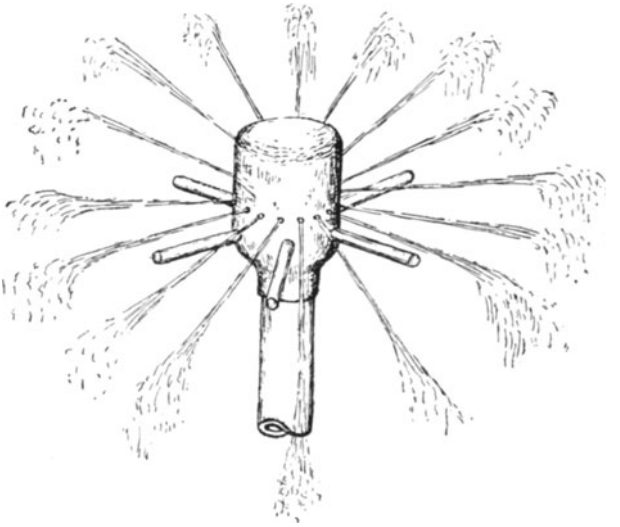


Abb. 115. Vorrichtung zum Innen-Härten von ringförmigen Stahlkörpern.

Die Öffnungen der Rohre macht man breit und schlitzförmig und ordnet viele solcher in verschiedener Höhe verteilt an, so daß das Wasser um die Walze herum in stark wirbelnde Bewegung versetzt wird. Die Art der Anwendung ist aus Abb. 114 ersichtlich."

Handelt es sich um das Härten von Werkzeugen, die eine enge Bohrung besitzen, so muß diese Bohrung dadurch gehärtet werden, daß man gegen sie ein mit einem Flansch versehenes Wasserleitungsrohr drückt, und zwischen Flansch und Werkstück einen Asbestring zum Zwecke der Dichtung und Erzielung des Wasserabschlusses zwischenlegt. Ist dagegen die Bohrung des zu härtenden Werkzeuges weit, dann kann ein Stück Gasrohr, das

an dem geschlossenen Ende durchlöchert ist, durch das Werkzeug gesteckt werden, so daß kräftige Wasserstrahlen, die durch die Löcher des Rohres spritzen, die Teile treffen, die zu härten sind. Gegenstände, wie z. B. der Laufring eines Kugellagers, können auch mit einem Sprühregen gehärtet werden, wie dies in Abb. 115 dargestellt ist. Da Kugellager jetzt häufig aus im Einsatz zu härtendem weichem Stahl hergestellt werden, so werden sie gewöhnlich unmittelbar nach dem Einsetzen abgeschreckt, und zwar so, daß sie entweder senkrecht an einem Haken oder wagerecht an einem Stück Draht, von dem das eine Ende spiralförmig und senkrecht zur Länge des Drahtes umgebogen ist, aufgehängt werden.

Messerklingen werden häufig in einem schwachen Koks- oder Holzkohlenfeuer erhitzt, jedoch ist ein flaches Salzbad, in das ein Drahtkorb eingehängt ist, eine zweckmäßigere Einrichtung. Die erhitzten Klingen werden in der Weise abgeschreckt, daß sie zuerst mit dem Rücken fast wagerecht durch das Wasser gezogen werden. Rasiermesser werden zuweilen nicht angelassen. Tischmesser können in losen Haufen in einem Ölbade und Federmesser dadurch angelassen werden, daß man ihre Rücken in geschmolzenes Blei oder auf eine heiße Platte legt oder die Rücken, wenn es sich nur um eine kleine Anzahl von Messern handelt, in die Flamme einer Spirituslampe hält, bis die gewünschte Anlauffarbe bis zur Schneide vorgedrungen ist.

Lange Streifen aus dünnem Stahl werden zum Härten in der Weise erhitzt, daß sie mit geeigneter Geschwindigkeit durch ein Rohr geführt werden, das sich zwischen den gegenüberliegenden Wänden eines Härteofens erstreckt. Sobald der Streifen das Austrittsende des Rohres erreicht hat, muß er die Härtungstemperatur erlangt haben. Dann läuft er durch ein Ölbad und darauf durch einen Anlaßofen oder Bleitopf, zuweilen auch zuerst durch ein Paar blanke Walzen und darauf durch den Anlaßofen. In diesem erhält der Streifen die ausgeprägte blaue Anlauffarbe. Dieses Verfahren wird in ähnlicher Weise auch für Stahldraht angewendet. Wenn der Draht reich an Mangan und nicht zu dick ist, erhält er schon beim Durchgang aus dem Härteofen durch die Luft bis zur Wickelmaschine eine hohe Zugfestigkeit, dagegen werden die übrigen mechanischen Eigenschaften des Drahtes, z. B. Elastizitätsgrenze, Querschnittsverminderung usw. ungünstiger sein wie bei Draht, der in Öl gehärtet und angelassen ist.

Kleine Handhämmer werden ganz erhitzt und dann mit einer raschen Schwenkung durch den Härtetrog gezogen. Sie werden dann, während sie noch ganz rot sind, im Stielloch an einem Pflock aufgehängt, und zwar so, daß sich die Hammerbahn unter der Wasseroberfläche und die Finne unter einem aus einem Leitungshahn herabfallenden Wasserstrahl befindet. Bei besonderen Formen, z. B. bei Hämmern für Maschinenschlosser, kann die Finne in ein kleines halbkugelförmiges Becken ein-

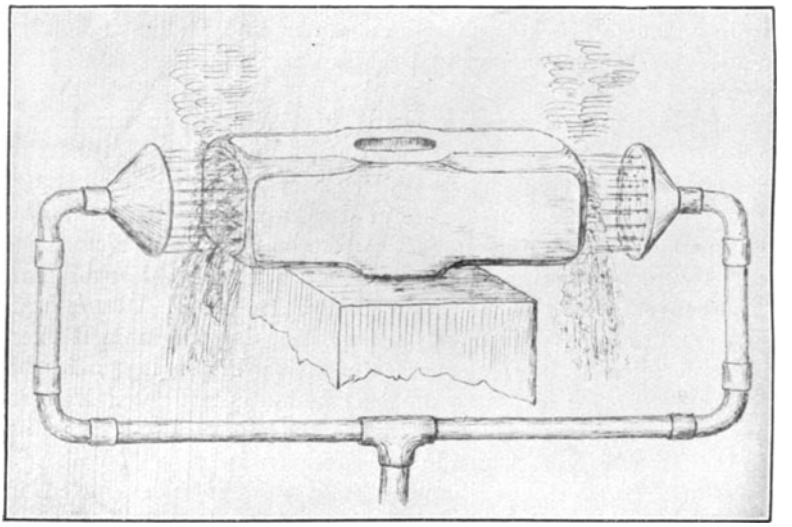


Abb. 116. Härten eines Hammers.

tauchen, durch welches andauernd frisches Wasser läuft, während auf die Hammerbahn ein Wasserstrahl auftrifft, der aus einem unmittelbar darüber befindlichen Wasserzulaufhahn herabfällt. Die beiden Schlagflächen kleiner Hämmer können jede für sich auch dadurch schnell auf die geeignete Härtungstemperatur gebracht werden, daß sie in einem Bleibade erhitzt werden. Größere Hämmer werden in derselben Art behandelt, jedoch ist es praktischer, sie in einem Flammofen etwas vorzuwärmen. Große Hämmer (Schlägel) werden zweckmäßig zwischen zwei wagerecht angebrachten Brausen gehärtet. Der erhitzte Hammer wird mit dem Stielloch nach oben auf einen kleinen Metallklotz gelegt (Abb. 116). Darauf werden gegen die Hammerbahnen gegenüber-

stehende Wasserbrausen in Tätigkeit gesetzt, die die Bahnen des Hammers schnell abkühlen, während die Mitte des Hammers um das Stielloch herum noch heiß bleibt. Das Wasser wird dann abgestellt und die Bahnen des Hammers werden schnell blank gerieben, um die gewünschte Anlauffarbe zu beobachten, die durch die noch im Innern des Hammers vorhandene Wärme hervorgerufen wird, worauf der Hammer ganz abgekühlt wird.

Hämmer, die aus weichem Stahl gefertigt sind, brauchen nicht angelassen zu werden. Die Bahnen eines großen Hammers können auch in einem gewöhnlichen Bottich, der nur mit einem Wasserhahn versehen ist, wie folgt gehärtet werden: Der erhitzte Hammer wird in der Mitte mit einer Zange ergriffen und der Länge nach und wieder zurück durch den Härtebottich geschwenkt. Das eine Ende des Hammers wird dann einige Sekunden lang unter den Wasserhahn gehalten, während das andere in das Wasser des Bottichs eintaucht. Der Hammer wird dann flink gedreht und wieder durch den Bottich gezogen, und darauf, aber diesmal mit dem anderen Ende, unter den Wasserhahn gehalten. Dies wird mehrere Male wiederholt, und zwar je nach der Größe des Hammers drei- bis viermal, bis die Bahnen nahezu kalt sind.

Ambosse, bei denen die Bahn gehärtet werden soll, können in einem Bleibade mit der Bahn nach unten gehärtet werden. Die gehärtete Bahn wird, wenn sie zu dünn ausgefallen ist, reißen und unter den Schlägen eines Hammers ausbröckeln. Schmiedeambosse und ähnliche ebene Gegenstände, die in scharfen Kanten und Ecken endigen, werden am besten unter einer kräftigen Brause gehärtet. Sie werden zu diesem Behufe auf einen Rost oder quer über zwei dreikantige Stahlstücke, ebenfalls mit der ebenen Fläche nach unten, in den Wasserbottich unmittelbar über einer Brause, durch welche kaltes Wasser hochspritzt, gelegt. Der Amboß muß soweit überbraust werden, als er die Härtungstemperatur angenommen hat, da die nicht von dem Wasser getroffenen, aber auf die Härtungstemperatur erhitzten Teile sich zusammenziehen und Veranlassung zum Einreißen der Ecken des Ambosses geben.

Das Härten von gesenkgeschmiedeten Prägestempeln zur Erzeugung flächenreicher Gegenstände verlangt bedeutende Erfahrung und größere Kunstfertigkeit, als aus einer Beschreibung erworben werden kann. In vielen Fällen kann das Verderben dieses Werkstückes infolge scharfer Winkel und Ecken nicht ver-

mieden werden. Mit Ausnahme der einfachsten Formen muß der Prägestempel schon aus dem Wasser gezogen werden, ehe er ganz kalt geworden ist, dann auf der Oberfläche blank gemacht und durch die Hitze angelassen werden, die noch in der dicken, nicht abgekühlten Rückseite zurückgeblieben ist. Erfahrungsgemäß sind gewisse Teile eines verwickelten Prägestempels am meisten geneigt, abzuspringen oder später Risse zu zeigen. Es ist notwendig, diese Teile bis zu einem höheren Grade dadurch anzulassen, daß man auf sie Stücke von heißem Eisen legt. In ähnlicher Weise können gewisse andere Teile des Prägestempels ein schnelles Abkühlen durch örtliche Anwendung einer beschränkten Menge Öl oder Wasser erlangen. Wenn die Prägestempel zum Härten in einem Flamm- oder Muffelofen erhitzt werden, müssen die Arbeitsflächen mit Holzkohle oder einem ähnlichen Stoffe zum Schutze gegen Entkohlung bedeckt werden. Wenn dies versäumt wird, so bleibt die äußerste Schicht der Arbeitsfläche nach dem Härten weich, obgleich der Stempel unmittelbar darunter hart ist.

IX. Fehlerhafte Werkzeuge.

Alle Risse in Werkzeugen werden meist auf Überhitzung oder auf irgendeine andere falsche Anwendung des Härteverfahrens zurückgeführt. Diese gewöhnlich verbreitete Ansicht hat aber durchaus nicht so allgemeine Gültigkeit, wie man in der Praxis

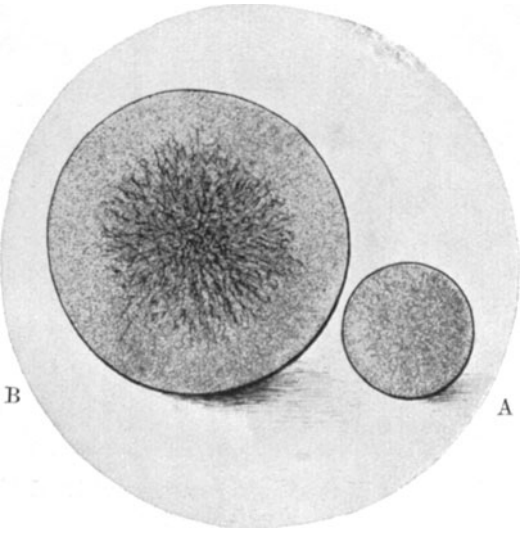


Abb. 117. Gehärteter Stahl mit und ohne Zonenbildung.

anzunehmen geneigt ist. Denn die Ursache zu Rissen muß vielfach der zu großen Masse und der Gestalt des gehärteten Körpers, seiner außergewöhnlichen Form oder der ungeeigneten Zusammensetzung des Rohstahls, aus dem er gefertigt wurde, zugeschrieben werden.

Das verschiedenartige Verhalten eines Stahls mit großen und kleinen Abmessungen während des Härtens zeigt die Abb. 117 A und B. In dieser Abbildung wurde A so schnell abgekühlt, daß das

ausgeprägte feinkörnige und mattglänzende Gefüge des gehärteten Stahls sich durch den ganzen Gegenstand erstreckte. B dagegen enthält einen dunkleren Kern, der ungehärtet geblieben ist. Es ist selbstverständlich, daß ein großes Stahlstück in einem noch höheren Grade einen Kern besitzen wird, der infolge der geringeren Abkühlungsgeschwindigkeit während des Abschreckens im Innern

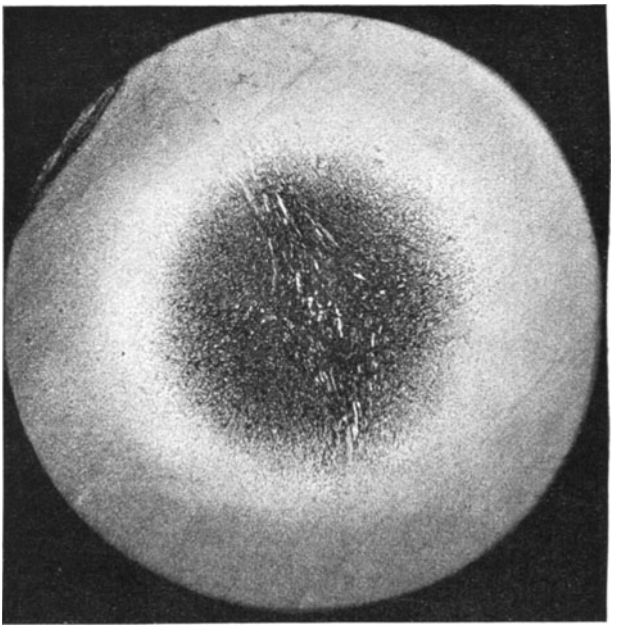


Abb. 118. Gehärteter Werkzeugstahl mit 1,23 v. H. Kohlenstoff. V = 5.

schätzungsweise nicht härter sein wird als ein geschmiedetes und nicht gehärtetes Stück Stahl.

Noch deutlicher läßt sich der dunkle ungehärtete Kern an einem Werkstück unterscheiden, bei welchem der Querschnitt poliert und geätzt wurde (Abb. 118), um das verschiedenartige Gefüge zwischen Rand und Kern besser hervorzuheben. Durch die Ätzung ist es gelungen, die scharfe Trennung zwischen dem gehärteten und ungehärteten Teil deutlich erkennbar zu machen, wie dies auch aus Abb. 119 zu ersehen ist, die zu einem Spiral-

bohrer mit 1 v. H. Kohlenstoff, 0,47 v. H. Mangan und 0,68 v. H. Wolfram gehört. Das Kleingefüge der Außenschicht besteht aus einem sehr feinen martensitischen Gefüge mit eingelagerten Zementitkörnern.

Nach den früheren Betrachtungen kann als sicher angenommen werden, daß die äußere Schicht eines abgeschreckten und einen ungehärteten Kern aufweisenden Stahlstabes eine größere Volumenvermehrung erfahren hat als der Kern. Von der Oberfläche zur Mitte muß die Ausdehnung mit der Härte abnehmen, und zwar um einen ganz wesentlichen Betrag an der Stelle, wo die in den Abb. 117 B und 118 erkenntlichen hellen und dunklen Teile sich berühren, wo also der harte Martensit in den weichen Perlit (oder in irgendeine Übergangsform vom Martensit zum Perlit, etwa Sorbit oder Troostit) übergeht. Die dunklen Teile sind aber fest mit den harten, unnachgiebigen und bleibend ausgedehnten äußeren martensitischen Schichten verbunden, so daß also in dem ungehärteten Kern des Stahls Spannungen auftreten, die so lange vorhanden sind, als der betreffende gehärtete Gegenstand unversehrt ist[1]). Wenn aber die Beanspruchung eines Stahls seine Widerstandsfähigkeit nur an einer einzigen kleinen Stelle überschreitet, so führen die in ihm vorhandenen Spannungen unbedingt zum Bruche oder veranlassen mindestens, daß der Stahl aufreißt.

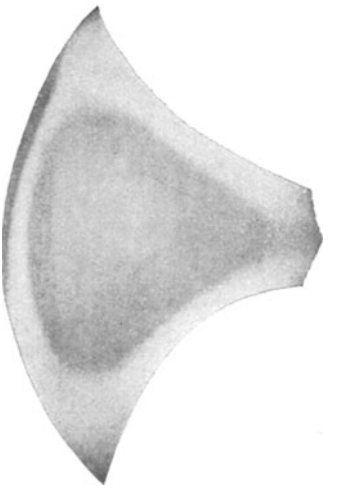


Abb. 119. Hälfte eines gehärteten Spiralbohrers. V = 3.

Als Beispiel hierfür seien die Abb. 120 bis 122 angeführt, die beim Härten unbrauchbar gewordene Kaliberbolzen darstellen. Sie

[1]) Wenn große Gegenstände, z. B. Schiffswellen, bei denen peinlichste Genauigkeit in den Abmessungen verlangt wird, bearbeitet werden, dann wird des öfteren bemerkt, daß sich die Abmessungen nach der Bearbeitung (Drehen, Fräsen usw.) geändert haben, d. h. nach Entfernung der vergrößerten Oberfläche verliert das Innere des Materials seine Spannung und hat daher Gelegenheit, wieder seine ursprüngliche Größe anzunehmen.

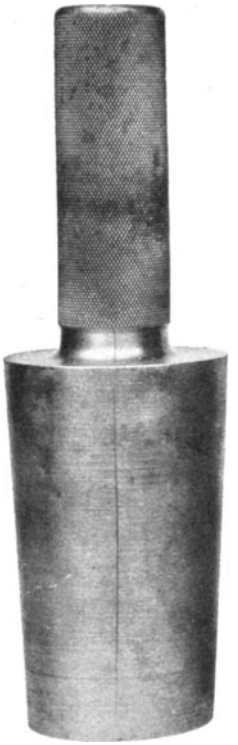


Abb. 120.

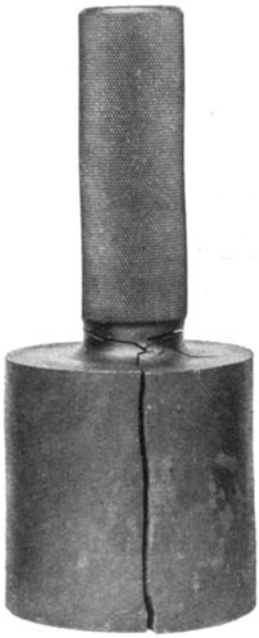


Abb. 121.

Beim Härten gerissene Kaliberbolzen. Etwa $^1/_2$ nat. Größe.

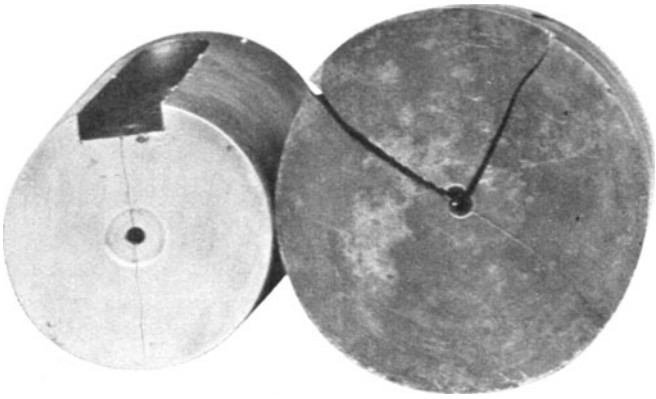


Abb. 122. Wie Abb. 120 und 121. Von unten gesehen.

lassen deutlich einen in Richtung der Längsachse verlaufenden Riß erkennen, der sich durch den ganzen Kaliberbolzen hinzieht, denselben also in zwei Teile spaltet (Abb. 120). Bei dem zweiten Kaliberbolzen (rechts in Abb. 121) ist die eine Hälfte ebenfalls, und zwar fast genau in der Mitte gespalten, außerdem ist noch der Griff abgeplatzt. Die eine Hälfte der Bruchfläche des zweiten Kaliberbolzens ist in Abb. 123 wiedergegeben. Die äußere harte martensitische Schicht ist fast durch eine scharfe Linie von dem weicheren perlitischen, nicht gehärteten Kern getrennt. Da die äußere gehärtete Schicht verhältnismäßig dünn ist, so konnte sie den vom Kern ausgeübten



Abb. 123. Bruchfläche des Kaliberbolzens der Abb. 121. Etwa nat. Größe.

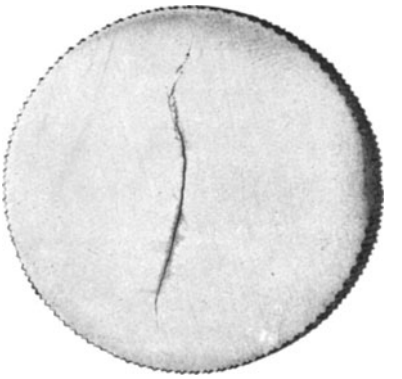


Abb. 124. Der im Kern gerissene Griff des Kaliberbolzens der Abb. 121. Wenig vergrößert.

starken Kontraktionsbestrebungen keinen Widerstand leisten, mußte also nachgeben, wodurch das Zerspringen des Kaliberbolzens herbeigeführt wurde. Daß die dünne äußere Schicht tatsächlich den inneren Spannungen des perlitischen Kerns nicht standhalten konnte, geht auch daraus hervor, daß der Längsriß sich bis in den Griff des Bolzens fortsetzt. Einen Querschnitt dieses Griffes zeigt Abb. 124, aus welcher zu ersehen ist, daß der Riß sich im weicheren Kern befindet, weil hier die martensitische Außenschicht wesentlich stärker ist, so daß sie nicht platzte, dafür aber das Aufreißen des Kernes eintrat.

Daß der Riß in diesem Kaliberbolzen ihn in mehrere Teile trennte, ist auch wohl noch dem Umstande zuzuschreiben, daß der verwendete Stahl mit 1,12 v. H. Kohlenstoff weit über die sonst übliche Härtungstemperatur von höchstens 760° C erhitzt worden war, was daraus hervorging, daß der Martensit ein ziemlich grobkörniges Gefüge besaß. Mithin ist das Platzen des Kaliberbolzens auf überhitzte, also unsachgemäße Härtung zurückzuführen [1]). Auch bei gehärteten Drehstählen, Zahnrädern usw. kann man ähnliche Brucherscheinungen beobachten (Abb. 125 und 126).

Nach den vorhergehenden Ausführungen ist es klar, daß jeder Fehler im Stahl, z. B. eine aufgerissene Mitte, eine unvoll-

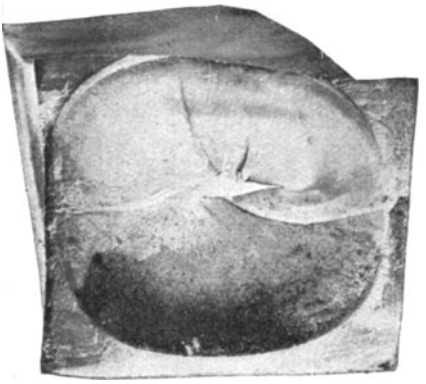


Abb. 125. Bruchfläche eines gehärteten Drehstahls (hinter der Schneide). Nat. Größe.

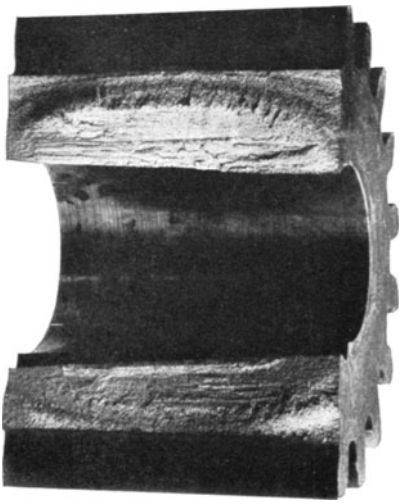


Abb. 126. Bruchfläche eines beim Härten geplatzten Zahnrades. Etwa $^1/_2$ nat. Größe.

kommen geschweißte Gußblase oder fremde Aussonderungen, auch Seigerungen und sonstige Gefügefehler, frühzeitigen Bruch bei einer wesentlich geringeren Beanspruchung als es sonst der Fall wäre, hervorrufen muß. Ganz besonders beobachtet man die Entstehung von Rissen bei Schlackeneinschlüssen (Abb. 56 und 58). Aus

[1]) Um ein Platzen von massigen Gegenständen (Kaliberbolzen usw.) beim Härten möglichst zu vermeiden, werden dieselben zweckmäßig ausgebohrt, oder es muß ein Material gewählt werden, z. B. Chrom-Wolframstahl (auch Nickelstähle), das keine oder nur geringe Änderungen im Volumen beim Härten erleidet.

dieser Betrachtung geht ferner hervor, daß jede mit einer Ausdehnung des äußeren Teiles des Stahlstückes verbundene Änderung, wenn hierdurch die Unnachgiebigkeit dieses äußeren Teiles nicht verringert wird, auch einen so großen Einfluß auf den inneren, ein anderes Gefüge besitzenden Kern ausüben muß, daß seine Festigkeit selbst bei ganz geringer Beanspruchung bereits über-

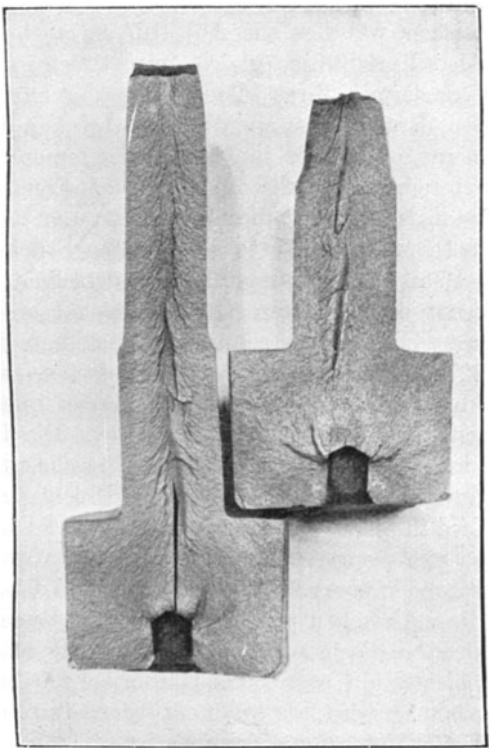


Abb. 127. Durch Härten gerissene Stücke eines Zerreißstabes.

schritten wird, und daß er zerreißen oder in mehrere Teile zerfallen wird. Eine derartige, die Festigkeit des inneren Teiles überschreitende Beanspruchung kann schon darin liegen, daß man das betreffende Stahlstück zu schnell beim Anlassen erhitzt und auf diese Weise den Kern zum Reißen bringt. Daher kann ein Stahlstab, der tadellos gehärtet war, beim Anlassen innere Risse erhalten, wenn er nicht sehr langsam erhitzt wurde. Risse entstehen

ferner in einem Stahlstück, wenn dasselbe unmittelbar von einem größeren zu einem geringeren Querschnitt übergeht und in dieser Form gehärtet und angelassen wird. Schneidet man z. B. von einem Rundstabe von etwa 40 mm Durchmesser längere Stücke ab und gibt diesen Stücken die bekannte Form der Zerreißstäbe, dann zeigen diese Stücke nach dem Härten und Anlassen meist Längsrisse, die in dem dickeren Teile beginnen und sich bis in die dünneren Teile hin fortsetzen, wie dies aus Abb. 127 zu ersehen ist. Wenn dagegen aus derselben Stange gleich lange Stücke abgeschnitten und ohne Veränderung ihres Querschnittes gehärtet und angelassen werden, dann können auch beim Zerbrechen dieser Stücke Risse im Innern gewöhnlich nicht wahrgenommen werden. In beiden Versuchsreihen sind die mechanischen Eigenschaften des gehärteten Materials praktisch dieselben, wenn man den geringeren Querschnitt bei den in der Mitte abgedrehten Stücken nicht berücksichtigt. Würde man Rundstäbe von derselben Stahlstange, die entweder nur den größeren Querschnitt der stärkeren Teile oder nur den geringeren Querschnitt des mittleren dünnen Teils des in Abb. 127 dargestellten Probestabes aufweisen, in genau der gleichen Art härten und anlassen, dann werden innere Risse in diesen Stücken gewöhnlich nicht vorkommen. Die in Abb. 127 dargestellten inneren Risse sind also darauf zurückzuführen, daß Spannungen zwischen der äußeren harten Schicht und dem ungehärteten Kern in einem Werkstück dann sehr leicht auftreten, wenn dasselbe sehr verschiedene Querschnitte aufweist, die unvermittelt ineinander übergehen (s. Abb. 93 und 94).

Die auf diese Ursachen zurückzuführenden Risse treten bei gewissen Stahlsorten, die zu außergewöhnlichen Formen verarbeitet worden sind, leichter auf, wenn das Härten bei mittleren Temperaturen vorgenommen wird, als wenn entweder höhere oder niedere Temperaturen zur Anwendung kommen.

Es ist ferner bekannt, daß beim Herausnehmen aus der Härteflüssigkeit nicht vollständig abgekühlte Stahlgegenstände rissig werden oder zerbrechen, die gesund bleiben, wenn sie in dem Bade gelassen werden, bis sie ganz kalt sind. Die Gründe für dieses Verhalten, besonders bei Gegenständen mit unvermittelt ineinander übergehenden verschiedenen Querschnitten, sind wahrscheinlich die folgenden:

1. Der innere Teil ist beim vorzeitigen Herausnehmen des noch nicht vollständig abgekühlten Werkstückes aus der

Härteflüssigkeit noch so heiß, daß noch nicht seine kritische Ausdehnungszone überschritten ist, so daß auf die äußere unnachgiebige Schicht eine Druckwirkung hervorgerufen wird, die aber nicht eintritt, wenn der Gegenstand bis zur völligen Abkühlung in der Härteflüssigkeit verbleibt.

2. Die gehärtete und daher vergrößerte Außenschicht dehnt sich durch die Wärme des heißen Kerns noch weiter aus und zerreißt den Kern.

Aus dem unter 1. beschriebenen Grunde wird der Riß seinen Ursprung an der Außenseite nehmen und bei dem Grunde unter 2. wird er von innen ausgehen. Wenn beides zusammentrifft, wird das Werkstück wahrscheinlich mit explosionsartiger Gewalt in viele Stücke zerbrechen.

Hierher gehörige Beobachtungen konnten z. B. an großen gehärteten Kaliberbolzen gemacht werden. Diese Kaliberbolzen sprangen zwar nicht während des Härtens, sondern erst nach längerem Gebrauche mit einem Knall auseinander. Das Zerspringen hat sicherlich darin seinen Grund, daß an irgendeiner Stelle des Kaliberbolzens die verhältnismäßig geringe Widerstandsfähigkeit der dünnen äußeren martensitischen Schicht durch Schlag, Stoß oder ähnliche mechanische Einflüsse vermindert wurde und der übergroßen Zugbeanspruchung des perlitischen Kernes nicht mehr standhalten konnte. Zugleich sprang der weiche Kern, weil durch die plötzliche Aufhebung der nach außen gerichteten Zugkraft der martensitischen Außenzone die gespannten inneren Teile über ihre Gleichgewichtslage hinausschnellten und dadurch unbedingt auch ein Zerreißen des weichen Kernes herbeiführen mußten.

Der Unterschied zwischen einem Stabe, der reißt, und einem solchen, der nicht reißt, kann viel geringer sein als die Unterschiede, welche unter einer Anzahl rissefreier Stäbe vorhanden sind. Voneinander nicht unterscheidbare Werkzeuge, die durch ihre innere Spannung schon nahezu bis zu ihrer Festigkeitsgrenze beansprucht sind, können unbeanstandet die Werkstatt verlassen. Am leichtesten können innere Spannungen oder andere innere Fehler bei gehärteten Werkstücken mit vollständig runden Querschnitten vorhanden sein, und zwar aus dem Grunde, weil bei runden Stäben die Spannungen gleichmäßig zur Mitte zusammenlaufen, und ferner, weil (beim Anlassen) die Wärme gleichmäßig verteilt ist und die Ausdehnung daher verhältnismäßig groß sein muß, ehe irgendein Teil der starren Oberfläche heiß genug ist, um dem Druck

des Kernes nachgeben zu können. Bei einem quadratischen Stab nehmen die Ecken und Kanten schnell die Wärme des Anlaßbades an, bleiben daher weich und nachgiebig, so daß die inneren Spannungen die Oberhand gewinnen und sich nach diesen Ecken ausgleichen können, ehe die Oberflächen-Ausdehnung zum Bruch führt. Auch kann unter gleichen Bedingungen die Oberfläche von flachen Stäben besser nachgeben als irgend ein Teil der Oberfläche eines kreisrunden Querschnitts. Wenn der Stahl sonst nicht fehlerhaft ist, so brechen flache Stücke aus solchem Material weniger leicht, selbst wenn sie sehr dick sind, und niemals, wenn sie dünn sind. Dünne Klingen, die aus Blech oder Bandeisen, welche einen Schlackeneinschluß oder eine unverschweißte Gußblase enthalten, hergestellt sind, werden häufig beim Härten aufbersten, wie in Abb. 128 dargestellt ist.

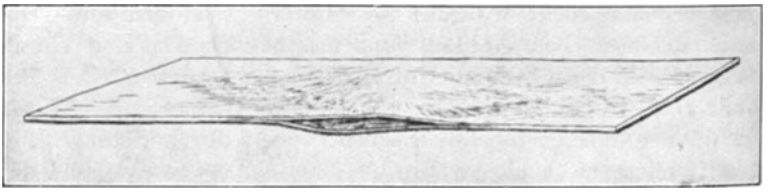


Abb. 128. Durch eine Gußblase verursachtes Aufbersten von Stahlblech nach dem Härten.

Die Art der Richtung, in welcher ein Riß verläuft, kann ein Beweis für seinen Ursprung sein. Ein erfahrener Härter würde niemals vermuten, daß die halbmondförmigen oder daumennagelähnlichen Risse, die man bei Meißeln, Hobeleisen, Beilen usw. antrifft, auf fehlerhaftes Schmieden zurückzuführen sind (S. 79). Sie können auch ungeeignetem Rohmaterial, Überhitzung, sorglosem Abschrecken oder irgendeinem anderen Versehen zugeschrieben werden. Nicht nur Risse dieser Art, sondern fast alle in Werkzeugen beobachteten Risse, die ganz allein aus Härtespannungen entstehen, verlaufen in einer ebenen Fläche, aus deren Krümmung Rückschlüsse über die Art des Erhitzens oder die Art des Abschreckens abgeleitet werden können. Andererseits ist ein Riß, der sich unregelmäßig gabelt, wenn auch die Folgen der Überhitzung oder andere Fehler nicht zum Vorschein kommen, gewöhnlich infolge des Vorhandenseins von freiem Zementit oder

durch Kaltbearbeitung entstanden. Zuweilen ist ein solcher Riß auch auf beide Ursachen zurückzuführen.

Ein Riß läuft mit Vorliebe den Weg entlang, der durch den freien Zementit vorgezeichnet ist, weil Zementit brüchig und wenig widerstandsfähig ist und weil auch der verschiedene Grad der Ausdehnung von Zementit und dem Material, in welchem er eingebettet liegt, während der Erhitzung und Abkühlung sowohl den Ursprung als auch die Ausdehnung des Risses begünstigt. Die Abb. 74 und 75 sind bezeichnende Beispiele für diese Art Risse. Hierher gehören auch solche Risse, die in einem Schlackeneinschluß ihren Anfang nehmen und längs einer Reihe solcher Einschlüsse ihren Weg fortsetzen (Abb. 56). Die mikroskopische Prüfung und die Kenntnis von der Zusammensetzung des Stahls

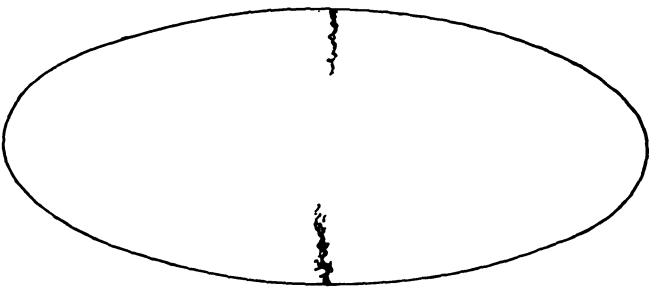


Abb. 129. Risse bei einem zwischen Walzen gestauchten, gleichförmigen Gegenstand.

befähigen uns, die wirklichen Ursachen für solche Risse zu erkennen.

Kaltbearbeitung durch den blaubrüchigen Zustand hindurch (S. 79) oder Drücken zwischen Walzen kann im Stahl, der weder Schlackeneinschlüsse noch freien Zementit enthält, gegabelte Risse erzeugen. Solche Risse sind gewöhnlich erst nach dem Härten sichtbar und erscheinen dann in manchen Fällen auf entgegengesetzten Seiten des gewalzten Gegenstandes, wie es in Abb. 129 dargestellt ist.

Ein Riß kann so fein sein, daß er sich der Entdeckung unmittelbar nach der Härtung des Werkzeuges entzieht und erst sichtbar wird, nachdem das Werkzeug einige Tage oder Wochen gelegen hat. Dagegen können solche Risse leicht bei Gegenständen aufgefunden werden, die mit einem Sandstrahlgebläse

gereinigt wurden, wenn sie vor der Reinigung einige Stunden lang in Öl gelegt oder zufällig in Öl gehärtet worden sind, und zwar durch das Öl, das, in den Riß eingedrungen, wieder herausickert und einen dunklen Fleck auf der hellen Außenseite des Werkstücks hinterläßt. Bei einem in Wasser abgeschreckten Werkzeug oder selbst bei einem in Öl gehärteten Gegenstand, welcher nach dem Anlassen in Wasser abgekühlt oder daran anschließend auf einem nassen Schleifstein abgeschliffen wurde, kann der Riß allmählich durch die Oxydation seiner feuchten Begrenzungsflächen erweitert werden. Da das oxydierte Metall ein größeres Volumen einnimmt als nicht oxydiertes, so drückt es entweder die Seiten des Risses auseinander oder erzwingt sich seinen Weg gewaltsam zwischen ihnen hindurch bis zur Außenseite. Abb. 130 stellt einen solchen Riß dar, der durch kalte Bearbeitung in der Lochwandung eine Feuerkastens aus Kesselblech entstand, und Abb. 131 einen ähnlichen Riß, der in einer in Öl gehärteten Klinge auftrat. Aus der aus einem Riß ausgeschwitzten Flüssigkeit kann geschlossen werden, ob der Riß während des Abschreckens oder bei einer der folgenden Arbeiten entstanden war.



Abb. 130. Riß in der Lochwandung eines Feuerkastens aus Kesselblech. (Nat. Größe.)

Ein abgeschreckter Stahl, der durch große Härte gekennzeichnet ist, wird zuweilen als „glashart" angesprochen, da er in der Tat in den härtesten Teilen so zerbrechlich wie Glas ist. Deshalb wird ein Stahl mit Glashärte dann leicht zerbrechen, wenn er nur in einer bestimmten Richtung stark beansprucht wird. Glasharte Werkzeuge vertragen daher keine Hammerschläge, weil der Hammerschlag eine Formänderung an einer Stelle des Werkzeuges hervorbringt, so daß also an dieser Stelle das Werkzeug mechanisch stärker beansprucht wird als an anderen Stellen. Aber auch durch ungleichmäßige Erwärmung kann ein gehärteter Stahl eine

so große örtliche Ausdehnung erfahren, daß er aufreißt oder sogar zerbricht. Wenn z. B. ein gehärtetes Stück Stahl in Gestalt einer langen Stange an einem Ende in wagerechter Lage eingespannt ist, so daß sein freies Ende gegenüber einer Gradeinteilung ruht und die Spitze einer Spiritusflamme für einen Augenblick unter die Stange nahe ihrem eingespannten Ende gebracht wird, dann wird sich das freie Ende, entsprechend der Ausdehnung der Unterseite, an der Gradeinteilung heraufbewegen. Dieser Versuch[1]) zeigt, daß ein Stück des härtesten Stahls sich unter dem Einfluß örtlicher Erwärmung, ohne zu brechen, unbedeutend biegen kann. Wenn aber die Erwärmung stark und daher die örtliche Ausdehnung plötzlich groß wird, dann wird der Stahl wie Glas zerbrechen. Ein solcher Bruch kann eintreten, wenn ein Stück von gehärtetem Stahl unvorsichtig gegen eine sich drehende trockene Schmirgelscheibe gedrückt wird.

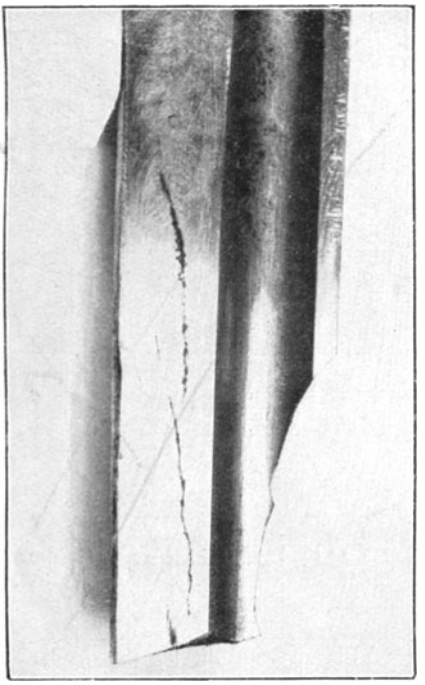


Abb. 131. Riß in einer Säbelklinge. (Nat. Größe.)

Die Gefahr des Zerbrechens durch ungleichmäßige Erwärmung ist bei gewöhnlichen Kohlenstoffstählen nicht so groß, weil mit der Erhöhung der Temperatur schnell eine Erweichung des Materials verbunden ist. Aber Schnelldrehstahl und auch Chromstahl bleiben auch bei viel höheren Temperaturen hart und unbiegsam und die Bruchgefahr ist daher bei örtlicher Erhitzung dieser Stähle größer. Diese örtliche Erhitzung und die hiermit im Gefolge stehenden Spannungen können durch die Reibungswärme hervorgerufen

[1]) Aus Ostwald, Die Schule der Chemie.

werden, die auftritt, wenn ein gehärteter Stahl scharf an die sich drehende Schmirgelscheibe gedrückt wird. Diese Spannungen lösen sich zumeist zu Rissen aus. Solche Risse, die als Schleifrisse bezeichnet werden, sind in Abb. 132 zu erkennen. Meist ist ein Vergrößerungsglas nötig, um die Schleifrisse aufzufinden, mitunter aber dehnen sie sich leicht weiter aus und klaffen auseinander, so daß sie schon dem bloßen Auge zugänglich sind. Bei ausgeglühtem Material können die Risse wieder leicht aus-

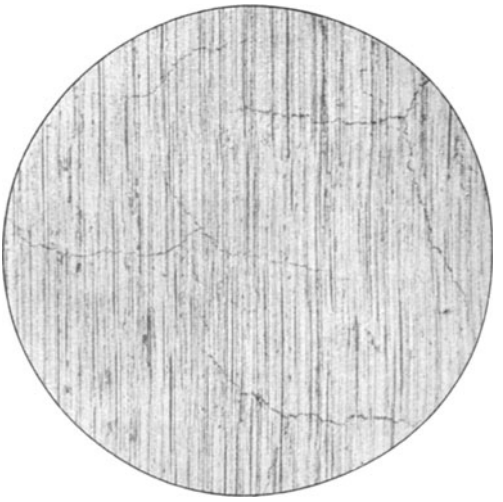


Abb. 132. Schleifrisse in einem gehärteten Schnelldrehstahl. V = 12.

geschliffen werden, so daß ohne besondere Vorsicht der Stahl dann weiter behandelt werden kann.

Das Auftreten von Schleifrissen in ungewöhnlicher Häufigkeit läßt auf Fehler bei der Härtung schließen. Aber auch unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen entstehen um so mehr Schleifrisse, je weniger zäh das Material ist. Auch der Anpressungsdruck an die Scheibe, die von richtiger Beschaffenheit sein muß, ist beim Schleifen von empfindlichen Stahlsorten (Schnellstahl) gering zu halten. Da der alte Natursandstein durch die mit großer Umfangsgeschwindigkeit arbeitende Schmirgelscheibe verdrängt worden ist, so ist für das Schleifen namentlich gehärteter Werk-

zeuge aus Schnellstahl auf das Korn der Scheibe zu achten. Hier muß das Korn weich sein, um zu erreichen, daß durch schnelle Abnutzung stets frisches Korn angreifen kann. Die Gefahr des Auftretens der Schleifrisse wird hierdurch vermindert, da die ungeeigneten harten Scheiben beim Schleifen von hartem Material verschmieren, blanke, glasige Oberflächen erzeugen und nicht angreifen, auch das Werkzeug zu sehr erhitzen und die Schneiden ausglühen, so daß das Werkzeug schon hierdurch gänzlich verdorben werden kann. Man muß daher gehärtete Werkzeuge stets vorsichtig ohne starkes Andrücken und mit möglichst kleiner Berührungsfläche leicht an der Scheibe unter Zufuhr von reichlich Wasser, dem zur Verminderung der Restbildung etwas Soda zugesetzt ist, in kurzen Absätzen vorbeiführen. Die Anstellung eines besonders geschulten, mit Erfahrung und Verständnis ausgestatteten Werkzeugschleifers ist ebenso wie die eines geschickten Härters eine Lebensfrage für jeden Werkzeugfabrikanten, wenn er sich große Summen, Ärgernisse und Betriebsstörungen ersparen will.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß Werkzeuge leichter durch Überhitzung als durch andere Ursachen verdorben werden. Diese Behauptung ist vielleicht ein wenig übertrieben. Es ist oft nicht schwer, Überhitzung festzustellen, dagegen bereitet der Nachweis anderer Fehler, besonders wenn Überhitzung mitgewirkt hat, größere Schwierigkeit. Der unerfahrene Härter, der einen groben Bruch entdeckt, erhitzt ein Werkzeug von neuem bei der richtigen Härtungstemperatur und dennoch ergibt sich ein Fehlstück. Die Schuld hieran trägt dann die ungünstige Form des Werkzeuges oder die unzweckmäßige Art des Abschreckens. Die Frage bleibt jedoch bestehen, wie dem Bruche vorzubeugen ist. Eine andere Antwort als die, die schon auf den vorhergehenden Seiten gegeben worden ist, kann auf diese Frage in Form allgemeiner Regeln nicht erteilt werden. Der unerfahrene Härter kann, wie vorher auseinandergesetzt wurde, offenkundige Überhitzung bei Werkzeugen entdecken, welche er selbst nicht gehärtet hat. Man kann behaupten, daß mit wenigen Ausnahmen alle Arten des Reißens wesentlich durch Überhitzung begünstigt werden, weil Überhitzung die bleibende Ausdehnung, d. h. die zwischen der gehärteten Außenschicht und dem ungehärteten Kern vorhandenen Spannungen vergrößert und zu gleicher Zeit die Festigkeit des Materials vermindert. Überhitzung vermehrt besonders die Leichtigkeit, mit welcher aus einer anscheinend unbedeutenden

Ursache, wie z. B. bei tiefen Kerben an Werkzeugen, ein Riß sich entwickeln und ausdehnen kann.

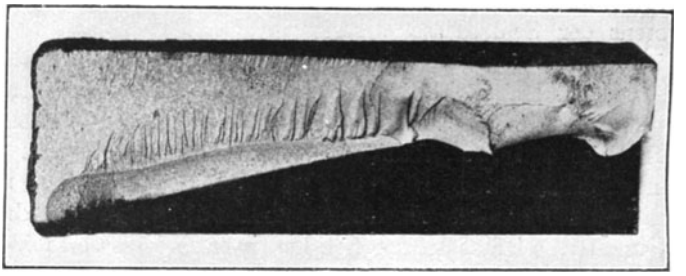


Abb. 133. Nach der Spitze zu überhitztes und wiederhergestelltes Stahlstück mit der noch sichtbaren Wirkung der Überhitzung (links).

Die Annahme ist aber nicht gerechtfertigt, daß ein grober Bruch unbedingt auf unrichtige Härtungstemperaturen zurückzuführen ist. Er kann ganz einfach ein Kennzeichen dafür sein, daß während irgendeiner vorhergegangenen Arbeit das Material bei einer zu hohen Temperatur erhitzt oder derselben zu lange ausgesetzt gewesen sein kann. Erfahrung in der Unterscheidung dieser verschiedenen Ursachen wird am besten durch sorgfältige Beobachtung von Vergleichsproben gewonnen, die aus derselben Stahlstange geschnitten sind und bei verschiedenen Temperaturen verschieden lange erhitzt werden. Durch diese praktische Prüfung kann man Unterschiede im Material entdecken, das überhitzt und „regeneriert" oder nicht überhitzt worden ist. Das in Abb. 133 dargestellte Stahlstück wurde nach der Spitze zulaufend erhitzt und darauf abgeschreckt. Es wurde dann von neuem erhitzt und wieder abgeschreckt, aber nicht in denselben Zustand versetzt, wie vor dem Überhitzen.

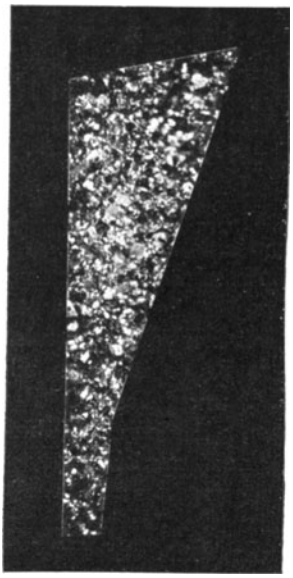


Abb. 134. Bruchfläche der Spitze eines überhitzten Abstechstahls. V = 10.

Die Wirkung des Überhitzens ist noch an der linken Seite des Stahlstückes sichtbar.

Die scharfen Schneiden an Werkzeugen, wie an Meißeln, Hobelseien, Messern zum Walzendrehen usw. sind manchmal nur an den Ecken überhitzt und nicht in den dickeren gehärteten Teilen. Dies ist ein Kennzeichen dafür, daß das Werkzeug schnell

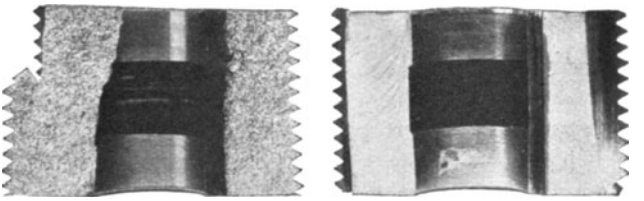


Abb. 135. Bruchfläche eines überhitzt und richtig gehärteten Fräsers aus Kohlenstoffstahl. Nat. Größe.

in einem Ofen bei einer viel zu hohen Härtungstemperatur von einem unerfahrenen oder sorglosen Härter erhitzt worden ist. In ihren Wirkungen kann diese Behandlung schlimmer sein als vollständiges Überhitzen, da das auf ungleichmäßige Erhitzung zurückzuführende verschiedenartige Gefüge fast immer die Ursache dafür



Abb. 136. Beim Härten gerissene Stahlringe. Nat. Größe.

ist, daß die Ecken beim Gebrauch des Werkzeuges abbrechen. Ein Beispiel für einen weit überhitzten und dann abgeschreckten Abstechstahl gibt Abb. 134. Der Stahl wurde versehentlich wie ein Schnelldrehstahl auf eine sehr hohe Temperatur gebracht und dann abgeschreckt. Die Folge der überhitzten Härtung war ein sofortiges Abbrechen der Spitze beim Gebrauch des Stahls infolge des sehr groben Bruchkorns, dem die geringe Widerstandsfähigkeit des Stahls zuzuschreiben ist. Die Bruchfläche eines

überhitzt und richtig gehärteten Fräsers aus Kohlenstoffstahl sieht man in Abb. 135 (rechts). Auch eine überhitzte Härtung bei Stahlringen führt leicht den Bruch derselben beim Härten herbei. In Abb. 136 kann man den verschiedenartigen Verlauf der Härterisse an zu hoch gehärteten Stahlringen mit 1,13 v. H. Kohlenstoff erkennen, die alle aus demselben Stahl gefertigt waren. Ein eigenartig verlaufender Riß konnte in einem gehärteten Uhrrädchen beobachtet werden, der in Abb. 137 sichtbar ist.

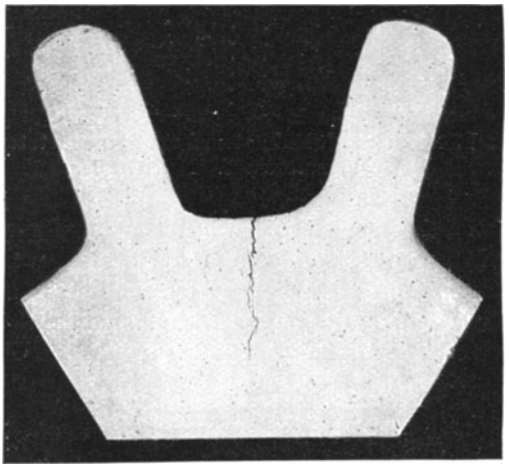


Abb. 137. Riß in einem gehärteten Uhrrädchen. V = 50.

Flache Fräser (Scheibenfräser) reißen nach dem Härten meist diagonal und die eine Hälfte vielfach so, daß zwei Quadranten verbleiben, wie Abb. 139 anzeigt. Das Zerbrechen solcher Fräser kann man vermeiden oder wenigstens stark einschränken, wenn man durch die Bohrung eine dem Durchmesser derselben entsprechende Stahlstange steckt, die auf Gelbglut erhitzt war. Sobald der Fräser bis zu den Zähnen strohgelb angelaufen ist, wird nochmals abgeschreckt.

Material, das kalt bearbeitet worden ist, sei es nun, daß es gehärtet war oder nicht, neigt sehr dazu, Risse zu bilden. Selbst dehnbare Drahtseile reißen im gespannten Zustande zuweilen der Länge nach mit Leichtigkeit auf, wenn eine kleine Kerbe auf der Außenseite gemacht worden ist. Stücke aus hartem Stahl

werden häufig in bestimmte Längen zerschnitten, um kleine Stempel, Bohrer usw. daraus zu fertigen. Wenn aber der Teil des Materials, der durch die beim Zerschneiden entstehenden Spannungen beeinflußt worden ist, nicht bei der späteren Bearbeitung entfernt wird, so wird die Härtung sicherlich einen beträchtlichen Prozentsatz von Ausschußware herbeiführen. Es kommt auch gelegentlich vor, daß ein Werkzeug, das frei von scharfen Winkeln und Ecken ist, für die weitere Bearbeitung durch eine Marke mit dem Körner näher bezeichnet wird. Die sich hieraus ergebenden Vertiefungen bilden des öfteren den Ursprung zu Rissen, besonders bei schroff abgeschrecktem Stahl. Werden die Vertiefungen später entfernt, so ist es sehr schwer, die Ursache für den sich im Material hinziehenden Riß anzugeben.

X. Legierte Werkzeugstähle.

Die vorhergehenden Ausführungen beziehen sich auf gewöhnliche Werkzeugstähle, d. h. auf Eisenkohlenstofflegierungen, die bis zu 1,7 v. H. Kohlenstoff neben geringen Mengen Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor enthalten. Der Mangangehalt kann zweckmäßig bis auf 0,6 v. H. bei solchen Stählen erhöht werden, die in Öl gehärtet werden, während der Siliziumgehalt bis zu 0,5 v. H. bei Stählen gesteigert werden kann, die einen hohen Glanz annehmen, oder bei Wolframstählen, die sehr harte Materialien schneiden sollen.

Die Einflüsse, die auf die Eigenschaften der Stähle durch die Hinzufügung gewisser Metalle sowohl allein als auch in Verbindung miteinander ausgeübt werden, können außerordentlich mannigfaltig sein. Daher ist es nicht leicht, sich darüber zu äußern, welche Metalle am besten für legierte Werkzeugstähle zu verwenden sind und in welchen Mengen sie in den letzteren vorhanden sein müssen. Aus diesem Grunde sollen nur Stähle besprochen werden, die entweder Wolfram (Wolframstähle) oder Chrom (Chromstähle) oder beide zusammen enthalten (Chromwolframstähle, Schnelldrehstähle) und die zur Zeit für Schneidwerkzeuge allgemeine Anwendung gefunden haben. Die ersteren sind Ternärstähle, weil sie Eisen, Kohlenstoff und Wolfram oder Chrom, die letzteren Quaternärstähle, weil sie Eisen, Kohlenstoff, Wolfram und Chrom als bevorzugte Bestandteile enthalten.

Die Anwesenheit von sehr geringen Mengen Wolfram schon bis 0,25 v. H. kann in Stählen durch die Farbe der Funkengarben erkannt werden, die abspringen, wenn eine Ecke des Stahls gegen eine sich drehende Schmirgelscheibe gedrückt wird. Kein anderes Element bringt diese Erscheinung hervor und keines der besonderen Elemente, die dem Stahl zugefügt werden, verdeckt diesen ganz ausgeprägten rötlichen Funken.

Es sei an dieser Stelle gleich bemerkt, daß diese sog. Funkenprobe zwar ein bequemes und billiges Mittel darstellt, legierte

Stähle von einfachen Werkzeugstählen, die auf der Schmirgelscheibe als Funkengarben helle Sterne absetzen, schnell zu scheiden, so soll man ihr doch nicht die Bedeutung beimessen, die sie in der Praxis vielfach genießt [1]). Abgesehen davon, daß es selbst-

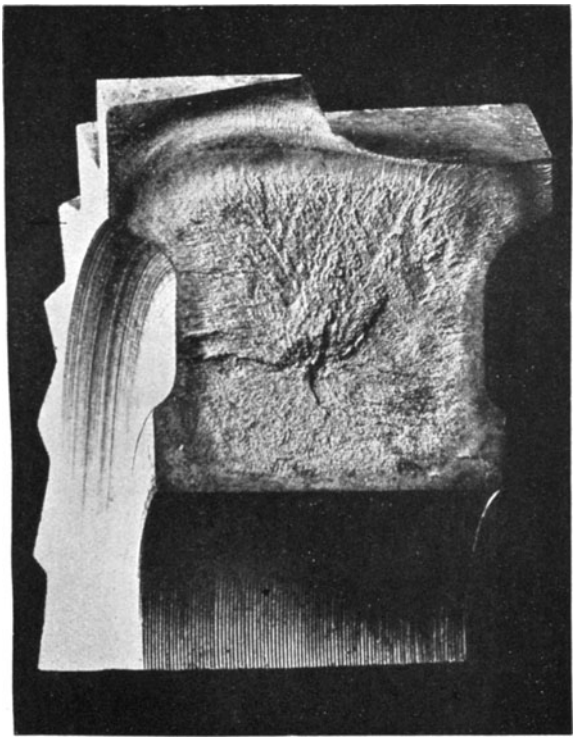


Abb. 138. Bruchgefüge eines überhitzten Fräsers aus Wolframstahl. V = 2.

verständlich ist, daß die Stähle verschiedener Zusammensetzung auch verschiedenartige Funkenbilder ergeben, erfordert ihre

[1]) Bermann, Die Funken als Erkennungszeichen der Stahlsorten. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1909, S. 171. — Fuchs, Über die Bestimmung der Stahlqualität mittels der Schmirgelscheibe. Werkstattstechnik 1910, S. 295. — Vgl. hierüber die Beurteilung von Mars, Die Spezialstähle. Stuttgart 1912, S. 280.

Deutung doch immerhin ein geübtes Auge, das leicht Trugschlüssen zugänglich ist, zumal auch hier die Beleuchtung der Werkstatt wesentlich mitspricht. Während des Krieges mußte vielfach zur Funkenprobe gegriffen werden, um aus dem früher fast wertlosen Abfallhaufen Schnellstahlstücke herauszusuchen, die für die Verschweißung oder Verlötung auf Stahlhalter verwendet wurden.

Der Bruch von ausgesprochenen Wolframstählen, d. h. von solchen Stählen, die 1 v. H. und mehr Wolfram enthalten,



Abb. 139. Bruchteile eines überhitzten Fräsers aus Wolframstahl. Nat. Größe.

ist selbst in ungehärtetem Zustande viel dichter und feinkörniger als derjenige von Kohlenstoffstählen von derselben Härte und Vorbehandlung. Bei gehärteten Stählen ist der Bruch porzellanbruchähnlich, wenn zwei und mehr Prozent Wolfram zugegen sind. Wolframstähle können ohne großen Schaden für die aus ihnen gefertigten Werkzeuge beim Härten gering überhitzt werden, ohne den stark grobkristallinischen Bruch zu ergeben, der bei überhitzten Kohlenstoffstählen auftritt. In dieser Hinsicht können sie mit jedem anderen Stahl durch gleichzeitige Anfertigung von Allings-Probestücken verglichen werden, wie auf S. 99 beschrieben worden ist. Von der Fähigkeit des Wolframstahls, selbst bei hohen

Temperaturen keinen grobkristallinischen Bruch zu zeigen, wird ausgiebigster Gebrauch bei den Schnelldrehstählen gemacht, die zwangsweise bei Temperaturen gehärtet werden müssen, die so hoch sind, daß ein Werkzeug aus gewöhnlichem Kohlenstoffstahl vollständig verdorben wird. Bei sehr starker Überhitzung jedoch ist auch bei einfachen Wolframstählen das Bruchgefüge grob, wie aus Abb. 138 hervorgeht. Diese Abbildung zeigt das Bruchgefüge eines Scheibenfräsers aus Wolframstahl, der versehentlich wie ein Schnelldrehstahl (Chromwolframstahl) bei sehr hoher Temperatur (1250° C) gehärtet wurde, so daß er genau wie ein überhitzter Kohlenstoffstahl beim Abschrecken in mehrere Teile zersprang (Abb. 139).

Bei Gehalten bis zu 5 v. H. Wolfram ähnelt das Kleingefüge der Wolframstähle den Kohlenstoffstählen, nur ist das Korn feiner ausgebildet. Das Kleingefüge besteht aus Ferrit und Perlit. Steigt der Wolframgehalt über 5 v. H., so tritt ein anderer Gefügebestandteil von größerer Härte auf, der von ähnlicher Beschaffenheit ist wie der Zementit bei einfachen Kohlenstoffstählen, nur ist dieser Gefügebestandteil ein wirksamerer Härtebildner als der Zementit. Man hat es hier mit einem sog. Doppelkarbid von Eisen und Wolfram, dem Eisenwolframkarbid, zu tun. Wolframstähle mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff und 3 v. H. Wolfram besitzen nach genügend hoher Erhitzung bereits selbsthärtende Eigenschaften (vgl. S. 173). Infolge der niedriger gelegenen Umwandlungstemperaturen der Wolframstähle im Vergleich zu denjenigen der Kohlenstoffstähle kann die Härtung, die in ihrer Wirkung stärker als bei Kohlenstoffstählen ist, auch bei niedrigeren Temperaturen vorgenommen werden, als wie es bei diesen Stählen üblich ist. Daher entsteht bei einem Stahl mit niedrigem Wolframgehalte (unter 5 v. H.) bei der Härtung wieder Martensit. Die Härtung muß im allgemeinen mit großer Vorsicht vorgenommen werden, da Wolframstahl sehr leicht beim Härten reißt. Anlassen und Ausglühen üben auf Wolframstähle mit geringeren Wolframgehalten denselben Einfluß aus wie auf Kohlenstoffstähle, sie werden weicher.

Infolge des im Vergleich zu den Kohlenstoffstählen geringeren Wärmeleitungsvermögens müssen die Wolframstähle beim Schmieden sehr vorsichtig angewärmt werden, um der Entstehung von Spannungsrissen vorzubeugen. Das Schmieden erfolgt gewöhnlich bei derselben Temperatur wie bei Kohlenstoffstählen, doch

ist es empfehlenswert, die Wolframstähle wegen ihrer höheren Festigkeit und Härte in rotwarmem Zustande bei etwas höherer Temperatur zu schmieden als die Kohlenstoffstähle. Stähle mit einem Gehalte bis zu 30 v. H. Wolfram lassen sich noch ohne Gefahr schmieden.

Wenn Wolframstähle zu kalt geschmiedet worden sind, so haben sie die Neigung, lamellenartig zu zersplittern, und zwar in rechten Winkeln zur Richtung der letzten Hammerschläge. Doch ist dies gewöhnlich nur bei flachen Stäben zu beobachten, und es kann die Ursache dieser Erscheinung wohl Gußblasen im Rohblock zugeschrieben werden, wenn nicht die Risse sich durch die ganze Länge des Stabes hindurchziehen. Wenn aber ein flacher Stab, der in der Mitte wegen zu kalter Bearbeitung lamellenartig eingerissen ist, in einen quadratischen Stab umgeschmiedet wird, dann verschwinden alle Zeichen der Lamellenstruktur und der Stab kann gehärtet werden, ohne daß eine fehlerhafte Mitte zu bemerken ist. Die Schweißbarkeit soll nach Hadfield schon bei Stählen mit 0,2 v. H. Wolfram aufhören, doch gelingt eine Schweißung bei Anwendung von Schweißmitteln, z. B. Eisenfeilspänen und Borax sowie eine Lötung, z. B. mit Kupfer, selbst bei höheren Wolframgehalten.

Abgesehen von den Schnelldrehstählen ist das Wolfram ein nützlicher Bestandteil in solchen Schneidwerkzeugen, mit denen man sehr harte Materialien bearbeiten will, z. B. Hartgußwalzen. Wegen seiner harten und dauerhaften Schneidkante, die bei sachgemäßer Härtung gut „steht", werden Werkzeuge aus Wolframstahl auch angewendet, um Schlichtarbeiten sowohl bei harten Stählen als auch bei weichen Metallen, z. B. Kupfer, vorzunehmen. Der Wolframstahl liefert auch ausgezeichnete Handstempel (Durchschläge), ist aber zu brüchig, um schweren Schlägen genügend Widerstand zu leisten.

Wolfram begünstigt die durchgreifende Härtung des Stahls und die Tiefe, bis zu welcher die durch Abschrecken hervorgebrachte Härte eindringt. Aber es ist in dieser Hinsicht sowohl dem Chrom als auch dem Mangan unterlegen.

Über die Verwendbarkeit von Wolframstählen gibt folgende Zahlentafel Auskunft [1]).

[1]) Mars, a. a. O. S. 309.

Verwendungszweck	Kohlenstoff v. H.	Wolfram v. H.
Gewehrläufe	0,60—0,70	1—3
Spiralbohrer	1,00—1,20	0,60—0,70
Drehmesser	1,00—1,20	3,00—3,50
Magnete	0,60—0,65	4,00—6,00
Warmzieh- und Preßmatrizen .	0,60—0,65	8,00—9,00

Chrom verursacht eine deutliche Härtesteigerung, zugleich aber auch eine Verminderung der Zähigkeit des Rohstahls. Bei sachgemäßer Härtung weisen Chromstähle eine feinkörnige Bruchfläche auf, die bereits bei ausgeglühten Chromstählen feiner ist als bei Kohlenstoffstählen und die derjenigen der Wolframstähle ähnlich, aber nicht so glänzend ist. Bis zu etwa 3 v. H. Chrom ist das Kleingefüge der Chromstähle demjenigen der Kohlenstoffstähle ähnlich (Abb. 140).

Bei steigendem Chromgehalte und etwa 0,8 v. H. Kohlenstoff sind die Stähle schon im Urzustande sehr hart, während bei noch höheren Chromgehalten bis 3 v. H. ein neuer körniger Gefügebestandteil von großer Härte auftritt, der in seinem Verhalten dem Härtebildner Zementit bei Kohlenstoffstählen gleicht (Abb. 141). Das Auftreten dieses Gefügebestandteils, der als ein Doppelkarbid von Eisen und Chrom (Eisenchromkarbid) anzusehen ist und der einem dem Ledeburit ähnlichen, aus der flüssigen Schmelze stammenden Gefügebestandteil entspricht, der beim Erhitzen nicht vollständig in die feste Lösung übergeht, kann des öfteren für Chromstähle bei ihrer Wärmebehandlung verhängnisvoll werden. Nur durch Schmieden kann die ursprüngliche ungünstige Anordnung der Körner von Eisenchromkarbid beseitigt werden, die schon bei verhältnismäßig geringem Kohlenstoffgehalt des Stahls sichtbar sind.

Aber nicht nur von ihrem Gehalte an Chrom hängen Gefüge und Eigenschaften der Chromstähle ab, sondern auch von der Temperatur, auf welche diese im Schmelzflusse erhitzt worden sind, unter der Voraussetzung, daß die Schmelzen ziemlich schnell bis zur Temperatur des Beginns der Kristallisation abgekühlt werden. Durch Erhitzen einer Schmelze auf verschiedene Temperaturen kann man daher eine Reihe von Chromstählen erhalten,



Abb. 140. Chromstahl mit 0,83 v. H. Kohlenstoff und 1,73 v. H. Chrom. V = 200.

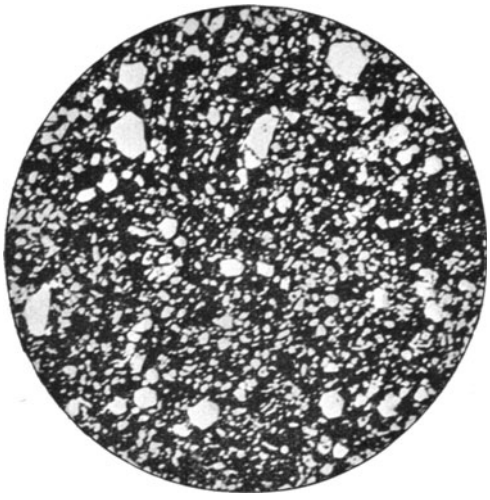


Abb. 141. Chromstahl mit etwa 2 v. H. Kohlenstoff und 12,34 v. H. Chrom. V = 200.

die bei derselben Zusammensetzung erheblich verschiedene Eigenschaften aufweisen[1]).

Auch bei Chromstählen ist das Wärmeleitungsvermögen im Vergleich zu Kohlenstoffstählen geringer, weshalb jede Wärmebehandlung eines Chromstahls noch vorsichtiger als wie bei Kohlenstoffstählen geschehen muß. Durch Überhitzung wird der Bruch leicht grobkörnig und der beanspruchte Stahl bricht kurz ab. Überhitzte Chromstähle sind daher nicht viel besser als überhitzte Kohlenstoffstähle.

Da die kritische Temperatur bei den Chromstählen etwas höher liegt als bei Kohlenstoffstählen, so muß auch das Schmieden bei höheren Temperaturen vorgenommen werden als bei Kohlenstoffstählen. Auch das Ausglühen muß mindestens bei etwa 850° C erfolgen. Nach Swinden[2]) liegt der kritische Punkt bei Chromstählen mit 0,6 bis 0,8 v. H. Kohlenstoff und 4 bis 5 v. H. Chrom, je nach der Höhe der Ausgangsheiztemperatur (bei der Abkühlung) dieser Stähle zwischen 600 und 800° C. Beim Ausglühen ist zu beachten, daß die nachfolgende Abkühlung sehr langsam vonstatten gehen muß, weil das Chrom die Eigenschaft hat, den Zerfall der festen Lösung, die bei der Temperatur von 850° C vorhanden ist, in tiefere Temperaturgebiete zu verlegen. Auch die Härtungstemperatur für Werkzeuge aus Chromstählen muß etwas höher liegen als die der Kohlenstoffstähle. Ein Kugellagerstahl z. B. mit etwa 1 v. H. Kohlenstoff und 1,5 v. H. Chrom muß bei 830 bis 860° C gehärtet werden, während für einen gewöhnlichen Kohlenstoffstahl mit rund 1 v. H. Kohlenstoff eine Härtungstemperatur von 760° C vollkommen ausreichend ist. Infolge der Anwesenheit von Chrom ist die gehärtete Außenschicht dicker im Vergleich zu gehärteten Kohlenstoffstählen und auch bei größeren Querschnitten läßt sich ein Chromstahl gleichmäßiger durchhärten als ein Kohlenstoffstahl. Aus diesem Grunde werden Chromstähle häufig zur Herstellung von Stahlwalzen benutzt. Zugleich besitzen aber Chromstähle eine große Neigung zu Spannungsrissen, die besonders bei Werkzeugen mit scharfen Winkeln auftreten, auch scharfe Ecken platzen nach dem Härten leicht ab. Daher müssen solche Werkstücke mit großen Hohlkehlen und Abrundungen an Ecken und Kanten versehen werden. Als

[1]) Treitschke und Tammann, Zeitschrift für anorganische Chemie 1907, S. 402.

[2]) Metallurgie 1907, S. 402.

Härteflüssigkeit für Chromstähle wird zweckmäßig nur Öl verwendet, aber auch Salzwasser soll günstig sein.

Die Schweißbarkeit der Chromstähle (ohne Schweißmittel) soll nach Portevin bereits bei 0,3 v. H. aufhören.

Infolge der verhältnismäßig großen Härte ist jede Kaltbearbeitung der Chromstähle schwierig, dagegen ist ein richtig ausgeglühter Chromstahl verhältnismäßig weich und kann in diesem Zustande gut bearbeitet werden. Chromstähle mit größeren Mangangehalten sind für Werkzeuge von Vorteil, die keinerlei Verziehen bei der Härte erfahren dürfen.

Guillet berichtet von einem Chromstahl mit 2,18 v. H. Kohlenstoff und 14,88 v. H. Chrom, der sich nicht walzen und nur mit größter Vorsicht schmieden ließ [1]). Ein aus diesem Material gefertigtes Schneidwerkzeug zur Bearbeitung von Stahlstücken wird auf 950° C erwärmt, auf 850° C an der Luft abgekühlt und in Öl abgeschreckt. Zur Bearbeitung von Gußstücken wird es auf 1050° C erwärmt, auf 950° C abgekühlt und ebenfalls in Öl abgeschreckt. Als Fräser gestattet dieser Stahl eine den Schnelldrehstählen gleiche Bearbeitungsgeschwindigkeit. Beim Abschrecken erleidet er keine Formveränderung. Das perlitische Grundgefüge dieses ausgeglühten Stahls durchziehen Doppelkarbidadern.

In der folgenden Aufstellung sind einige Anwendungsgebiete für Chromstähle, die auch für Konstruktionszwecke Verwendung finden, angegeben. Wie Wolframstähle eignen sich auch die Chromstähle für Dreh- und Hobelmeißel zur Bearbeitung sehr harter Materialien, wie Hartguß und hochgebremster Bandagen.

Verwendungszweck	Wolfram v. H.	Chrom v. H.
Schnitte, Sägeblätter, Stanzen	0,9 —1	0,5
Fräser, Bohrer, Rasiermesser, Sägefeilen	1,40—1,50	0,30—0,50
Meißel	0,30—0,40	0,50
Gewindebohrer, Spiralbohrer, Schnitte	0,80—0,90	0,50
Hand- und Preßluftmeißel	0,30—0,50	1,00—1,50
Kugellager, Kugeln	0,85—1,05	1,00—1,50
Geschosse	0,70—0,80	1,00—2,20
Lochdorne, Stempel, Kaltwalzen	0,80—1,00	2,00—4,00
Zieheisen	1,80—2,00	2,00—2,50

[1]) Metallurgie 1908, S. 215.

Wenn ein Stahl, der einige Prozent Chrom enthält, stufenweise auf eine Temperatur von 800° C erhitzt wird und wenn er dann in der Luft abkühlen kann, so wird er allmählich härter und schließlich bei kleinen Querschnitten ganz hart. Dies bedeutet, daß das Material ohne irgendwelche nachfolgende einschneidende Härtebehandlung: Eintauchen in Öl oder in Wasser von gewöhnlicher Temperatur, wie sie bei Kohlenstoffstählen am Platze ist, eine selbsthärtende Eigenschaft besitzt, also die Fähigkeit aufweist, als Schneidwerkzeug zu dienen (selbsthärtende, luftgehärtete Stähle). Man kann also hier sagen, daß die feste Lösung Austenit—Martensit, die bei Kohlenstoffstählen nur bei hohen Temperaturen möglich ist und nur durch schroffe Abkühlung festgehalten wird, durch die Anwesenheit von Chrom (und Wolfram) bei gewöhnlicher Temperatur ohne nennenswerte Abschreckung bestehen bleibt. Dieser Umstand kann besonders beim Ausglühen dieser Stähle beobachtet werden, das so vorgenommen werden muß, daß diese Stähle sehr langsam unter einer schlecht leitenden Wärmedecke abkühlen. Der alte Mushetstahl war bereits ein Selbsthärter, was allerdings nicht allein dem verhältnismäßig geringen Chromgehalte, sondern hauptsächlich seinem Gehalte an Mangan zugeschrieben werden muß, den er immer neben Wolfram aufwies. Die Zusammensetzung des alten Mushetstahls ist ungefähr 1,5 bis 2 v. H. Kohlenstoff, 6 bis 8 v. H. Wolfram, 1 bis 2 v. H. Mangan und 0,4 v. H. Chrom. Die Mushetstähle ermöglichen bereits bei erhöhter Schnittgeschwindigkeit eine erhebliche Verminderung der Arbeitslöhne, aber sie haben mitunter den Nachteil, daß an sich ganz gleich legierte Stähle sich bei der Härtung ungleich verhalten, so daß mitunter die Härte aus unerklärlichen Gründen überhaupt ausbleibt. Diese Tatsache setzte der allgemeinen Einführung dieser Art Selbsthärter ein frühzeitiges Ziel.

Zu unterscheiden von den selbsthärtenden Stählen sind die sog. naturharten Stähle. Diese besitzen bereits in ungehärtetem Zustande eine solche Härte, daß sie zu Schneidwerkzeugen verwendet werden können. Es braucht also hier nicht wie bei den Selbsthärtern der Luftstrom als Abkühlungsmittel herangezogen zu werden, sondern diese Stähle behalten den Martensit, also ihre Schneidhärte, auch bei gewöhnlicher langsamer und gleichmäßiger Abkühlung in der Luft. Im praktischen Betriebe werden oft selbsthärtende und naturharte Stähle miteinander verwechselt.

Dies ist an sich auch kein Fehler, da scharfe Unterscheidungsmerkmale zwischen diesen Stählen eigentlich nicht bestehen.

In ihrem Einfluß auf die Eigenschaften des Stahls ergänzen sich Chrom und Wolfram gegenseitig in vielen Beziehungen. Die Eigenschaften, die dem einen Bestandteil fehlen, sind bei dem anderen vorhanden und in Gemeinschaft sind sie die Träger für die ausgezeichneten Eigenschaften der neuzeitlichen Schnelldrehstähle (Schnellschnittstähle, Schnellschneidstähle, Schnelllaufstähle, Schnellarbeitsstähle, Schnellbetriebsstähle, Schnellstähle, Rapidstähle), die es erst ermöglicht haben, dicke Späne unter Beschleunigung der Arbeit von Werkstücken herunterzureißen. Sie besitzen im allgemeinen eine fünf- bis zehnmal so große Leistungsfähigkeit als die Kohlenstoffwerkzeugstähle, auch widerstehen sie infolge ihrer sehr großen Festigkeit hohen Schnittdrucken. Eine ungeheure Umwälzung haben die Schnelldrehstähle in der Metallverarbeitung und im Werkzeugmaschinenbau nach ihrem Auftauchen hervorgerufen.

Seit der Entdeckung der Schnelldrehstähle und ihrer vollständig von den Kohlenstoffstählen abweichenden Wärmebehandlung durch die Amerikaner Taylor und White und seit Vorführung der erstaunlichen Schnittleistungen dieser Stähle auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 haben die europäischen Stahlwerke die größten Anstrengungen gemacht, die bisher bekannten Selbsthärter hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zu verbessern und neue Stähle zu erzeugen. Diese Bestrebungen, bei denen Deutschland mit die führende Stelle hatte, waren von Erfolg gekrönt, und das Jahr 1906 kann als das Geburtsjahr des neuzeitlichen Schnelldrehstahls bezeichnet werden. Die Entwicklung des Werkzeugstahls ist aus der folgenden Aufstellung ersichtlich [1]).

Vom Jahre 1906 ab sind wesentliche Verbesserungen nicht mehr zustande gekommen, denn die heutigen marktgängigen Schnelldrehstähle weichen in ihrer Zusammensetzung kaum von dem in der letzten Zeile der nachstehenden Aufstellung genannten Schnelldrehstahl ab. Kleinere Änderungen in der Zusammensetzung spielen bei den Schnelldrehstählen eine geringere Rolle als bei Kohlenstoffstählen. Es muß aber hier bemerkt werden, daß die vielfach übertriebenen Anpreisungen einzelner Stahl-

[1]) Taylor-Wallichs, Über Dreharbeit und Werkzeugstähle. S. 172.

Stahlart	Wolfram v. H.	Chrom v. H.	Kohlenstoff v. H.	Mangan v. H.	Vanadin v. H.	Silizium v. H.	Phosphor v. H.	Schwefel v. H.	Schnittgeschwindigkeit bei mittelweichem Stahl m/min.
Kohlenstoffstahl bis 1904 . .	—	0,21	1,05	0,19	—	0,21	0,017	0,017	4,88
Mushetstahl bis 1900	5,44	0,40	2,15	0,58	—	1,04	—	—	7,92
Erster Schnelldrehstahl 1900	8,00	7,80	1,85	0,30	—	0,15	0,025	0,030	17,7—18,6
Schnelldrehstahl 1906 . .	18,91	5,47	0,67	0,11	0,29	0,04	—	—	30,2

werke, die ihren Erzeugnissen immer vollklingendere, ja phantastische Namen beilegen, gerade auf dem Schnellstahlmarkte eine große Verwirrung angerichtet haben, die nicht hätte eintreten können, wenn die eingehende Kenntnis über das Wesen des Schnelldrehstahls in den Kreisen der Verbraucher mehr vorgedrungen wäre.

Bei der Verarbeitung der zu den Quaternärstählen zählenden neuzeitlichen Schnelldrehstähle zu Werkzeugen dürfen viele Erfahrungen, die bei den Kohlenstoffstählen gesammelt sind, nicht ohne weiteres auf Schnelldrehstähle übertragen werden. Zunächst ist es nicht richtig, daß eine Vermehrung des Kohlenstoffgehalts unbedingt einen Schnelldrehstahl, sei es nach dem Abschrecken in Luft, Öl, Tran oder flüssigem Salz härter macht, er kann sogar weicher werden. Auch ist es nicht richtig, daß der Stahl um so härter wird, je schneller er abgekühlt wird. Es ist jedoch ausnahmslos richtig, daß Schnelldrehstähle, sobald sie geschmiedet und an der Luft von Temperaturen um 900° C herum abgekühlt wurden, hart sind und bei allen folgenden Arbeiten wie Gegenstände aus gehärtetem Kohlenstoffwerkzeugstahl behandelt werden müssen. Die Geschwindigkeit der Abkühlung ist also hiernach schon bei Schnelldrehstählen, überhaupt bei legierten Werkzeugstählen, von viel einschneidender Bedeutung als bei Kohlenstoffstählen, die bekanntlich für die Härtung eine sehr schnelle Abkühlung erfahren müssen.

Das Ausglühen der fertigen Stangen aus Schnelldrehstahl und der aus ihnen gefertigten Werkzeuge geschieht, sofern dies vor

der Härtung noch notwendig ist, zweckmäßig in einem schlechten Wärmeleiter, am besten in Holzkohlenasche oder Holzkohlenpulver oder -grieß, besonders dann, wenn es sich um massige Werkzeuge handelt, die in Blechkästen oder in luftdicht verschmierten eisernen Rohren verpackt werden. Mit diesen Mitteln wird auch einer leichten Oberflächenentkohlung vorgebeugt. Das Ausglühen zum Zwecke der Erweichung des Stahls ist dann am besten, wenn der Kaleszenspunkt (s. S. 26) beim Glühen nicht merklich überschritten wird und der Glühung alsdann ein sehr langsames Abkühlen bis zum Rekaleszenspunkt folgt. Ein mehrstündiges Erwärmen des Stahlstückes bei etwa 900° C oder etwas

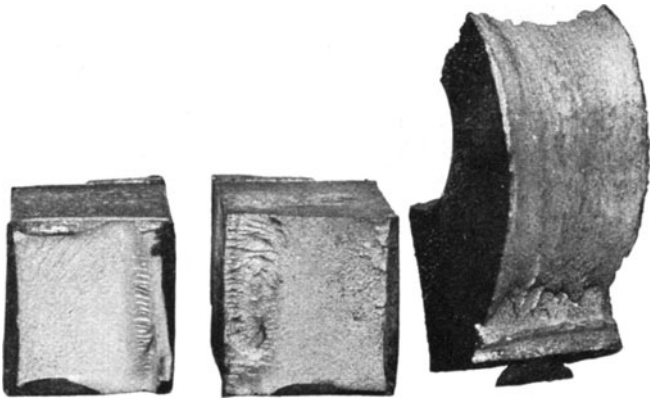


Abb. 142. Bruchgefüge eines ausgeglühten Schnelldrehstahls, gewöhnlichen Werkzeugstahls und hochprozentigen Nickelstahls. Nat. Größe.

darüber, dann sehr langsames Abkühlen während mehrerer Stunden innerhalb des Temperaturbereiches von 900 bis 700° C, dem alsdann eine schnellere Abkühlung folgen kann, verleihen dem Stahl die größte Weichheit. Auch wird durch Ausglühen beim späteren Härten ein Verziehen vermindert, auch Risse und Sprünge können hintangestellt werden. Das Ausglühen der fertigen Rohstahlstangen im Stahlwerk erfolgt unter Anwendung besonderer Einrichtungen, für das große Erfahrung notwendig ist.

Wenn die Bruchstellen von ausgeglühten Schnelldrehstählen geprüft werden, so zeigen sie ein feineres Gefüge als Kohlenstoffstähle und unterscheiden sich auch sehr erheblich von dem Bruchaussehen eines zähen Nickelstahls. In Abb. 142 ist links das

sehr feinkörnige, samtartige Bruchgefüge eines ausgeglühten Schnelldrehstahls dargestellt, während das mittlere Bild das Bruchgefüge eines guten ausgeglühten Kohlenstoff-Werkzeugstahls wiedergibt. In derselben Abbildung erkennt man rechts den sehnigen Bruch eines hochprozentigen Nickelstahls.

Infolge ihrer gegenüber den Kohlenstoffstählen wesentlich geringeren Wärmeleitfähigkeit muß jede Wärmebehandlung, insbesondere die Erwärmung für das Schmieden, ebenfalls langsam begonnen werden, um ein Rissigwerden des Stahlkerns zu vermeiden. Dieses schlechtere Wärmeleitungsvermögen kann man schon an einem Drehmesser beobachten, dessen Schneide sich beim Drehen bis auf Rotglut erhitzt hat. Kurz hinter der Schneide läßt sich der Stahl bereits mit der bloßen Hand anfassen, die Anhäufung der Hitze ist also nur an der Schneide vorhanden, die durch den Schaft nicht nennenswert abgeleitet wird. Das langsame Erwärmen zur Erreichung der richtigen Schmiedetemperatur ist nicht so wichtig bei ausgeglühten Stücken, weil das weiche Material der durch zu schnelle Erwärmung hervorgerufenen inneren Spannung nachgeben kann, ohne zu brechen. Diese Nachgiebigkeit ist jedoch erheblich geringer als bei Kohlenstoffstählen, denn ein Schnelldrehstahl ändert, wenn er auch sehr heiß gemacht worden ist, seine Gestalt nicht schnell. Dagegen ist die Neigung zum Reißen oder Springen während des Schmiedens bei demselben Stahl geringer, wenn er möglichst heiß ist. Deshalb werden Schnelldrehstähle in der Werkstatt bei höheren Temperaturen geschmiedet, als für Kohlenstoffstähle verlangt wird, zumal auch die Umwandlungstemperatur bei der Erhitzung höher liegt als bei Kohlenstoffstählen (s. S. 189). Das Schmieden darf nur zwischen bestimmten höchsten und tiefsten Temperaturen erfolgen, die bei den verschiedenen Werkzeugstählen liegen [1]):

Bei	Kohlenstoffstahl	zwischen	900	und	700° C,
„	Molybdänschnellstahl	„	1000	„	800° C,
„	Wolframschnellstahl	„	1200	„	900° C.

Es ist nicht notwendig, das Material durch und durch zu schmieden, nachdem es eine Zeitlang einer Temperatur von etwa 1000 bis 1100° C ausgesetzt war, um das mitunter grobkörnige Gefüge des Rohstahls, das zumeist durch Karbidanhäufungen ausgeprägt ist (s. S. 199), zu beseitigen. Zuweilen begegnet man auch der

[1]) Technisches Hilfsbuch. 4. Aufl. S. 312, Verlag von Julius Springer.

Ansicht, daß Schnelldrehstahl überhaupt nicht überhitzt werden kann, weil eine Überhitzung nicht beobachtet wird, wenn ein solcher Stahl Temperaturen ausgesetzt wird, bei denen Kohlenstoffstähle unbedingt überhitzt werden.

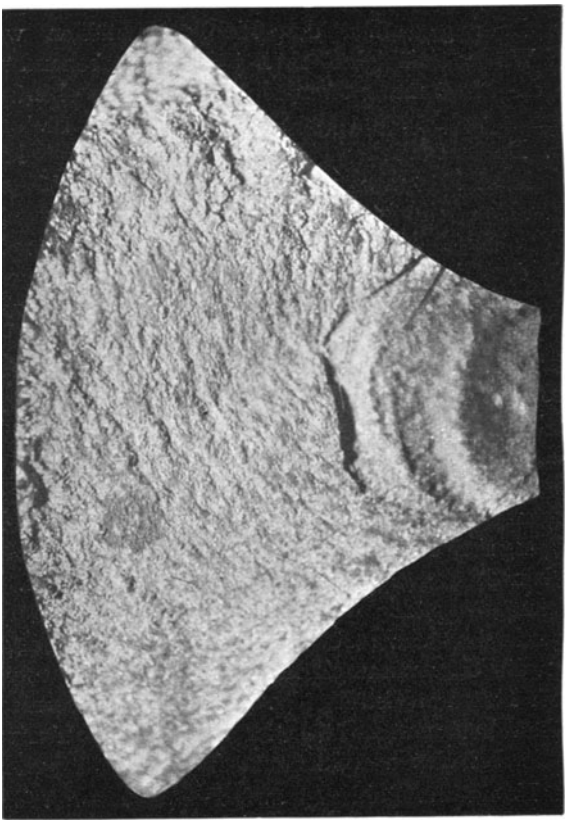


Abb. 143. Bruchgefüge eines überhitzt gehärteten Schnelldrehstahls. V = 3½.

Aber diese Behauptung, daß Schnelldrehstähle nicht überhitzt werden können, ist falsch. Die kristallinischen Körner nehmen an Größe bei sehr hohen Temperaturen in derselben Weise, wenn auch nicht mit derselben Leichtigkeit, zu, wie bei Kohlenstoffstählen. Das Gefüge eines verbrannten Schnellstahls ist ganz grob. Abb. 143 veranschaulicht das Bruchgefüge

eines stark überhitzten und dann gehärteten, noch unfertigen Werkzeuges (eine Hälfte einer Reibahle) aus Schnelldrehstahl, während Abb. 144 das seidenartige, glasige Bruchgefüge desselben Stahls, der bei richtiger Temperatur gehärtet wurde, wiedergibt.

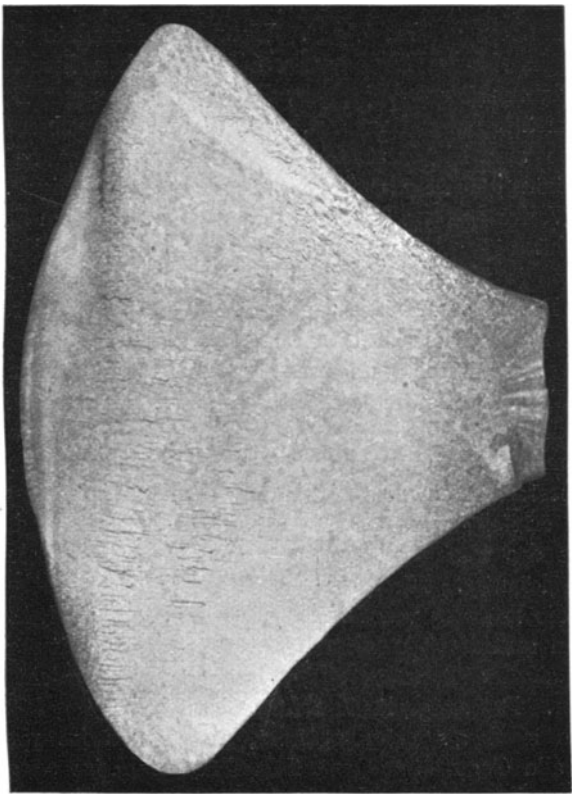


Abb. 144. Bruchgefüge eines richtig gehärteten Schnelldrehstahls. V = $3^1/_2$.

Wurde ein Schnelldrehstahl bei sehr hohen Temperaturen erhitzt und dann ungenügend durchgeschmiedet, dann weist er einen sehr bezeichnenden Bruch auf. Diese Art des Bruches, die als „schuppig" angesprochen wird, bildet einen großen Nachteil bei der Anfertigung von Spiralbohrern und Fräsern, und es besteht dann bei diesen Werkzeugen die Neigung zu reißen, und zwar genau in derselben Weise, wie Werkzeuge aus Kohlen-

stoffstählen auch rissig werden, die überhitzt oder ungenügend durchgeschmiedet worden sind. Der schuppige Bruch kann nach dem Ausglühen nicht erkannt werden, aber er erscheint wieder, wenn man den ausgeglühten Stab von neuem erhitzt, und nichts als nochmaliges Schmieden ist dann imstande, den schuppigen Bruch gänzlich zu beseitigen. Wenn geschmiedete Stäbe aus Schnelldrehstahl im Stahllager an den frischen Enden geprüft werden, dann müssen diejenigen, die einen schuppigen Bruch aufweisen, zurückgewiesen werden, und zwar aus denselben Gründen, wie Stäbe aus Kohlenstoffstahl verworfen werden sollen, die den grobkörnigen Bruch eines überhitzten Stahls zeigen.

Alle Werkzeuge aus Schnelldrehstahl sind nach dem Schmieden in luftgehärtetem Zustande denselben Bruchmöglichkeiten ausgesetzt wie in Wasser gehärtete Kohlenstoffstähle von derselben Gestalt. Beim Schmieden ergeben flache Stäbe geringeren Abfall als quadratische Stäbe und quadratische Stäbe geringeren Ausschuß als runde Stäbe, und zwar aus denselben Gründen, wie sie bei den Kohlenstoffstählen angeführt sind (S. 82). Es ist daher ratsam, daß alle Werkzeuge nach dem Schmieden, wenigstens solche von rundem Querschnitt, sehr langsam abgekühlt werden, was am besten in einem auf geeignete Temperaturen angeheizten Glühofen erreicht werden kann, damit die inneren und äußeren Schichten des Stahls sich ungefähr mit derselben Schnelligkeit abkühlen können. Hierdurch wird bei den erkalteten Gegenständen die Bildung von Längsrissen, die nicht im heißen Stahl vorhanden und nicht unmittelbar auf kalte Bearbeitung zurückzuführen sind, außerordentlich vermindert, wenn nicht gänzlich vermieden. Da ausgeglühte Schmiedestücke viel gefahrloser zu behandeln sind als unausgeglühte, so werden im praktischen Betriebe alle Gegenstände aus Schnelldrehstahl im ausgeglühten Zustande geliefert. Das Material kann dann auf die gewünschten Längen zersägt werden, was weniger zu beanstanden ist, als es kalt abzubrechen oder heiß zu zerschneiden. Allerdings kann durch die beim Zersägen an der Schnittstelle der Stange auftretende starke Erhitzung die Veranlassung zu kleinen Rissen gegeben werden, und durch das Abbrechen in kaltem Zustande wird infolge der hierdurch veranlaßten Zerrung erst recht der Bildung von Rissen an der Bruchstelle Vorschub geleistet (s. S. 80), was jedoch bei Verwendung von Abstechstählen zumeist verhindert wird. Ist schon das Abbrechen nicht zu umgehen, so soll wenigstens der

Stahl vorher erhitzt werden. Es kann auch vorkommen, daß der Schmied, wenn dicke Stähle zu bearbeiten sind, achtlos feuchten Brennstoff auf den erhitzten Stab wirft und auf diese Weise die Veranlassung zu winzigen Wasserhärtungsrissen gibt, die später zu ernstlichen Fehlern führen und die nicht immer auf ihre tatsächliche Ursache zurückverfolgt werden können.

Praktisch können alle Arten von an der Luft gehärteten Stählen durch Anlassen weicher werden, d. h. wenn sie unterhalb derjenigen Temperatur erhitzt werden, bei der sie beim Abschrecken hart werden. Wenn dagegen ein Stahl nur ausgeglüht werden soll, so muß er natürlich auf diejenige Temperatur gebracht werden, bei welcher der Stahl schon durch Abschrecken gehärtet wird, wie bereits oben angegeben wurde. Selbstverständlich muß aber dann dem Stahl beim Abkühlen so viel Zeit gelassen werden, daß das Bestreben der Lufthärtung unterdrückt wird, und selbst dann kann der weiche Zustand teilweise auf die Anlaßwirkung zurückgeführt werden, die hervortritt, nachdem die kritische Härtungstemperatur überschritten ist.

Im allgemeinen ist das Anlassen von gehärteten Werkzeugen aus Schnelldrehstahl nicht üblich. In Amerika jedoch glaubt man dem Anlassen von gehärteten Schnelldrehstählen das Wort reden zu müssen. Schruppstähle brauchen nicht angelassen zu werden, dagegen sollen folgende Anlaßtemperaturen für Werkzeuge zweckmäßig sein:

Große Reibahlen und Bohrer	230° C (hellstrohgelb).
Gewöhnliche Bohrer, kleine Reibahlen und ähnliche Werkzeuge, die auf starke Verdrehung beansprucht werden, bis . .	240° C (strohgelb).
Gewindeschneidwerkzeuge	260° C (braungelb).
Fräser	210° C (hellgelb),
Durchschläge, Schnitte, Stanzen, die heftigen Stößen ausgesetzt sind	300° C (hellblau).
Holzbearbeitungswerkzeuge	275 bis 300° C (purpurrot bis blaugrün).

Zur Bearbeitung von Bronze kann die Anlaßtemperatur um 20 bis 30° C niedriger gehalten werden als bei Werkzeugen für Stahl- und Eisenbearbeitung [1]).

[1]) Wirtschaftliche Technik 1920, S. 78.

Wenn ein Schnelldrehstahl auf 900 bis 950° C erhitzt und in Öl abgeschreckt wird, dann ist er ganz hart. Er ist für die Feile fast ebenso hart, als wenn er von 1200° C abgeschreckt worden wäre. Aber er ist als Schneidwerkzeug nicht ebenso wirksam wie ein hochgehärteter Schnelldrehstahl. Andererseits wird ein Werkzeug aus Schnelldrehstahl, das aus Temperaturen von 1200 bis 1300° C (also bis fast zum Schmelzpunkt erhitzt) abgeschreckt wurde, weichen Stahl bei großer Geschwindigkeit schneiden. Man ist so gezwungen, zwei Arten von Härte zu unterscheiden, und zwar:

1. diejenige Härte, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Oberfläche dem Eindringen der Feile Widerstand leistet, und
2. diejenige Härte, die derjenigen Wärme (Anlaßhitze) Widerstand leistet, die infolge der großen Reibung zwischen Drehstahl und Werkstück beim Schneiden auftritt.

Diese letztere Art von Härte, die als Rotgluthärte (Rotwarmhärte) bezeichnet worden ist, ist besonders kennzeichnend für Schnelldrehstähle, und es hat sich herausgestellt, daß sie bis zu einem gewissen Grade unabhängig ist von dem Kohlenstoffgehalte des Stahls und von der Schnelligkeit, mit welcher das Werkzeug abgeschreckt wurde. Bei der Rotgluthärte oder bei Temperaturen bis 600° C ist der Schnelldrehstahl, wenn er richtig gehärtet worden war, noch schneidfähig, während gewöhnlicher Kohlenstoffstahl bereits versagt, wenn er sich beim Schneiden infolge der Spanreibung auf 200 bis 250° C erhitzt hat. Durch diese in diesem Stahl hervorgerufene Anlaßwirkung wird ihm die Härte und daher die Schneidfähigkeit genommen. Beim Schruppen mit Drehmeißeln aus Schnelldrehstahl kann man mitunter sämtliche Anlaßfarben an der Schneide beobachten, die der Stahl bis zur dunklen Rotglut durchläuft. Auch der abgerissene Span wird beim Schruppen zuweilen bis zur Rotglut erhitzt. Die Anlaßfarben von Werkzeug und Span kann man jeweils als Merkmal für die Leistung des Schnelldrehstahls ansehen. Durch die starke Spanreibung und Hitzeentwicklung wird die obere Schleiffläche des Schneidstahls zerstört, die ein Rauhwerden, Verfärben, Aushöhlen, Abrunden und schließliches Erweichen zeigt. Bei großer Reibungshitze erfolgt sehr oft ein Fressen oder sogar Aufschweißen der Drehspäne. Das Versagen des Werkzeuges macht sich durch ein Blankdrehen, Glattbremsen am Werkstück bemerkbar bzw. wird meist durch das starke

Brummen der Drehbank angezeigt. Im praktischen Betrieb läßt man daher aus Zweckmäßigkeitsgründen eine Erwärmung auf höchstens 400° C zu. Der Vorzug des Schnelldrehstahls gegenüber dem gewöhnlichen Kohlenstoffwerkzeugstahl besteht also darin, daß man mit Schnelldrehstahl noch bei Rotgluthitze, gewöhnlich noch bei gleicher Schnittgeschwindigkeit, Arbeit verrichten kann, die Kohlenstoffstahl nur bei viel niedrigeren Temperaturen leistet. Dagegen ist es falsch, dem Schnelldrehstahl eine größere Härte als einem gut gehärteten Kohlenstoff zuzuschreiben, wie aus einem Vergleich der in der folgenden Aufstellung gegebenen Zahlen mit den auf S. 124 vermerkten eines einfachen Werkzeugstahls ersichtlich ist:

Schnelldrehstahl mit 0,77 v. H. Kohlenstoff, 4,48 v. H. Chrom und 19,66 v. H. Wolfram	Brinellsche Härtezahl
Ausgeglüht	311
Gehärtet bei 800° C	313
„ „ 900° C	872
„ „ 1000° C	1374
„ „ 1050° C	2082
„ „ 1100° C	1872
„ „ 1150° C	1842
„ „ 1200° C	1932
„ „ 1250° C	2182
„ „ 1300° C	1897

Sobald es sich um einfache Formen von Schneidwerkzeugen aus Schnelldrehstahl handelt, ist es gleichgültig, ob sie im trockenen Luftstrom (Gebläsewind, Preßluft), in Öl (Rüböl, Leinöl), Tran (Fischtran) oder in Wasser abgeschreckt werden. Aber solche Werkzeuge, wie Spiralbohrer, Reibahlen, Fräser usw., können nicht so leicht durch und durch mit einer ausreichend gleichmäßigen Schnelligkeit in Wasser abgeschreckt werden, weil Schnelldrehstähle eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Kohlenstoffstähle besitzen, und deshalb ist das Abschrecken in der Luft, in heißen Ölen oder Talg von 60° C oder in geschmolzenem Blei oder Salz oder in Petroleum zweckmäßiger als in Wasser. In letzterem Falle ist jedoch die Gefahr des Rissigwerdens größer, und daher wird auch die Lebensdauer besonders von großen Werkzeugen mit stark wechselndem Querschnitt wesentlich geringer sein.

Wenn also hiernach Wasser als Abkühlungsmittel unter Umständen benutzt werden kann, und sogar in handwarmem Zustande von einigen Stahlwerken für vanadinhaltige Schnelldrehstähle empfohlen wird, so kann dieses Mittel nur in der Hand eines erfahrenen Härters dienlich sein. Am besten jedoch vermeidet man aus dem oben angedeuteten Grunde Wasser als Abschreckmittel für Schnelldrehstähle, wie dies in den meisten Härtereien als feststehende Regel gilt:

Bringe Wasser nicht in Berührung mit heißen zu härtenden Schnelldrehstählen.

Da hier bereits angedeutet ist, daß in Schnelldrehstählen auch Vanadin vorkommt, soll die Bedeutung dieses Elements für diese Stähle kurz gekennzeichnet werden. Abgesehen von der Neigung des Vanadins, infolge seiner großen chemischen Verwandtschaft zum Sauerstoff dieses Element zu binden und daher das Schmelzbad zu desoxydieren, also eine Entgasung desselben herbeizuführen und daher den Guß dicht zu machen, erhöht ein Vanadingehalt die Fähigkeit der Chromwolframstähle, bei hohen Temperaturen die Härte zu behalten, und es soll sich daher mit diesen Stählen eine höhere Schneidfähigkeit erzielen lassen als mit Schnelldrehstählen ohne Vanadin. Auch wird ihre Zähigkeit, Härte und Haltbarkeit durch Vanadin wesentlich verbessert. Edwards [1]) fand, daß ein Schnelldrehstahl mit 0,3 v. H. Vanadin eine um 10 v. H. höhere Schnittgeschwindigkeit gestattete, auch wurde die bis zum Nachschleifen des Stahls mögliche Benutzungsdauer verdoppelt. Ein Gehalt von 0,6 v. H. Vanadin gestattete eine um 20 v. H. höhere Schnittgeschwindigkeit und vervierfachte die Benutzungsdauer bis zum Nachschleifen, während ein Gehalt von 0,9 v. H. Vanadin eine Steigerung oder Schnittgeschwindigkeit um 30 v. H. zuließ und die Benutzungsdauer bis zum Nachschleifen verachtfachte. Höhere Vanadingehalte als 1,25 v. H. erscheinen, abgesehen von einigen besonderen Fällen, nicht zweckmäßig und wirtschaftlich. Hiernach und nach weiteren praktischen Betriebsversuchen des deutschen Verfassers dieses Werkes ist anzunehmen, daß im allgemeinen vanadinhaltige Stähle eine etwas höhere Leistungsfähigkeit aufweisen als nichtvanadinhaltige, womit auch neuere Untersuchungen [2]) übereinstimmen, daß vanadinhaltige Stähle mit etwa 1,5 v. H. Vanadin gegen-

[1]) Stahl und Eisen 1912, S. 1467.

[2]) Arnold und Ibbotson, Stahl und Eisen 1920, S. 486.

über den nichtvanadinhaltigen in ihrer Leistungsfähigkeit überlegen waren, und zwar betrug die Leistungsfähigkeit bis 60 v. H. Vanadinhaltige Schnellstähle sollen auch den Vorzug haben, daß sie, ohne Risse zu erhalten, sich in Wasser härten lassen. Wird reinen Molybdänstählen (2 bis 6 v. H. Molybdän) Vanadin beigefügt, so soll ihre Schleifempfindlichkeit völlig aufgehoben werden. Auf das Kleingefüge der Schnelldrehstähle ist ein Zusatz von Vanadin ohne Einfluß, auch wird die Lage der Haltepunkte nicht geändert.

Reine Vanadinstähle, am besten solche mit etwa 3,5 v. H. Vanadin, werden mitunter auch für Werkzeuge benutzt. So eignet sich ein Stahl mit 1,2 v. H. Kohlenstoff und 0,6 v. H. Vanadin für Matrizen, Stempel und ähnliche Werkzeuge, da die Vanadinstähle gegen Stoß weniger empfindlich sein sollen als andere Werkzeugstähle.

Molybdän, das ebenfalls in Schnellstählen vorkommt, ist zwar dem Wolfram gleichwertig und kann als Ersatz für dieses Element gelten (für 1 v. H. Wolfram etwa 2 v. H. Molybdän), verleiht aber dem Stahl eine geringere Schmiedbarkeit, der durch Molybdän rissig und spröde wird. In der Tat findet man daher heute nur selten Molybdän in Schnelldrehstählen, das sich andererseits wiederum leicht im Eisen bei hoher Temperatur löst, wie Untersuchungen thermischer und mikroskopischer Art an reinen Molybdänstählen ergeben haben. Sie sind jedoch fast völlig vom Markte, wenigstens in Deutschland, verschwunden. Nur während der Kriegszeit hatten die Molybdänstähle als Werkzeugstähle infolge der großen Knappheit an Wolfram und Chrom eine gewisse Berechtigung, in Nord-Amerika redet man ihnen neuerdings wieder das Wort, zumal hier Molybdänerze in ausreichender Menge vorkommen. Molybdänstähle können jedoch hochwertige Schnellstähle auf keinen Fall ersetzen.

Ein hoher Mangangehalt verringert die Schmiedbarkeit der Schnelldrehstähle, während Silizium die Schnittgeschwindigkeit herabsetzt. Schwefel und Phosphor müssen aus denselben Gründen wie bei Kohlenstoffstählen vermieden werden.

Die folgende, nach Kohlenstoffgehalten geordnete Zahlentafel gibt einen Überblick über die chemische Zusammensetzung (Rest Eisen) einer Reihe von deutschen und ausländischen Schnelldrehstählen, die das Ausgangsmaterial für die in diesem Abschnitt besprochenen Versuche darstellten.

Herkunft	Kohlenstoff v. H.	Chrom v. H.	Wolfram v. H.	Vanadin v. H.	Molybdän v. H.	Mangan v. H.	Silizium v. H.	Spez. Gew.
Deutscher Elektroschnellstahl	0,57	4,55	14,54	—	—	0,40	0,21	8,56
Österr. Tiegelschnelldrehstahl	0,58	5,16	18,14	—	—	0,14	0,15	8,75
Englischer „	0,59	2,38	18,30	—	—	0,53	0,41	8,95
Österreichischer „	0,61	4,64	19,30	—	—	0,36	0,17	8,85
Englischer „	0,64	2,45	18,89	0,32	—	0,17	0,34	8,69
Englischer „	0,65	3,65	18,25	0,15	—	0,57	0,39	—
Deutscher „	0,65	4,77	17,39	—	—	0,11	0,22	8,48
Deutscher Elektroschnelldreh-	0,71	5,15	19,01	—	0,37	0,39	0,15	8,79
Deutscher „ [stahl	0,72	4,84	19,86	0,18	—	0,73	0,20	8,81
Deutscher Tiegelschnelldreh-	0,77	4,48	19,66	—	—	0,20	1,01	8,80
Englischer „ [stahl	0,77	5,81	18,97	0,14	0,05	0,38	0,34	—
Deutscher „	0,78	5,06	18,70	0,38	0,78	0,36	0,08	—
Deutscher „	0,81	4,61	18,51	—	—	0,29	0,26	—
Englischer „	0,81	3,89	21,45	—	—	0,48	0,47	—
Österreichischer „	0,87	6,44	24,12	—	—	0,24	0,11	—
Deutscher „	0,92	4,12	16,15	—	—	0,26	1,63	8,86

Aus dieser Zahlentafel ergibt sich, daß die gangbarsten Schnelldrehstahlsorten, weit über hundert im Handel vorkommende Marken, die man im wesentlichen alle als gleichwertig ansehen kann — auch die englischen Erzeugnisse übertreffen keineswegs die der übrigen Länder — durchschnittlich 0,5 bis 0,95 v. H. Kohlenstoff, 0,5 bis 6 v. H. Chrom, 14 bis 25 v. H. Wolfram, Silizium und Mangan in den üblichen, in gewöhnlichen Werkzeugstählen vorkommenden Mengen enthalten.

Über die mit etwa $3^1/_2$ bis $5^1/_2$ v. H. Kobalt legierten, kurz vor dem Kriege in den Handel gekommenen Chromwolframstähle, die man schlechthin als Kobaltstähle bezeichnet, gehen die Meinungen weit auseinander. Aus einer Arbeit von Schlesinger und den sich daran anschließenden Auseinandersetzungen verschiedener Stahlwerke ist der Schluß berechtigt, daß die Kobaltstähle hinsichtlich der Gütesteigerung der Schnelldrehstähle das weitgesteckte Ziel, das man sich von ihrer Leistungsfähigkeit und Überlegenheit gegenüber den anderen Schnelldrehstahlmarken versprach, nicht erreicht haben[1]). Auch bei diesen Stählen

[1]) Stahl und Eisen 1913.

sind in ihrer Handhabung so verschiedenartige Umstände zu berücksichtigen, daß man sie heute nicht ohne weiteres als das Endglied in der Kette der Entwicklung der Schnelldrehstähle bezeichnen kann. Jedenfalls sind noch eingehende Betriebsversuche mit diesen Stählen unter Zuhilfenahme schwerer Drehbänke notwendig, um ein sicheres Urteil über sie abgeben zu können[1]).

Schnelldrehstähle mit mehr als 28 bis 30 v. H. legierter Bestandteile sind nur sehr schwer schmiedbar, und hiermit verliert der Stahl seine für den Werkstättenbetrieb wertvollste Eigenschaft.

Auch diejenige Temperatur, bis zu welcher ein Schnelldrehstahl erhitzt werden kann, um den Höchstgrad von Rotgluthärte und Schneidfähigkeit zu erhalten, hängt ebenfalls bis zu einem gewissen Grade von der chemischen Zusammensetzung des Stahles ab. Die Veränderungen, die beim Erhitzen im Kleingefüge hervorgerufen werden, sind für die Beurteilung eines Schnelldrehstahls gleichfalls von großer Wichtigkeit.

Wie bei den einfachen Kohlenstoffstählen auseinandergesetzt wurde, ist es möglich, aus dem Aussehen des Kleingefüges eines Stahls auf die stattgefundene Wärmebehandlung, insbesondere auf die Härtung desselben, Rückschlüsse zu ziehen. Für komplexere, d. h. außer Kohlenstoff ein oder mehrere den Stahlcharakter bestimmende Elemente enthaltende Stähle (Ternär- und Quaternärstähle) ist es schon schwieriger, das Aussehen des Kleingefüges als Kennzeichen für die stattgefundene Wärmebehandlung anzusehen. Insbesondere bei den Schnelldrehstählen schienen der Erforschung des Kleingefüges und den sich hieraus ergebenden Folgerungen auf die im Stahl bei der Erwärmung und Abkühlung auftretenden Vorgänge ungeahnte Schwierigkeiten

[1]) Für eine unschmiedbare, aus Amerika stammende Legierung mit meist 10 × 10 mm Querschnitt und gewöhnlich 50 v. H. Kobalt, 25 v. H. Chrom, 15 v. H. Wolfram, 7,5 v. H. Molybdän, 2,5 v. H. Eisen wird unter dem Namen Stellit wieder die Werbetrommel gerührt. Diese Legierung soll sich in gegossenem Zustande als Schneidewerkzeug eignen, so daß jede Wärmebehandlung überflüssig ist. Weitgehende Versuche mit dieser spröden Legierung sind anscheinend infolge des Krieges unterblieben. Nach neuesten Versuchen in Amerika soll sogar Stellit den besten Schnelldrehstählen überlegen sein. Vgl. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1914, S. 1047; Stahl und Eisen 1920, S. 826; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1919, S. 131; 1920, S. 355; 1921, S. 1101 und Zeitschrift für Metallkunde 1921, S. 435; Stahl und Eisen 1921, S. 347 und Der Betrieb 1921, S. 89.

entgegenzustehen. Indessen liegen hier die Verhältnisse einfacher, als man allgemein anzunehmen geneigt ist.

Man weiß, daß bei einfachen Kohlenstoffstählen die Lage der Haltepunkte (Umwandlungspunkte), d. h. der Temperaturen

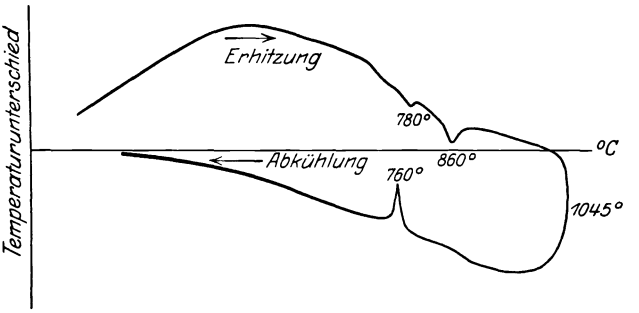


Abb. 145. Haltepunktskurve eines österreichischen Schnelldrehstahls mit 0,87 v. H. Kohlenstoff, 24,13 v. H. Wolfram und 6,44 v. H. Chrom. $^1/_2$ nat. Größe.

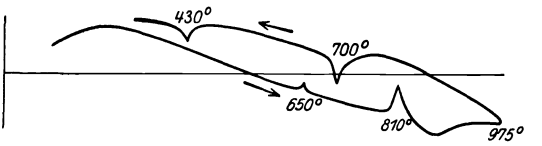


Abb. 146. Haltepunktskurve eines englischen Schnelldrehstahls. $^1/_2$ nat. Größe.

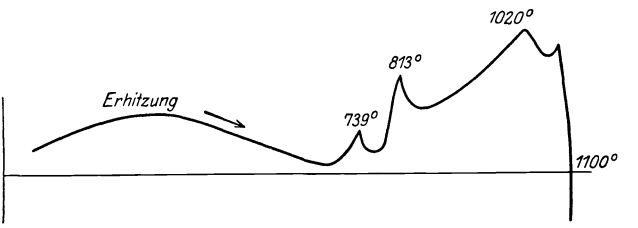


Abb. 147. Erhitzungskurve eines englischen Schnelldrehstahls mit 0,64 v. H. Kohlenstoff, 18,89 v. H. Wolfram und 2,45 v. H. Chrom. $^1/_2$ nat. Größe.

(Umwandlungstemperaturen), bei denen physikalische Veränderungen im Stahl eintreten, durch den Kohlenstoffgehalt beeinflußt werden. Die gewöhnlichen Kohlenstoffwerkzeugstähle, die in der Regel 0,6 bis 1,7 v. H. Kohlenstoff enthalten, machen nach

den früheren Ausführungen bei der Erhitzung eine Umwandlung bei ungefähr 720° C, bei der Abkühlung eine solche bei ungefähr 680° C durch. Bei diesen Temperaturen geht der Perlit, das eutektische Gemenge von Eisen und Eisenkarbid (Ferrit und Zementit), in die feste Lösung über (s. S. 23). Bei den Schnelldrehstählen findet man die Haltepunkte nicht bei diesen Temperaturen, sondern sie erfahren eine Verschiebung, und zwar so, daß Chrom eine erhöhende, Wolfram im allgemeinen eine erniedrigende Wirkung ausübt. Die Umwandlungsverhältnisse liegen bei den Schnelldrehstählen noch insofern ungünstiger, als die Lage der Haltepunkte bei der Abkühlung von der Höhe der vorausgegangenen Erhitzung (Ausgangsheiztemperatur, Initialtemperatur) abhängig ist, was ganz besonders bei Wolframstählen beobachtet wurde. Aber nicht nur die Ausgangsheiztemperatur, sondern auch die Abkühlungsgeschwindigkeit ist von Einfluß auf das Eintreten der Umwandlungstemperaturen, auch pflegt in der Regel eine Spaltung der Haltepunkte einzutreten. Aus den in den Abb. 145 bis 147 wiedergegebenen Haltepunktskurven verschiedener Schnelldrehstähle, die ebenfalls mit dem Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin erhalten wurden und daher mit der in Abb. 20 dargestellten Haltepunktskurve eines einfachen Werkzeugstahls verglichen werden können, ist zunächst zu ersehen, daß bei der Erhitzung eine Umwandlung in höheren Temperaturen stattfindet als bei gewöhnlichen Kohlenstoffwerkzeugstählen und daß bei der Abkühlung die Rückumwandlung ebenfalls in tieferen Zonen erfolgt.

Es hat sich ergeben, daß im allgemeinen der Haltepunkt bei der Abkühlung um so näher bei dem Haltepunkt der Erwärmungskurve liegt, je weniger hoch der Stahl über diesen Punkt erhitzt wird.

Abb. 145 gibt die Erhitzungs- und Abkühlungskurve eines österreichischen Schnelldrehstahls mit 0,87 v. H. Kohlenstoff, 6,44 v. H. Chrom und 24,13 v. H. Wolfram wieder. In dieser Kurve fallen in dem aufsteigenden Ast zwei Knickpunkte auf. Da nach den früheren Darlegungen bei reinen Kohlenstoffstählen von 0,6 bis 1,7 v. H. Kohlenstoff alle Haltepunkte in einem einzigen zusammenfallen und die untersuchten Schnelldrehstähle in diesem Abschnitt rund 0,57 bis 0,92 v. H. Kohlenstoff enthalten, so folgt hieraus, daß der Kohlenstoff nicht allein den bestimmenden Einfluß auf den Stahlcharakter ausüben kann, weil sonst nur je ein Knickpunkt in der Erhitzungs- und Abkühlungskurve hätte auftreten müssen.

Es fragt sich nun, worauf die Zweiteilung des Haltepunktes in dieser Erhitzungskurve und sowohl die Zweiteilung des Haltepunktes im Stahl der Abb. 146 und die Mehrteilung des Haltepunktes des Stahls in Abb. 147 zurückzuführen ist. Untersuchungen an Wolfram- und Chromstählen haben gezeigt, daß sowohl der Wolfram- als auch der Chromgehalt eine Zersplitterung der Haltepunkte hervorruft[1]). Insbesondere begünstigt Wolfram die Zersplitterung dieser Punkte, was ganz besonders aus den Abkühlungskurven von Wolframstählen zu ersehen ist. Je höher die Ausgangsheiztemperatur des Probestückes ist, um so deutlicher tritt diese Zersplitterung in der Abkühlungskurve ein, und es gibt Wolframstähle, die in der Abkühlungskurve ebenfalls drei Knickpunkte zeigen. Diese Tatsache ist sicherlich darauf begründet, daß bei der starken Erhitzung die ursprünglichen Gefügebestandteile des Stahls eine so weitgehende Änderung durchgemacht haben, daß beim Eintritt der den Haltepunkt kennzeichnenden Temperatur diese Gefügebestandteile nicht genügend Zeit haben, sich in ihre ursprüngliche Form zurückzuverwandeln und daß daher scheinbar mehrere Haltepunkte auftreten. Man kann daher Osmond recht geben, der sagt, daß die Spaltung der Haltepunkte auf Konzentrationsverschiedenheiten in der Probe, wie dies bei Molybdänstählen der Fall ist, zurückzuführen sind.

Die Richtigkeit dieser Ansicht über das Auftreten mehrerer Knickpunkte in der Abkühlungskurve der Wolframstähle wird auch durch Untersuchungen an Schnelldrehstählen bestätigt. Es ist hiernach einleuchtend, daß bei der hohen Ausgangsheiztemperatur von 1100° C die vereinigten Elemente Chrom und Wolfram erst recht eine Zersplitterung der Haltepunkte hervorrufen müssen, weil jedem der beiden Elemente Chrom und Wolfram ein bestimmender Einfluß auf die Haltepunkte, wie oben erwähnt, zukommt.

Man wird also sagen können, daß nach Abb. 145 die molekulare Umwandlung dieses Schnelldrehstahls während der Erhitzung bei 780° C begonnen und erst bei 860° C ihr Ende erreicht hat, während die Rückumwandlung bei 760° C einsetzt und bei einer tieferen Temperatur aufhört. Auch diese höhere Temperatur in der Lage des Haltepunktes bei der Erhitzungskurve bei Chrom-

[1]) Böhler, Wolfram- und Rapidstahl. Wien 1904.

und Wolframstählen ist ein Beweis dafür, daß der Haltepunkt bei diesen Stählen durch den Chrom- bzw. Wolframgehalt mehr beeinflußt wird als durch Kohlenstoff allein. Dieses Ergebnis steht auch mit einer ähnlichen Beobachtung von Böhler in Einklang, der bei einem Stahl mit 0,8 v. H. Kohlenstoff und 12 v. H. Wolfram einen Haltepunkt in der Erhitzungskurve bei 700° C fand.

In entsprechender Höhe liegen auch die Haltepunkte bei den zwei weiteren Schnelldrehstählen, deren Temperaturkurven die Abb. 146 und 147 wiedergeben. In Abb. 146 beobachtet man ausgesprochene Haltepunkte in dem ansteigenden Ast bei 650 und 810° C, in dem absteigenden bei 700 und 430° C. Recht deutlich sind auch die Haltepunkte in der Erhitzungskurve des Stahls in Abb. 147 erkennbar, bei dem ebenfalls eine Dreiteilung des Kaleszenspunktes eingetreten ist.

Im allgemeinen beträgt der Temperaturbereich, in dem die Umwandlungen vor sich gehen, bei den in diesem Abschnitt untersuchten Schnelldrehstählen durchschnittlich 100° C. Wenn man bedenkt, daß an der Umwandlung in erster Linie Chrom und Wolfram bzw. ihre komplexen Eisen- und Kohlenstoffverbindungen in erhöhtem Maße teilnehmen, die gegenüber jeglichen Wärmeeinflüssen außerordentlich träge sind, so ist es klar, daß diese sich gegenseitig bei der Entstehung des Haltepunktes noch mehr behindern müssen als die reinen Wolfram- bzw. Chromstähle und daher nicht dem verhältnismäßig schnellen Ansteigen und Abfallen der Versuchstemperatur zu folgen vermögen, wodurch auch das Auftreten des tiefen Haltepunktes bei 430° C in Abb. 146 und des hohen Haltepunktes bei 1020° C in Abb. 147 zu erklären ist. Wäre es möglich, die Erhitzung und Abkühlung bei den besprochenen Temperaturen innerhalb mehrerer Stunden nur um einige Grade zu verändern, und würde man die Versuchstemperatur nicht über 900° C steigern, so dürfte sicherlich eine schärfere Ausprägung der Haltepunkte eintreten, als dies aus der Abb. 147 ersichtlich ist. Jedenfalls zeigen die Abb. 145 und 146, daß es sehr wohl möglich ist, scharf ausgeprägte Haltepunkte bei Schnelldrehstählen zu erzielen.

Wenn man daher aus der Lage der Haltepunkte bei Schnelldrehstählen nicht ohne weiteres einen so klaren Einblick in deren inneres Wesen erhält wie bei den Kohlenstoffstählen, so weiß man doch nach den früheren Ausführungen, daß Schnelldrehstahl, wenn er aus einer Temperatur von 900° C in Luft, Öl oder Talg

abgeschreckt wird, eine hohe Härte annimmt. Erst bei dieser Temperatur tritt bei den gewöhnlichen Schnelldrehstählen, aber auch bei Chromwolframstählen mit mittlerem Wolframgehalt (etwa 0,5 v. H. Kohlenstoff, 10 v. H. Wolfram und 4 v. H. Chrom), die auch heute noch zuweilen für den Schnellbetrieb benutzt werden, die Wirkung der Abschreckung auf. Niedrigere Abschreckhitzen liefern keine die Naturhärte sehr wesentlich übersteigende Härte. Es brauchen daher nicht alle Werkzeuge aus Schnelldrehstahl bei 1200 bis 1300° C, wie es meist geschieht, gehärtet zu werden, sondern die Härtungstemperatur richtet sich im allgemeinen nach der Art des Schneidwerkzeuges. Für Reibahlen, Gewindebohrer usw. genügt eine Härtungstemperatur von 1000° C, dagegen müssen Drehmesser und ähnliche Werkzeuge bei höherer Temperatur gehärtet werden. Die folgende Zahlentafel gibt einige zweckmäßige Härtungstemperaturen für verschiedene Werkzeuge aus Schnelldrehstahl an, wie sie zur Zeit benutzt werden (vgl. S. 209).

	Härtungstemperatur
Gewindebohrer, Reibahlen, Spiralbohrer in mittleren Stärken	900— 950° C
Dieselben Werkzeuge in größeren Stärken	950—1000° C
Fräser, Schnitte	1000—1100° C
Stempel	1100—1200° C
Drehmesser	1250—1300° C

Diese Temperaturen sollen jedoch keineswegs bindend für die Härtung der Schnelldrehstähle sein. Es sprechen hier noch andere Materialeigenschaften und sonstige Umstände mit und es empfiehlt sich bei der Herstellung größerer Mengen von Werkzeugen aus Schnelldrehstahl, wenn die Werkzeuge demselben Zwecke dienen sollen, zunächst durch Versuche die geeignetsten Wärmegrade für das Härten herauszufinden, zumal, wie oben bereits ausgeführt wurde, außer den erwähnten Bestandteilen in den Schnelldrehstählen verschiedener Stahlwerke mitunter noch andere kleinere oder größere, gewollte oder ungewollte Beimengungen, wie Vanadin (0,1 bis 1,3 v. H.), Molybdän (bis 0,8 v. H.), Kobalt ($3^1/_2$ bis $5^1/_2$ v. H.) und andere vorkommen können, die in der Regel eine Änderung der Härtungstemperatur verlangen.

Lassen sich also aus der Haltepunktskurve immerhin wichtige Schlüsse auf die allgemeine Wärmebehandlung (Schmieden, Glühen, Härten) ziehen, so reicht sie doch nicht für die weitere Beurteilung des Schnelldrehstahls aus, wenn ihre Deutung nicht durch eine genaue Kenntnis seines Gefügeaufbaues ergänzt wird. Ohne genaue Kenntnis der Gefügebeschaffenheit lassen sich dessen Wert und Eigenschaften nicht einwandfrei beurteilen, deren Aufdeckung durch metallographische Untersuchungen Hand in Hand mit den praktischen Betriebsversuchen gehen müssen.

An einer Reihe von Kleingefügebildern lassen sich die Veränderungen im Aufbau der Schnelldrehstähle am besten verfolgen [1]). Die Ätzung der entsprechenden Schliffe geschah zum Teil mit alkoholischer Pikrinsäure (4 : 100), zum Teil mit alkoholischer Salpetersäure (4 : 100), auch alkoholische Salzsäure (1 : 100) ist als Ätzmittel gut brauchbar. Es konnte die Eigentümlichkeit beobachtet werden, daß für gehärtete Proben aus Schnelldrehstahl, der im elektrischen Ofen erschmolzen war, im Gegensatz zu solchem aus dem Tiegel Pikrinsäure wenig brauchbar war, dagegen leistet alkoholische Salpetersäure hier gute Dienste. Die Art des Härtungsmittels ist für die Aufdeckung des Gefüges gleichgültig.

Ein ausgeglühter Schnelldrehstahl weist ein äußerst feines perlitisches Gefüge auf (Abb. 148), das auch bei starker Vergrößerung nur schwer auflösbar ist (Abb. 149). Auch Härtungstemperaturen von 800 bis 1000° C verändern das Gefüge nicht durchgreifend, da es bei diesen Temperaturen bereits unverrückbar festgelegt ist.

In diesem Wärmebereich ähnelt daher auch das Kleingefüge dem der ausgeglühten Stähle, das karbidisch und martensitisch ist bzw. den troostitischen Zwischenstufen zugesprochen werden muß. Eine deutliche Gefügeänderung, wie dies bei reinen Kohlenstoffstählen nach Überschreitung der kritischen Temperatur (Haltepunkt) eintritt, ist bei Schnelldrehstählen trotz stärkster Vergrößerung nicht scharf zu erkennen. Ein solches Gefüge kann man als ultramikroskopisch bezeichnen, da es durch das Mikroskop nicht auflösbar ist. Hieraus ist zu schließen, daß die Bestandteile dieser Stähle gegenüber thermischen Einflüssen außerordentlich träge sind und sich ebenso, wie bei der Erklärung der

[1]) Vgl. Schäfer, Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb 1913, S. 481 und 491.

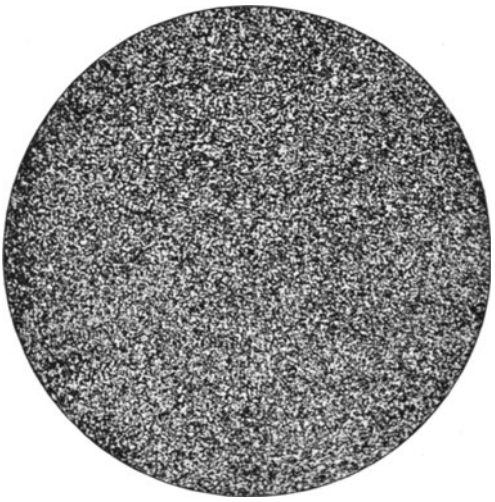


Abb. 148. Ausgeglühter englischer Schnelldrehstahl mit 0,59 v. H. Kohlenstoff, 18,30 v. H. Wolfram und 2,38 v. H. Chrom.
V = 200.

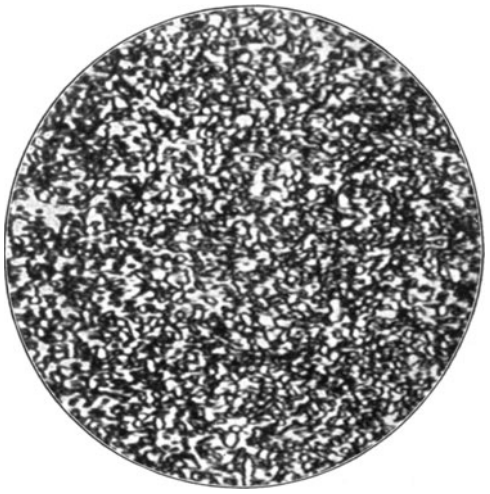


Abb. 149. Wie Abb. 148.
V = 600.

Haltepunkte dargetan wurde, gegenseitig stark beeinflussen. Daß aber in der Tat eine Veränderung des Gefüges bei Temperaturen gegen 900° C eintritt, geht unter anderem daraus hervor, daß die bei dieser Temperatur behandelten Proben der Einwirkung des Ätzmittels außerordentlich großen Widerstand entgegensetzen. Erst nach mehrstündigem Ätzen kann das Gefüge bloßgelegt werden, im Gegensatz zu den oberhalb und unterhalb

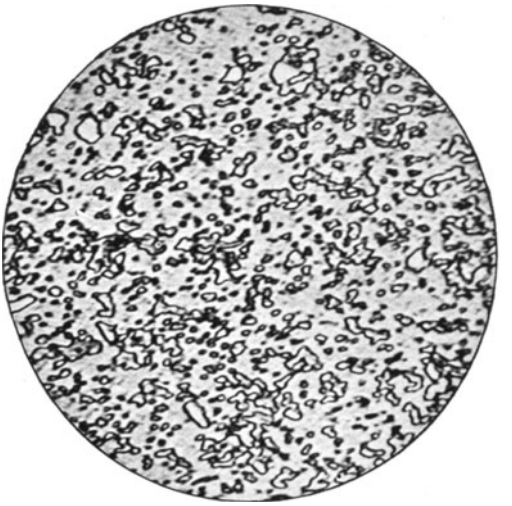


Abb. 150. Schnelldrehstahl bei 1050° C in Talg gehärtet. V = 600.

dieser Temperatur behandelten Proben, die bereits nach wenigen Minuten ihren Aufbau zeigten.

Verschiedenheiten im Gefüge bei gleicher Härtungstemperatur, aber bei verschiedenen Abschreckmitteln, sind zumeist darauf zurückzuführen, daß die Stähle nicht gleichmäßig lange bei derselben Temperatur belassen wurden. Eine zu lange Aussetzung des Stahls bei derselben Härtungstemperatur macht ihn abgestanden. Ein solcher Stahl ist im Gefüge vielfach an schwarzen Flecken, die vielleicht Einsprenglinge von Temperkohle sein können, erkenntlich [1]). Der Stahl ist also mehr oder weniger verdorben. Ein ganz anderes Aussehen zeigt ein gehärteter Stahl. Diese

[1]) Stahl und Eisen 1913, S. 1196.



Abb. 151. Gefüge eines gehärteten Schruppers aus Schnelldrehstahl.
V = 200.



Abb. 152. Wie Abb. 151.
V = 600.

Veränderung im Gefüge geht schnell bei Temperaturen von ungefähr 1100 bis 1300° C vor sich, und es wird angenommen, daß sie mit der Bildung einer Doppelverbindung von Chrom und Wolfram mit dem Kohlenstoff unter Bildung eines Doppelkarbides zusammenhängt, das in dem Eisen gelöst ist. Aus diesem Grunde rechnet man die Schnelldrehstähle auch zu den sog. Doppelkarbidstählen. Die Ermittlung der genauen Zusammensetzung dieses Karbids ist noch nicht gelungen. Vielfache Versuche in dieser Richtung ergaben noch nicht die gewünschte Klärung. In den Abb. 150, 151 und 152 sind die hellen Karbidkörner leicht zu erkennen, welche in Schnelldrehstählen auftraten, die bei 1050° C bzw. 1200° C gehärtet waren. Abb. 151 entstammt der Schneide eines Schruppers, der auch bei beschleunigter Dreharbeit vorzüglich „stand", obgleich die Schneide stark angelaufen und etwas abgestumpft war, ein Zeichen, daß bei der Dreharbeit eine hohe Temperatur vorhanden gewesen ist. Nach dem Nachschleifen war die Schneide wieder gebrauchsfähig. Ein angelaufener Kohlenstoffstahl hätte wieder ausgeglüht, geschmiedet und von neuem gehärtet werden müssen. Das Gefüge dieses Schruppers ähnelt demjenigen von gehärteten und bis nahe an den Perlitpunkt (ungefähr 650° C) wiedererhitzten (angelassenen) Kohlenstoffstählen mit körnigem Perlit, die im gehärteten Zustande nur Martensit aufweisen. Gerade diese regelmäßig in der Grundmasse eingelagerten harten Körner geben dem Werkzeug die beste Schneidfähigkeit, wie dies bereits bei Kohlenstoffstählen (S. 43) auseinandergesetzt wurde. Abb. 152 stellt das Gefüge der Schneide des Schruppers in stärkerer Vergrößerung dar.

Zur Bildung des beschriebenen Karbidgefüges wird natürlich Zeit gebraucht, und es ist klar, daß nicht allein die Temperatur, sondern auch die Zeit, während welcher die gegebene Temperatur auf den Stahl einwirkt, ein wichtiger Umstand für die ausgeprägte Entstehung eines körnigen Karbidgefüges ist.

Die Karbide durchziehen des öfteren in perlenschnur- oder netzförmigen Anordnungen — zueinander parallel laufend oder sich in Winkeln von ungefähr 60 oder 120° schneidend — das Werkzeug, wie aus den Abb. 153 und 154 hervorgeht, die von einem nicht wirtschaftlich arbeitenden Zahnradfräser stammen, dessen Schneidfläche Abb. 153 wiedergibt. Es ist einleuchtend, daß infolge der überaus hohen Beanspruchung dieses Werkzeug dem Druck auf der Fräsmaschine nicht genügend standhielt

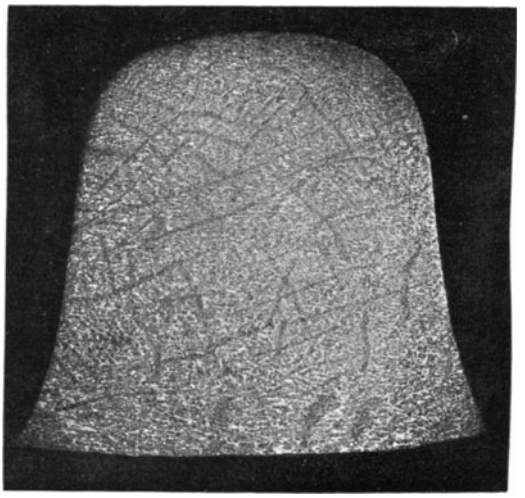


Abb. 153. Schneidfläche eines Zahnes von einem gehärteten Zahnradfräser aus Schnelldrehstahl.
V = 5.



Abb. 154. Zu Abb. 153. Gefüge des Zahnes.
V = 200.

und infolgedessen frühzeitig abbrechen mußte, da dem Drucke die Stelle gewiesen wurde, wo er sich in der das Material lockernden spröden Karbidschnur ausladen konnte. Ebenfalls von kurzer Lebensdauer war ein Schnitt aus Schnelldrehstahl, der das in Abb. 158 dargestellte Gefüge aufwies. Die hellen konzentrisch verlaufenden Streifen sind ebenfalls zusammenhängende Karbideinlagerungen. In schwachen Resten sind noch Karbidschnüre in Abb. 159 sichtbar.

Vielfach deutet schon das Bruchgefüge eines Werkzeuges auf starke Karbidanhäufungen hin. Es ist von bröckligem Aus-



Abb. 155. Gefüge eines gehärteten Walzenfräsers aus Schnelldrehstahl. V = 200.

sehen, während z. B. das Grobgefüge der in Abb. 144 wiedergegebenen Reibahle das charakteristische muschelige Aussehen eines mit Karbiden gleichmäßig durchsetzten Stahles hat. Auch aus den Abb. 156 und 157 kann man ohne weiteres schließen, daß der betreffende Fräser keineswegs eine solche Beschaffenheit besitzt, um aus ihm den größten Nutzen herauszuholen. Ein weiteres Beispiel!

Ein großer hinterdrehter Walzenfräser, der nach dem Härten mit starken Rissen behaftet war, zerfiel nach verhältnismäßig leichtem Schlag in mehrere Stücke. Auch hier sind in der Schneide (Abb. 155) sowie im ganzen Stück verschieden starke und ungleich-

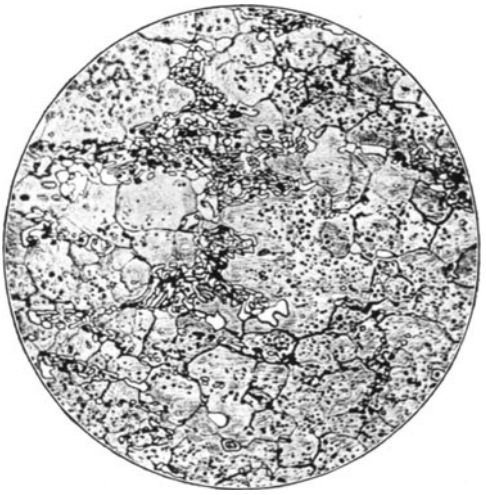


Abb. 156. Gefüge eines gehärteten Fräsers (Schneide) aus Schnelldrehstahl.
V = 200.

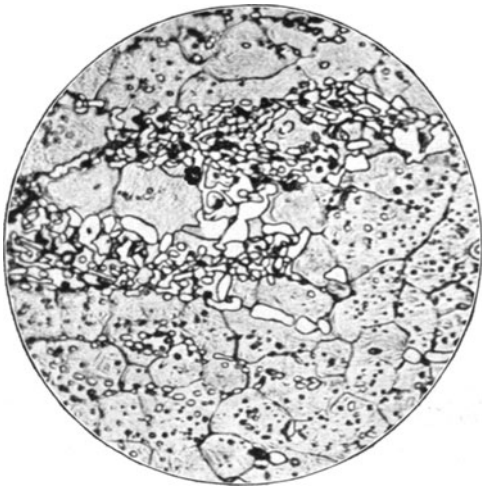


Abb. 157. Wie Abb. 156.
V = 600.

mäßig auftretende Karbidstreifen sichtbar, die sicherlich den Anstoß für den schlechten Ausfall des Fräsers gegeben haben. Die Frage, ob bereits das Walzerzeugnis, aus dem dieser Fräser gefertigt wurde, von ungleichmäßiger Beschaffenheit war oder ob sie sich erst während der hohen Erhitzung des Fräsers zum Zwecke der Härtung einstellte, muß dahin beantwortet werden, daß das angelieferte Material nach einer eingehenden Untersuchung bereits von ungleichmäßiger Beschaffenheit gewesen ist und daß die Karbidanreicherungen die eigentümlich langgestreckte Form durch das Auswalzen erhalten haben müssen, weil auch fremdartige Einschlüsse (s. Abb. 59) diese langgestreckte Form hatten, die auch bei sehr hoher und langer Erhitzung des Stahls zum Zwecke des Glühens (1100 bis 1200° C) ihre Lage und Beschaffenheit nicht ändern.



Abb. 158. Gefüge eines Schnittes aus Schnelldrehstahl von kurzer Lebensdauer. V = 5.

Die Ungleichmäßigkeit des gelieferten Stahls wird sich natürlich erst recht im gehärteten Stahl bemerkbar machen, weil trotz der hohen Härtungshitze die kleinsten Teile nicht so beweglich sind, um sich schnell aufzulösen bzw. zu teilen, so daß schließlich selbst bei sorgfältigst durchgeführter Härtung die beobachtete Erscheinung, Zerfall des soeben gehärteten Werkzeuges infolge von Rißbildungen im Rohstahl in Richtung der Karbidanreicherungen bei leichten Schlägen, eintreten muß.

Selbst wenn diese Fehler nicht, wie in dem angeführten Beispiel, sofort nach dem Härten in die Erscheinung treten, so machen sie sich doch später nach kurzem Gebrauch des Werkzeuges bemerkbar, und man ist stets geneigt anzunehmen, daß Fehler in der Härterei gemacht worden sind. Nur durch anhaltendes Ausschmieden des vorsichtig und in allen Teilen gleichmäßig erhitzten Rohstahls kann die Ungleichmäßigkeit des Gefüges beseitigt, die Zertrümmerung der Karbidseigerungen, die bereits dem gegossenen Blocke eigentümlich sind, herbeigeführt werden.

Ein weiterer Beweis für die Fehlerhaftigkeit von Stangenmaterial aus Schnelldrehstahl bildet die Tatsache, daß besonders

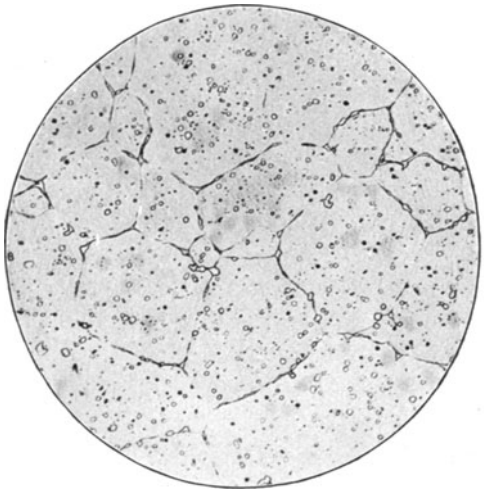


Abb. 159. Bei 1300° C gehärteter Schnelldrehstahl mit 0,65 v. H. Kohlenstoff, 17,39 v. H. Wolfram und 4,77 v. H. Chrom.
V = 200.

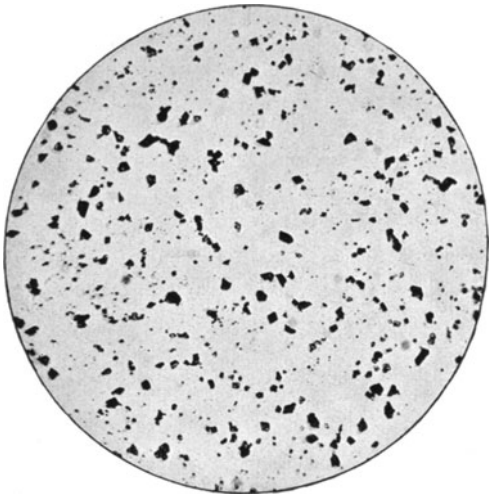


Abb. 160. Bei 1300° C gehärteter Schnelldrehstahl mit 0,92 v. H. Kohlenstoff, 16,15 v. H. Wolfram und 4,12 v. H. Chrom. Mit heißer Natriumpikratlösung geätzt.
V = 200.

bei profiliertem Material (z. B. Dreikantstahl für Fräsköpfe) längs der Kante, zuweilen in der Mitte, Risse auftreten, die mitunter mit bloßem Auge sichtbar sind und die im Walzbetriebe entstanden sind. Beim Härten von Werkzeugen aus solchen Stangen werden natürlich diese Risse größer und stellen die Brauchbarkeit des Werkzeuges vollständig in Frage.

Die Karbidkörner färben sich, wie der Zementit bei einfachen Kohlenstoffstählen, in einer heißen Lösung von Natriumpikrat dunkel (Abb. 160). Nach Angaben von Fettweiß [1]), der wohl zuerst nach eingehenden Versuchen auf die Gleichartigkeit zwischen übereutektischen Kohlenstoffstählen und Chromwolframstählen hingewiesen hat — Osmond hatte schon früher eine solche Vermutung ausgesprochen — kann angenommen werden, daß die Karbide in gehärteten Chromwolframstählen einem dem Ledeburit der Eisenkohlenstofflegierungen entsprechenden Eutektikum (s. S. 42) entstammen. Trotz des geringen Kohlenstoffgehaltes in Schnelldrehstählen von 0,5 bis 0,95 v. H. wird nach Fettweiß durch den hohen Chrom- und Wolframgehalt die „Konzentration an Karbid der aus dem Schmelzfluß ausgeschiedenen Mischkristalle so weit heruntergerückt, daß schon bei einigen Zehntel Prozent Kohlenstoff Eutektikum auftritt". Dieser Ledeburit verschwindet schon zumeist bei einer Erwärmung des Stahls von etwa 1200° C, d. h. er hat sich in der Grundmasse aufgelöst. Ein schönes, dem Ledeburit ähnliches Eutektikum ist in dem Gefüge eines Fräserzahns sichtbar (Abb. 154).

Als Beweis dafür, daß schon bei geringem Kohlenstoffgehalt der eutektische Punkt (Perlitpunkt) auftritt, mögen die Abb. 161 und 162 dienen, die zu einem Schnelldrehstahl mit 0,87 v. H. Kohlenstoff gehören. In Abb. 161 sieht man bereits in dem ausgeglühten Stahl helle Einsprenglinge, die nicht etwa ein Chromwolframferrit, sondern ein Chromwolframkarbid darstellen, färben sie sich doch ebenfalls in einer Natriumpikratlösung dunkel (Abb. 162). Der Stahl in Abb. 161 mit 0,87 v. H. Kohlenstoff zeigt einen wesentlichen Unterschied mit dem in Abb. 148 wiedergegebenen Stahl, der nur 0,59 v. H. Kohlenstoff enthält. Aus einem Vergleich dieser beiden Abbildungen folgt mithin ohne weiteres, daß der Perlitpunkt bei Schnelldrehstählen ähnlich wie bei den einfachen Chrom- und Wolframstählen mit abnehmendem Kohlenstoffgehalt und

[1]) Stahl und Eisen 1912, S. 1816.

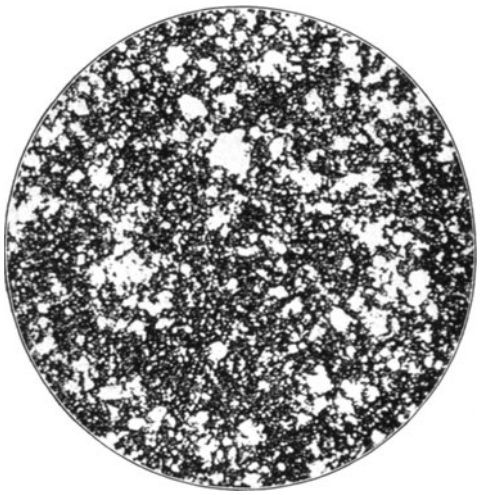


Abb. 161. Ausgeglühter österreichischer Schnelldrehstahl mit 0,87 v. H. Kohlenstoff, 24,12 v. H. Wolfram und 6,44 v. H. Chrom. V = 200.

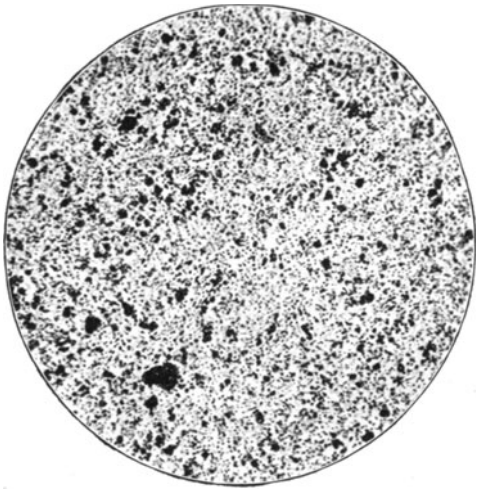


Abb. 162. Wie Abb. 161. Mit Natriumpikrat geätzt. V = 200.



Abb. 163. Gefüge der Schneide eines gehärteten Fräsers aus Schnelldrehstahl. V = 400.

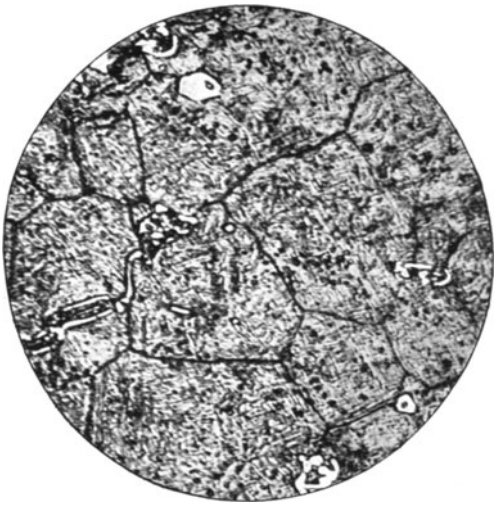


Abb. 164. Gefüge der Schneide eines gehärteten Fräsers aus Schnelldrehstahl. V = 400.

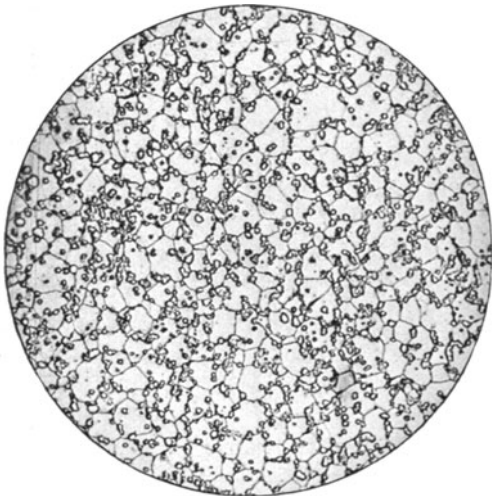


Abb. 165. Bei 1250° C gehärteter englischer Schnelldrehstahl mit 0,64 v. H. Kohlenstoff, 18,89 v. H. Wolfram, 2,45 v. H. Chrom und 0,11 v. H. Vanadin. V = 200.



Abb. 166. Bei 1250° C gehärteter Schnelldrehstahl mit 0,65 v. H. Kohlenstoff, 17,39 v. H. Wolfram und 4,77 v. H. Chrom. V = 200.



Abb. 167. Bei 1300° C gehärteter Schnelldrehstahl mit 0,77 v. H. Kohlenstoff, 19,66 v. H. Wolfram und 4,48 v. H. Chrom. V = 200.

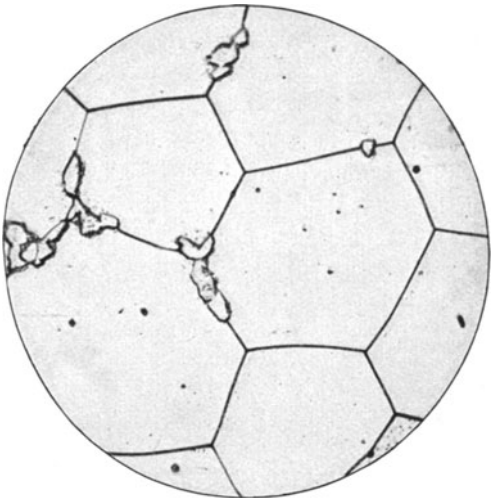


Abb. 168. Bei 1250° C gehärteter deutscher Elektro-Schnelldrehstahl mit 0,57 v. H. Kohlenstoff, 14,54 v. H. Wolfram und 4,55 v. H. Chrom. V = 200.

zunehmendem Chrom- bzw. Wolframgehalt bei etwa 0,5 bis 0,6 v. H. Kohlenstoff liegt, der bei Kohlenstoffwerkzeugstählen erst bei rund 1 v. H. Kohlenstoff vorhanden ist.

Es ist einleuchtend, daß das im Stahl der Abb. 161 sichtbare Chromwolframkarbid nicht mit dem in gehärteten Stählen auftretenden Karbid, wie es z. B. der körnige Zementit darstellt, gleichbedeutend ist. Dieses Chromwolframkarbid wird eine andere Zusammensetzung haben, was schon daraus hervorgeht, daß ausgeglühte Stähle mit diesem Karbid von der Feile leicht angegriffen werden, während gehärtete Stähle durch dieses Werkzeug unangreifbar sind.

In den Abb. 163 und 164 ist noch das Gefüge der Schneide von gehärteten Fräsern aus Schnelldrehstahl wiedergegeben, die nur eine verhältnismäßig geringe Leistungsfähigkeit besaßen. Das Gefüge dieser Fräser ist wesentlich verschieden von den in Abb. 151 und 152 dargestellten Gefüge eines vorzüglich arbeitenden Schruppers.

Je höher die Temperatur steigt, um so mehr verschwinden (lösen sich) bei einigen Schnelldrehstählen die Karbidkörner, wie dies auch bei den übereutektischen Kohlenstoffstählen (mit über 1 v. H. Kohlenstoff) der noch ungelöste Zementit bei Temperaturen über 900° C tut. Es erscheint ein polyederförmiges Gefüge, das fein (Abb. 165, 166 und 167) oder grob (Abb. 168) sein kann.

Dieses Gefüge sieht dem Austenit der Kohlenstoffstähle sehr ähnlich (Abb. 33). Es wurde bisher von den Fachleuten angenommen, daß das Polyedergefüge das Merkmal eines gut gehärteten Schnelldrehstahls ist. Dies ist jedoch nicht der Fall, denn der Stahl ist in diesem Zustande verhältnismäßig weich und daher als erstklassiges Schneidwerkzeug nicht anzusprechen. In Abb. 169 ist die polyederförmige austenitische Grundmasse durch einen Schleifriß leicht geritzt worden, während die harten Karbidkörner unberührt geblieben sind. In Abb. 170 sind Polyeder- und reines Karbidgefüge scharf voneinander getrennt.

Das Polyeder- oder Austenitgefüge tritt zuerst an der Oberfläche des Stahls auf und bildet hier die sog. „weiche Haut" oder „weiche Schicht" (Abb. 171 und 172), die bei Verwendung aller Härteöfen beobachtet wird, ob dieselben mit einem Salzbad oder ohne ein solches arbeiten. Ein geübter Härter kann gewöhnlich schon mit einer Feile diese weiche Haut feststellen.

Nach dem Innern zu ist das feinkörnige Karbidgefüge vorhanden (Abb. 173). Für Drehmesser ist diese weiche Haut ohne Belang, weil dieselbe nach kurzem Gebrauch desselben verschwindet, für Werkzeuge, z. B. Fräser, bedeutet die weiche Haut jedoch zumeist ein vollständiges Versagen des Werkzeuges.

Je kälter das Werkzeug beim Härten im Kern geblieben ist oder je größere Abmessungen es besitzt (große Walzenfräser usw.), um so längere Zeit wird es gebrauchen, um bei der betreffenden Temperatur, wenn dieselbe überhaupt noch ausreichend ist, den gewünschten Gefügebestandteil zu ergeben. Je heißer der Stahl wird, um so schneller wird die Umwandlung in das gewünschte Gefüge erfolgen. Wenn also bei einer Temperatur von 1200° C die ausgeprägte Umwandlung der Karbidkörner in das Polyedergefüge einsetzt, so ist damit nicht gesagt, daß nach längerer Erhitzung bei niedrigerer Temperatur etwa bei 1150 oder 1125° C nicht schon die Umwandlung erzielt oder die Lösung der Karbidkörner erfolgt ist. Nur wird bei dieser niedrigeren Temperatur diese Lösung erheblich längere Zeit gebrauchen, als sie bei 1200° C beansprucht. Wenn nun bei 1200° C die weiche Haut auftritt, so liegt der Gedanke nahe, daß dieselbe den Beginn einer anderen Gefügeänderung des Stahls einleitet, die etwa bei 1200° C einsetzt und bei genügend langer Zeit den Stahl in ein Gefüge verwandelt, das demjenigen der weichen Haut entspricht. Infolge des frühzeitigen Auftretens der weichen Haut muß aus diesem Grunde die Härtung von Werkzeugen aus Schnelldrehstahl so vonstatten gehen, daß z. B. Fräser, die auf eine genaue Form gearbeitet sind, bei niedrigerer Temperatur als 1200° C, etwa bei 1150 oder 1125° C, längere Zeit in Härteofen verbleiben, während bei gewöhnlichen Drehstählen (Schruppern usw.) nur eine kurze Zeit bei höherer Temperatur (etwa 1175° C) nötig ist, weil bei diesen Werkzeugen die weiche Haut keinen wesentlichen Nachteil darstellt. Schon allein aus dieser Tatsache kann die Aufstellung auf S. 192 erklärt werden, nach der verschiedene Werkzeuge auch verschiedene Härtungstemperaturen bedingen.

Die weiche Haut gibt gewöhnlich Veranlassung zu feinen Haarrissen (Härterissen, Abb. 174), die zumeist in Richtung der Polyederbegrenzung verlaufen. Die Entstehung solcher Risse ist nicht auf die Entstehung des Polyedergefüges zurückzuführen, sondern auf die Entstehung der äußeren weichen gefügelosen Haut, wo die Risse ihren Ursprung haben und sich dann in Richtung

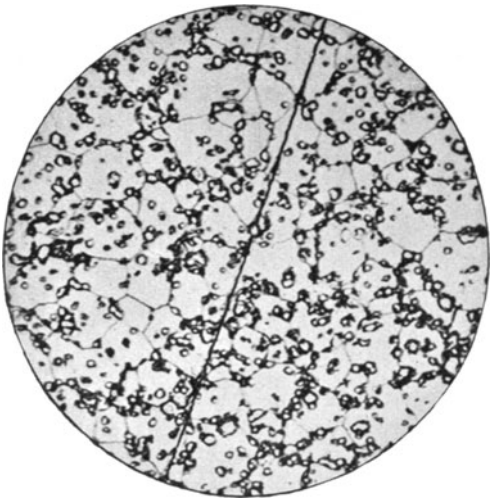


Abb. 169. Wie Abb. 165.
V = 400.

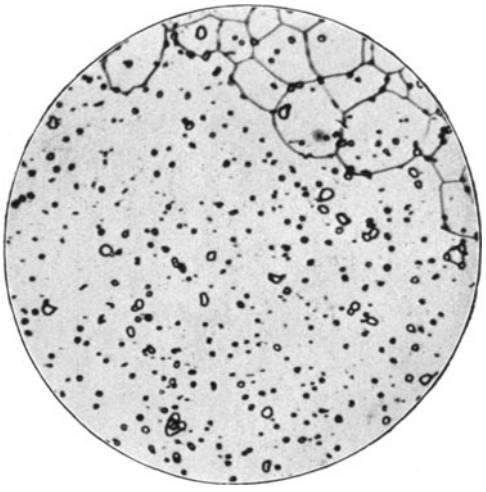


Abb. 170. Bei 1200° C gehärteter Schnelldrehstahl mit 0,59 v. H. Kohlenstoff, 18,30 v. H. Wolfram und 2,38 v. H. Chrom.
V = 400.

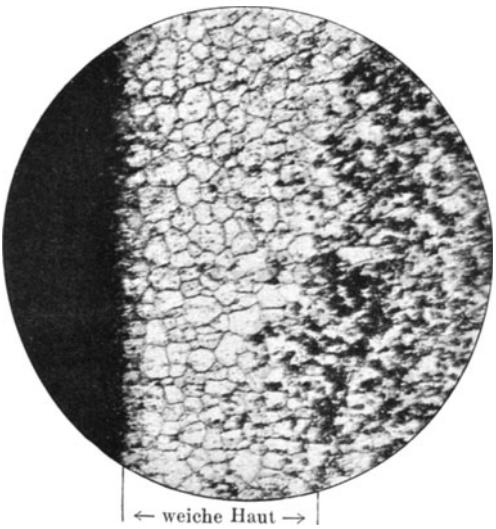


Abb. 171. Weiche Haut auf einem gehärteten Schnelldrehstahl mit 0,71 v. H. Kohlenstoff, 19,01 v. H. Wolfram, 5,15 v. H. Chrom und 0,37 v. H. Molybdän. V = 200.



Abb. 172. Weiche Haut auf einem bei 1300° C gehärteten Schnelldrehstahl mit 0,92 v. H. Kohlenstoff, 16,15 v. H. Wolfram und 4,12 v. H. Chrom. V = 600.

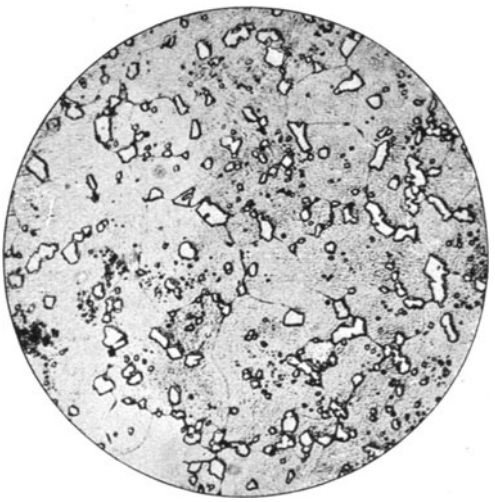


Abb. 173. Rechte Fortsetzung von Abb. 172.
V = 600.

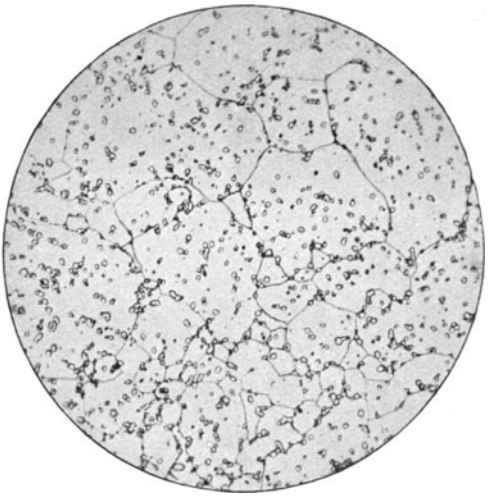


Abb. 174. Haarrisse in einem gehärteten Schnelldrehstahl.
V = 200.

der Kanten der nach dem Innern zu auftretenden Polyeder fortsetzen. Die Bildung der Haarrisse ist also dadurch bedingt, daß der weiche gefügelose Rand und das weiter nach innen auftretende Polyedergefüge eine andere physikalische Beschaffenheit des Materials darstellt als der Kern, der dieses Gefüge nicht sufweist. Infolge dieser verschiedenen physikalischen Beschaffenheit des Randes und der Mitte entstehen Spannungen in dem gehärteten Stahl und nur auf die Spannungen im Material ist die Entstehung dieser Risse zurückzuführen. Es ist natürlich, daß diese Härterisse parallel zu den Polyedern verlaufen müssen, weil durch die Polyeder der Weg für die Fortsetzung der Risse nach dem Innern vorgezeichnet ist und an den Begrenzungsflächen der Polyeder das Material nicht mehr die Festigkeit besitzt, die es im Innern der Polyeder hat.

Die Entstehung der weichen Haut könnte darauf zurückgeführt werden, daß bei der hohen Härtungstemperatur ein Teil des Kohlenstofts an der Oberfläche durch den Sauerstoff der atmosphärischen Luft zu gasförmiger Kohlensäure verbrennt und dadurch der Stahl oberflächlich entkohlt wird. In der Tat scheint diese Ansicht durch den Versuch bewiesen zu sein. Denn ein bei 1200° C im elektrischen Salzbadofen 20 Minuten lang erhitzter und dann 10 Minuten lang auf 1225° C weiter erwärmter Schnelldrehstahl mit ursprünglich 0,74 v. H. Kohlenstoff hatte nach dem Abschrecken an der Oberfläche nur noch 0,18 v. H. Kohlenstoff, er mußte also die weiche Haut aufweisen. Wenn hiernach eine Entkohlung vor sich gegangen ist, so könnte dieser Fehler, die weiche Haut, durch nachträgliche Kohlung beseitigt werden. Praktische Versuche haben tatsächlich gezeigt, daß Werkzeuge, die eine weiche Haut besitzen, noch zu retten sind, wenn sie vor dem Abschrecken schnell in pulverisiertes Ferrozyankalium (gelbes Blutlaugensalz, auch kurz „Kali" genannt) getaucht und dann wie gewöhnlich abgeschreckt werden. Hierdurch wird die leicht entkohlte Oberfläche durch den Kohlenstoffgehalt des Ferrozyankaliums von neuem gekohlt und es müßte dann auch ein ähnliches Gefüge, wie bei einem richtig gehärteten Werkzeug, wieder hervorgebracht werden.

Dieser entkohlte Stahl wurde daher etwa 2 bis 3 Sekunden bei der vorhandenen Temperatur von 1225° C in körniges Ferrozyankalium gesteckt und dann schnell wie gewöhnlich in Talg abgekühlt. Die Probe, die sich vorher leicht anfeilen ließ, war jetzt

nicht mehr von der Feile angreifbar. Die polierte und geätzte Schlifffläche zeigt jetzt anstatt der früheren gleichmäßig mattblanken Oberfläche regelmäßig verstreute dunkle Flecken (Abb. 175). Unter dem Mikroskop kann das Polyedergefüge nicht mehr beobachtet werden, vielmehr ergibt sich auch hier eine Anhäufung von gleichmäßig verteilten dunklen Flecken von anderer Beschaffenheit als die helle Grundmasse und die offenbar dadurch entstanden sind, daß der Kohlenstoff aus dem Ferrozyankalium vom weiß-

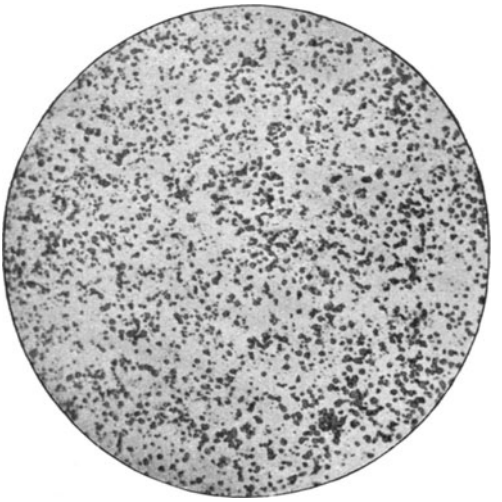


Abb. 175. Mit Ferrozyankalium oberflächlich gekohlter und gehärteter Schnelldrehstahl.
V = 200.

glühenden Stahl aufgenommen worden ist, indem sich karbidähnliche Bestandteile bildeten.

Allerdings erweist sich diese harte Außenschicht als sehr dünn (0,2 bis 0,3 mm). Wird sie weggeschliffen, so erscheint wieder das Polyedergefüge, so daß dieses Werkzeug von neuem gekohlt werden müßte. Mit diesen Beobachtungen stehen auch die von Portevin in der Akademie der Wissenschaften in Paris im Jahre 1914 vorgetragenen Versuchsergebnisse über das Kohlungsgleichgewicht von einfachen Kohlenstoffstählen in geschmolzenen Mischungen von Kaliumchlorid und -zyanid in Einklang. Auch er findet, daß die in der Industrie häufig gebrauchten, zum Er-

hitzen von Stahl auf bestimmte Temperaturen benutzten Alkalichloridbäder dem Stahl namentlich bei längerer Erhitzungsdauer Kohlenstoff entziehen und dadurch seine Eigenschaften nachteilig verändern. Durch einen Zusatz von Zyankalium oder Ferrozyankalium wird bewirkt, daß Kohlenstoff in das Eisen hineinwandert. Zwischen dem Kohlenstoffgehalt der Schmelze und des Stahls wird ein Gleichgewichtszustand hergestellt, der von der Dauer der Erhitzung unabhängig ist. So enthielt die Oberflächenschicht eines Stahls mit 0,78 v. H. Kohlenstoff nach längerem Erhitzen in einem Chloridbade, dessen Zyanidgehalt zwischen 25 und 75 v. H. schwankte, 0,25 v. H. Kohlenstoff, während ein kohlenstofffreies Eisen nach dieser Zeit 0,26 v. H. Kohlenstoff aufwies. Die Dauer der Erhitzung ist nur von Einfluß auf die Dicke der gekohlten und entkohlten Oberflächenschicht [1]).

Andererseits wird angenommen, daß das Weicherwerden von Schnelldrehstählen an der Oberfläche namentlich bei der Erhitzung in einem Bade von Chlorbarium auf eine Herauslösung von Wolfram aus der äußersten Schicht zurückzuführen ist. Diese Ansicht wird gestützt durch die Beobachtung, daß sich nach längerem Gebrauche des Bades am Boden Ablagerungen einer wolframreichen Verbindung vorfinden, die die unangenehme Eigenschaft besitzen, daß sie den Tiegel z. B. bei ölbefeuerten Öfen allmählich durchfressen. Die besprochene Einwirkung des Chlorbariums ist bei einem wenig benutzten Bade nur gering, macht sich aber bereits schon nach kurzer Benutzungsdauer bemerkbar, namentlich soll dies bei elektrisch geheizten Salzbadöfen der Fall sein. Das Bad wird nach kurzer Zeit dunkel, und es scheidet sich am Boden ein dunkelgrauer Niederschlag ab, der wahrscheinlich aus dem Eisen der Elektroden stammt. Beim Erhitzen von Kohlenstoffstählen in Chlorbariumbädern finden sich diese Nachteile nicht, weil hier die Temperatur nicht so hoch gesteigert zu werden braucht.

Jedenfalls bleibt die Tatsache der gelegentlichen Oberflächenentkohlung auch bei Salzbädern eine wenig erwünschte Erscheinung bei der Härtung von Schnelldrehstählen, eine Tatsache, mit der sich allerdings der Werkzeugfabrikant abgefunden hat und die die sonstigen ausgezeichneten Eigenschaften dieser Bäder bei der Wärmebehandlung der Schnelldrehstähle nicht beeinträchtigen.

Ein einwandfreies Urteil läßt sich zur Zeit über die Frage nicht abgeben, ob das Auftreten der weichen Haut eine zwingende

[1]) Vgl. Ferrum 1916/17, S. 199.



Abb. 176. Überhitzter englischer Schnelldrehstahl.
V = 200.

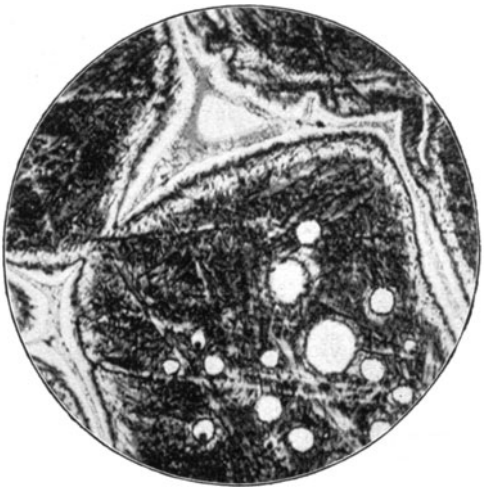


Abb. 177. Wie Abb. 176
V = 400.

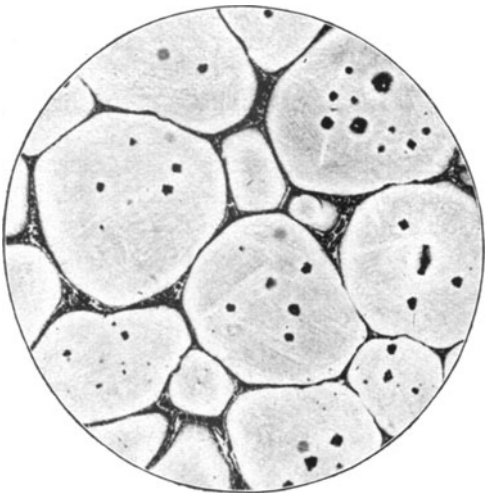


Abb. 178. Wie Abb. 176. Mit Natriumpikrat geätzt.
V = 200.

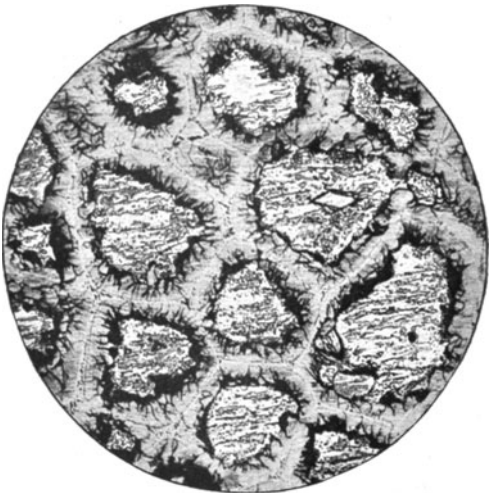


Abb. 179. Gefüge eines an der Schneide verschmorten (verbrannten) Schneidwerkzeuges aus Schnelldrehstahl.
V = 200.

Begleiterscheinung des Polyedergefüges ist, oder ob sie auf die mit dem Polyedergefüge zusammenhängende Entkohlung zurückgeführt werden muß. Diese Frage bedarf daher noch weiterer eingehender Untersuchungen, um eine befriedigende Lösung zu finden.

Steigt die Härtungstemperatur weiter, so tritt allmählich eine Überhitzung des Stahls ein. Das Gefüge wird grob (Abb. 176 und 177) und das ledeburitähnliche Netzwerk (Abb. 178) nimmt ebenfalls durch Natriumpikrat eine dunkle Färbung an. Schließ-

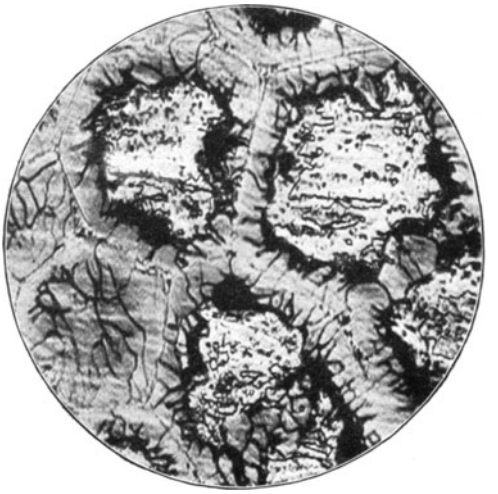


Abb. 180. Wie Abb. 179.
V = 400.

lich verbrennt bei noch höher steigender Temperatur der Stahl (Abb. 179 und 180) und kommt seinem Schmelzpunkte nahe, der wenig über 1300° C, etwa bei 1330° C liegen dürfte, da die Kanten von Probestücken bei 1300° C bereits abschmelzen. Das harte Netzwerk (Abb. 179) bzw. die groben eingelagerten Zellen werden bei verbrannten Schnelldrehstählen zuletzt zerstört. Ihr Vorhandensein ist der Tatsache zu verdanken, daß die bei der Schmelztemperatur auftretende bereits flüssige Grundmasse mit allen fremden Bestandteilen übersättigt ist und bei der nachfolgenden Abschreckung des Stahls schneller fester wird, ehe sich diese Grundmasse und die noch festgebliebenen Kristalle in ihrem

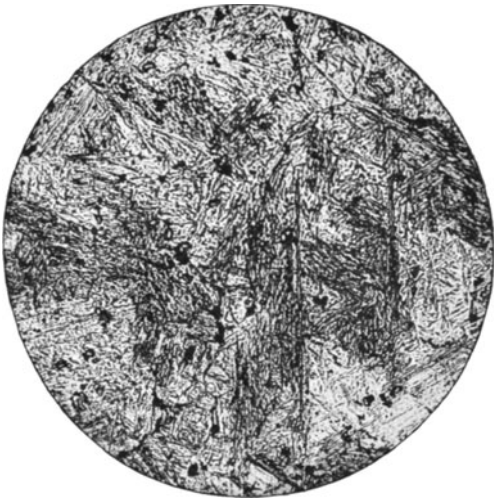


Abb. 181. Gehärteter Elektro-Schnelldrehstahl mit 0,57 v. H. Kohlenstoff, 14,54 v. H. Wolfram und 4,55 v. H. Chrom.
V = 200.

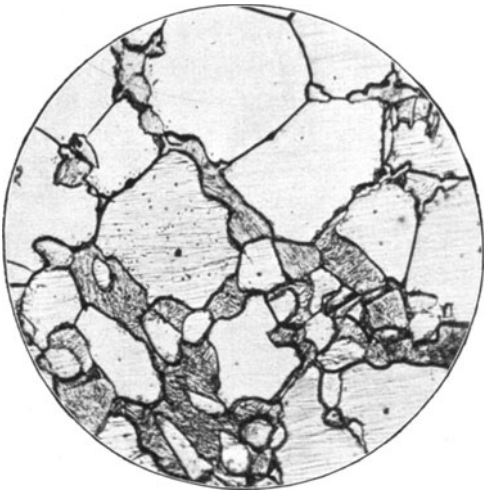


Abb. 182. Wie Abb. 181.
V = 200.

Mischungsverhältnis ausgeglichen haben. Das Aussehen des überhitzten und verbrannten Schnelldrehstahls ist mithin in seinem Gefüge überhitzten und verbrannten Kohlenstoffstählen sehr ähnlich.

Daß auch das martensitische Gefüge in gehärteten Schnelldrehstählen namentlich bei solchen mit geringerem Wolframgehalte (bis etwa 15 v. H.) erscheint (Abb. 181), wurde bereits auf S. 42 erwähnt. Auch der in Abb. 182 an der Begrenzungsfläche der austenitähnlichen Polyeder sichtbare Gefügebestandteil stellt Martensit dar. Bei diesem Stahl sind also die Gefügeveränderungen beim Erhitzen auf verschieden hohe Temperaturen außerordentlich ähnlich denjenigen bei reinen Kohlenstoffwerkzeugstählen, nur sind die Temperaturen, bei denen sich Martensit und Polyeder (Austenit) bilden, weiter hinaufgeschoben. Es treten bei diesen für Chromwolframstähle gewöhnlich zu niedrigen Härtungstemperaturen die Karbidkörner auf, bei höherer Temperatur (1200° C) bildet sich Martensit, um allmählich in groben Martensit bzw. Polyeder (Austenit) überzugehen. Dieser Stahl steht mithin in bezug auf seine Gefügeänderung zwischen reinen Kohlenstoffstählen und hochprozentigen Schnelldrehstählen, welches Ergebnis trotz des verhältnismäßig hohen Chrom- und Wolframgehaltes (4,55 v. H. Chrom und 14,54 v. H. Wolfram) überraschend ist. Die Leistungen dieses Stahles dürften mithin nicht wesentlich größer sein als die von Werkzeugen aus reinen Kohlenstoffstählen. Jedenfalls reicht die Leistungsfähigkeit dieses Stahls an die von hochhaltigen Schnelldrehstählen nicht heran.

Durch Schmieden wird das Auftreten des Polyedergefüges bei ein und demselben fertigen Stahl hinausgeschoben. Bei einem ungeschmiedeten und geschmiedeten englischen Schnelldrehstahl betrug z. B. der Temperaturunterschied für das Auftreten des Polyedergefüges etwa 50° C (1200° C zu 1250° C). Diese Tatsache führt zu einer Erweiterung der Erklärung der vorher angeführten und auch in Abb. 174 sichtbaren Haarrisse.

Da natürlich durch das Schmieden nur die Dichtigkeit des Materials erhöht wird, so müssen die Polyeder und die Härterisse durch die Dichtigkeit des Materials beeinflußt werden oder mit anderen Worten: der karbidische Stahlkern besitzt eine größere Dichte (spez. Gew.) als die Polyeder und letztere haben wiederum eine geringere Dichte als der äußere bei 1200° C auftretende weiche Rand. Es muß also bei der Bildung der Polyeder eine Volumen-

vermehrung des Stahls eintreten, die wieder bei der Bildung der äußeren weichen Haut zurückgeht. Danach treten Spannungen auf, die von der Festigkeit des Materials nicht überwunden werden können und sich daher in Form von Rissen bemerkbar machen. Beim geschmiedeten Stahl treten die Haarrisse erst bei höherer Härtungstemperatur auf, weil infolge der größeren Dichte (spez. Gew.) des geschmiedeten Materials die mit der Polyederstruktur verbundene Volumenvermehrung nicht so leicht stattfinden kann.

Daß in der Tat Leistungsfähigkeit und Lebensdauer eines Werkzeuges aus Schnelldrehstahl in gewissem Sinne von seinem Gefügeaufbau abhängen, konnte an einer Reihe der verschiedensten Werkzeuge im Betriebe festgestellt werden. Jedes scharf ausgeprägte Gefüge ist zu vermeiden. Gehärtete Stähle, in denen die Karbidkörner gleichmäßig verteilt waren, also das feinste Bruchkorn aufwiesen, hatten eine fast unbegrenzte Lebensdauer. Ähnlich liegen ja auch die Verhältnisse bei geschmiedeten und dann gehärteten übereutektischen Kohlenstoffstählen. Das anfängliche Zementitnetz (Abb. 12) wird durch Schmieden zerstört, der harte Zementit lagert sich dann in winzigen Körnchen in der martensitischen Grundmasse und verleiht so Werkzeugen eine ausgezeichnete Schneidfähigkeit. Ein reiner martensitischer Schnelldrehstahl würde zwar auch gut arbeiten. Die Lebensdauer eines solchen Stahls wird aber dadurch verkürzt, daß infolge des spröden, sehr harten Martensits Werkzeuge an der Schneide sehr leicht ausbrechen.

Chromwolframstähle mit mittleren Wolframgehalten (bis etwa 14 v. H.) zeigen in ihrer Gefügeveränderung keine wesentlichen Unterschiede gegenüber den hochlegierten Chromwolframstählen.

Die Härtung der Schnelldrehstähle hat zweckmäßig so zu erfolgen, daß diese zunächst langsam auf 600 bis 650° C erhitzt und dann so schnell wie möglich auf die ihnen zukommende Härtungstemperatur unter Vermeidung einer oxydierenden Atmosphäre (um einer Entkohlung vorzubeugen) gebracht werden.

Wird so verfahren, so zeigt der Stahl bei Anwendung der richtigen Härtungstemperatur das günstigste Verhältnis von Härte und Zähigkeit, das das erstrebenswerteste Ziel für jeden Härter ist. Der Stahl zeigt dann das feinste Korn, das bei dem betreffenden Material überhaupt zu erreichen ist.

Die Härtungskurve in Abb. 183 gibt ein Bild von der Art der Härtung der Schnelldrehstähle. Zum Vergleich ist die Härtungs-

kurve für gewöhnlichen Kohlenstoffwerkzeugstahl mit eingezeichnet worden. Diese Abbildung ist noch insofern lehrreich, als die Abschreckung dann plötzlich erfolgen muß, wenn das Werkzeug eben die richtige Härtungstemperatur erreicht hat. Würde diese Härtehitze längere Zeit auf das Werkzeug einwirken, so würde der Stahl grobkörnig werden und verderben (Abstehen). Nur bei massigen Werkzeugen kann man von dieser Vorschrift unter Berücksichtigung natürlich größter Vorsichtsmaßnahmen

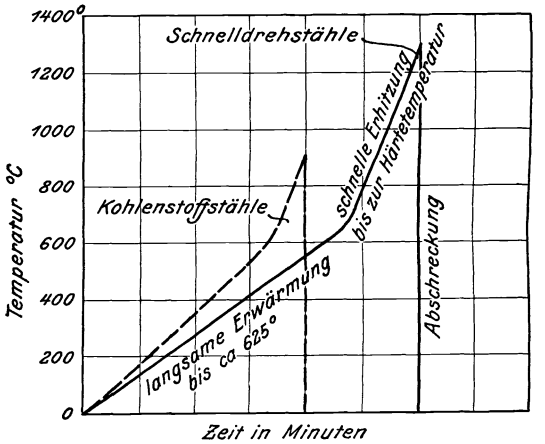


Abb. 183. Härtungskurven für Schnelldrehstahl und gewöhnlichen Kohlenstoff-Werkzeugstahl.

absehen. Auch ist es zweckmäßig, daß z. B. dünnwandige Werkzeuge von der Härtehitze in einem Salz- oder Bleibad und alsdann erst im Luftstrom, in Öl oder Petroleum abgekühlt werden.

Auf die vielfältigen sich widersprechenden und auch mitunter von falschen Voraussetzungen ausgehenden Theorien, namentlich in den ersten Jahren nach dem Aufkommen der Schnelldrehstähle, die über ihr Wesen und insbesondere im Hinblick auf ihre Rotgluthärte und über die einzelnen Elemente als Härtebildner aufgestellt sind, soll hier nicht näher eingegangen werden. Da u. a. die Zusammensetzung der in den Schnelldrehstählen auftretenden komplexen Karbide noch nicht einwandfrei bekannt ist, so bieten alle Theorien eine große Reihe von Angriffspunkten. Aufgabe des Schnellstahl verbrauchenden Großbetriebes, dem

die schwersten Werkzeugmaschinen und neuzeitlichsten Härteeinrichtungen sowie die besten Erfahrungen über die Gestaltung der Stähle, Art der Erhitzung und Härtung usw. zur Verfügung stehen, in Gemeinschaft mit den Stahlwerken, die am ehesten alle Merkmale bei der Herstellung und vorläufigen Prüfung der Schnelldrehstähle berücksichtigen können, wird es sein, das Rätsel der Schnelldrehstähle in einer für die Praxis befriedigenden Weise zu lösen. Jedenfalls ergibt sich aus den vorstehenden mehr theoretischen Darlegungen, die auf Grund sorgfältiger Versuche und aus Betriebserfahrungen gesammelt wurden, die Tatsache, daß man in das Wesen der Schnelldrehstähle leicht eindringen kann, wenn man den Aufbau und die Wärmebehandlung der einfachen Kohlenstoffstähle erkannt hat.

Für die Erhitzung der Schnelldrehstähle zum Härten hat sich der elektrische Salzbadofen am besten bewährt, der noch den Vorzug hat, daß die Werkzeuge blank bleiben, während die im Muffelofen erhitzten Werkzeuge von dem etwa anhaftenden Zunder durch Beizen in verdünnter Schwefelsäure oder im Sandstrahlgebläse befreit werden müssen, wenn dies notwendig sein sollte. Sonderbarerweise werden dem Salzbadofen manche Fehler, die in der Härterei gemacht werden, angehängt. Hierfür kann ein Beispiel dienen. Ein Stahlwerk hatte zum Härten seiner Schnelldrehstähle einen elektrischen Salzbadofen bezogen. Der Erfolg bei der Verwendung dieses Ofens war angeblich der, daß der Stahl, der bisher im Gasglühofen mit guten Ergebnissen auf die entsprechende Härtungstemperatur gebracht wurde, nach dem Erwärmen im elektrischen Salzbadofen sich völlig unbrauchbar verhielt. Dieses ungünstige Ergebnis wurde auf diesen Ofen zurückgeführt, obwohl die makroskopische und mikroskopische Untersuchung an den von dem Ofenfabrikanten erbetenen schlechten Stahlstücken einwandfrei ergab, daß der Mißerfolg einzig und allein der Anwendung einer falschen Härtungstemperatur zugeschrieben werden mußte. Hätte das Stahlwerk den Ofen eingehend geprüft und für seine Stähle die zweckmäßigsten Härtungstemperaturen im voraus bestimmt, so wäre ihm viel Ärger erspart geblieben, dessen Ursache es ungerechtfertigterweise dem vorzüglich arbeitenden Ofen zuschob.

Jeder Härter, der Gelegenheit gehabt hat, Werkzeuge aus Schnelldrehstahl, die aus demselben Material gefertigt sind, verschiedenartig zu härten, um sie dann peinlich genau auf der

Drehbank zu prüfen, weiß, daß sich die überraschendsten Verschiedenheiten in der Leistungsfähigkeit des Stahls während des Härtens einschleichen. Die Zahl von verschiedenen Umständen, die das Verhalten des Schneidwerkzeuges beeinflussen, ist sehr groß. Es sei hier nur erwähnt, daß Schnelldrehstähle der gleichen Marke und Herstellung in ihrer Leistungsfähigkeit nicht immer vollkommen übereinstimmen, ja sogar bei hohen Schnittgeschwindigkeiten stark voneinander abweichen können. Nicht allein auf die chemische Zusammensetzung des Stahls muß im Hinblick auf seine Schnitthaltigkeit Rücksicht genommen werden, die namentlich der Kohlenstoffgehalt verlangt, sondern auch die zur Verschmelzung gelangenden Rohstoffe und das Herstellungsverfahren (ob Tiegel aus Graphit oder Ton, mit basischem oder saurem Futter) ist von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Aber auch die Art und Weise der Behandlung des Schmelzgutes und die Höhe seiner Schmelztemperatur, die Weiterverarbeitung des gegossenen Blockes im Walzwerk oder in der Schmiede[1]) bis zu der Form, die der Rohstahl vor seinem Verkaufe annehmen soll, spielen wesentlich mit. Weiter ist bei Vergleichsversuchen zu berücksichtigen die Schneidenform des Drehmessers und die Stellung der Schneide zum Werkstück (Ansatzwinkel), die Art der Einspannung des Messers (muß gut abgestützt sein, damit es nicht federt), die Größe des Spanquerschnittes und die Eigenschaften des abzudrehenden Materials (Risse, Lunkerstellen, harte Stellen usw.), die wichtige Arbeit des Schleifens des Drehmessers, sowie Art und Mittel zur Kühlung und Schmierung nicht zu vergessen. Scharfe Übergänge von großen zu kleinen Querschnitten sind zu vermeiden. Abschrägungen, Hohlkehlen, abgerundete Ecken und sonstige Kniffe helfen vielfach über die Härteklippen hinweg. Aus allen diesen Gründen dürfte eine den Praktiker befriedigende Lösung der Frage:

> Welcher Stahl eignet sich am besten für ein Werkzeug von bestimmten Eigenschaften?

nicht einfach sein, wenn eine Lösung überhaupt möglich ist.

---

[1]) Für das Ausschmieden der Blöcke kommen nur Sättel mit stumpfem, abgerundetem Winkel oder der Flachsattel, nicht der Winkelsattel in Frage. Bei ersterem wird ein gleichmäßiges Durchschmieden erzielt, bei letzterem bleibt der Kern unberührt, wodurch Risse zwischen Kern und Schale entstehen oder sogar der Block in einen Ring- und Kernteil zerfällt (Oertel, Stahl und Eisen 1921, S. 1413).

Wie schwierig die Beantwortung dieser anscheinend leicht zu klärenden Frage ist, wird am besten durch folgendes Beispiel erhärtet. In einer öffentlichen Versuchsanstalt wurden Versuche angestellt, um den Wert der Stähle A, B und C zu ermitteln. Je ein Werkzeug, das aus den Stählen A, B und C angefertigt war, wurde geschmiedet und dann von demselben Härter in demselben mit Koks gefeuerten Ofen erhitzt und darauf gehärtet. Alle Werkzeuge erhielten dieselbe Schneidenform und wurden auf derselben Drehbank an einem Kohlenstoffstahle mit 0,75 v. H. Kohlenstoff geprüft, indem sie bei einer Schnittgeschwindigkeit von 25 m in der Minute arbeiteten. Die folgenden Zahlen geben die Minuten an, die die betreffenden Werkzeuge im Gebrauch waren, ehe sie versagten.

	A	B	C
Aus dem Versuchsstab angefertigt .	4,40	3,00	—
Nach dem Wiederanschleifen . . .	6,66	31,25	—
Am nächsten Tage wieder gehärtet .	14,60	13,20	30,81
Wieder angeschliffen	10,30	15,95	11,17
Am 3. Tage wieder gehärtet . . .	8,90	25,10	3,00

Wollte man aus diesen Versuchen, wie es offenbar die Versuchsanstalt beabsichtigte, die Schlußfolgerung ziehen, daß der Stahl C eine geringere Lebensdauer besitzt als die Stähle A und B, so würde dies mindestens eine fahrlässige Schlußfolgerung sein. Denn aus diesen Versuchen kann man nur ableiten, daß bei der gewählten Härtungstemperatur und der Art der Härtung der Stahl C sich ungünstiger verhält als die Stähle A und B. Würde man andere Wärmestufen oder ein anderes Härteverfahren gewählt haben, dann wäre es sehr leicht möglich gewesen, daß der Stahl C sich wesentlich günstiger verhalten hätte als die beiden anderen Stähle, wenngleich zugegeben werden muß, daß im großen und ganzen die Art des Härtungsmittels auf die Leistungsfähigkeit des Schnellstahles von geringerer Bedeutung ist.

Aus dem Wiederanschleifen und nachträglichen Härten der für diese Versuche verwendeten Stähle erhellt, daß sich die Schneide des Drehmessers bei der hohen Rotglutwärme enthärtet hatte. Hierauf muß im Betriebe ebenfalls sorgfältig geachtet werden, da angeschmorte Drehmeißel gewöhnlich einige Millimeter abge-

schliffen werden, um dann ohne nachträgliche Wiederhärtung benutzt zu werden, die viel ergiebiger gewesen wären, wenn man die Schneide vorher wieder gehärtet hätte. Das schließt nicht aus, daß andererseits angeschmorte Stähle nur nach neuem Anschleifen das gleiche, wenn nicht ein besseres Verhalten zeigen und dies um so mehr, je mehr sie abgeschliffen wurden. Hieraus und aus dem oben besprochenen Versuch folgt also, daß, ehe man einen Schnelldrehstahl nicht nach allen Richtungen hin geprüft hat, es sich nicht entscheiden läßt, ob er für einen bestimmten Zweck, für ein bestimmtes Schneidwerkzeug sich besser oder weniger gut verhält als ein anderer für diesen Zweck gebrauchter Stahl, dessen Verhalten bekannt ist. Dies ist auch die Ursache, daß eine so große Anzahl von Schnelldrehstählen in der Industrie gebraucht wird, obwohl anzunehmen ist, daß eine Reihe dieser Stähle weniger gute Eigenschaften besitzt als andere. Der Werkzeugfabrikant, der einen Schnelldrehstahl nach allen Richtungen hin geprüft hat und seine Eigenschaften genau kennt, auch herausgefunden hat, daß die landläufige Ansicht, für jedes zu bearbeitende andersartige Material auch einen bestimmten Schnelldrehstahl zu verwenden, durchschnittlich nicht berechtigt ist, weiß, welche Schwierigkeiten und welche Mühe ihm diese Kenntnis der richtigen Auswahl der Stahlsorten für die verschiedenen Werkzeuge und Arbeiten verursacht hat, und er sträubt sich daher, einen anderen Stahl, selbst wenn man ihn als besser empfohlen hat, anzuwenden. Nicht allein Gefügeaufbau und Schnittgeschwindigkeit können über den Wert eines Schnelldrehstahls entscheiden, sondern die Erreichung einer möglichst langen Schnittdauer, also die Zeit, die bis zum Wiederanschleifen vergeht, ist das erstrebenswerte Ziel. Auch den Preisverzeichnissen und Werbeschriften der verschiedenen Stahlwerke wird er nicht immer das gewünschte Vertrauen entgegenbringen können. Zeigt es sich doch sehr oft, daß die in ihnen gemachten Angaben nicht mit den tatsächlichen Ergebnissen seiner eigenen Betriebsversuche übereinstimmen, auch wenn er genau nach den Vorschriften vorgegangen ist. Namentlich hinsichtlich des vorgeschriebenen Härteverfahrens und der erforderlichen Härtungstemperaturen wird er seinen eigenen Überlegungen und Beobachtungen folgen, daß nämlich zur Erzielung der Höchstleistung eines Schnelldrehstahls nur eine rein persönliche, auf langjähriger Erfahrung beruhende Behandlung desselben bezüglich der zweckmäßigen Härtungstemperatur und des Zurichtens des Schneide usw.

erforderlich ist, wobei Feinheiten zu berücksichtigen sind, die aus allgemeinen Härtevorschriften und Angaben über die Schneidenform und den zu wählenden Ansatzwinkel nicht zu erlernen sind. Sind Werkzeugfabrikant und Härter zu dieser Erkenntnis gekommen, haben sie alle diese in den vorhergehenden Ausführungen durchgesprochenen Umstände zur Erzielung eines brauchbaren Werkzeuges aus Schnelldrehstahl berücksichtigt, so werden viele Mängel, die sich namentlich bei der Wärmebehandlung dieser Stähle zeigen, beseitigt werden können. Daß gerade die Härtungstemperaturen, die für Schnelldrehstähle angegeben werden, mitunter sehr verschieden, und zwar meist zu hoch von denjenigen sind, die die Anpreisungen der Stahlwerke enthalten, zeigt folgende Zusammenstellung. In dieser sind die Temperaturen einer Reihe von Schnelldrehstählen verschiedener Stahlwerke für ein bestimmtes Werkzeug vermerkt, die in Wirklichkeit mit den im Betriebe ermittelten zweckmäßigen Härtungstemperaturen für dasselbe Werkzeug, um seine höchste Leistungsfähigkeit zu erzielen, nicht übereinstimmten.

Schnelldrehstahl	Vom Stahlwerk angegebene Härtungstemperatur	Durch Versuche ermittelte zweckmäßige Härtungstemperatur
Deutscher Schnelldrehstahl	1200° C	1100° C
Deutscher „	1225° C	1250° C
Deutscher „	1275° C	1200° C
Österreichischer „	bis 1300° C	1100° C
Österreichischer „	„ 1300° C	1250° C
Österreichischer „	1300° C	1250° C

Es folgt hieraus, daß der Werkzeugfabrikant sich nicht blindlings auf die Angaben der Stahlwerke verlassen darf, sondern daß er durch Versuche an Probestücken die geeignetste Härtungstemperatur für jeden Stahl ermitteln muß, wenn er sich vor Schaden bewahren will. Er wird dann außerdem erkennen, daß der teuerste Stahl nicht immer der beste ist, da er sich in nichts von einer billigeren Marke unterscheidet. Zeigt sich doch sehr oft die Gepflogenheit selbst größerer Werke, mindestens einige Marken ihrer Erzeugnisse vorrätig zu halten, um denjenigen Abnehmern, die mit einer Marke nicht zufrieden waren, einen anderen Stahl von gewöhnlich nicht wesentlich verschiedener Beschaffenheit, aber

für einen höheren Preis anzubieten unter der Angabe, daß gerade diesem die vorzüglichsten Eigenschaften innewohnen. Kann man doch z. B. in Preislisten mitunter lesen, daß eine besondere Schnellstahlmarke sogar mit einem besonderen Element, einem Edelmetall, in Verbindung gebracht wird, und daß dieser Stahl außerordentliche Eigenschaften besitzt. Nun kann jeder Werkzeughersteller oder -verbraucher durch eine einfache chemische Analyse feststellen, daß dieser besondere Bestandteil alles eher denn ein Edelmetall ist. Löst dieses vom kaufmännischen Standpunkt vielleicht gerechtfertigte Geschäftsgebaren des Stahlfabrikanten, der schließlich nur dartun will, daß dieses Erzeugnis besonders edel und höchstwertig ist, bei dem Abnehmer schon im vorhinein Mißtrauen aus, so braucht er sich nicht zu wundern, daß der Werkzeugfabrikant seinem Lieferanten unbedingt untreu wird, weil dessen mitunter hochtönende Versprechungen sich im praktischen Betriebe als haltlos oder zumindest übertrieben erweisen. Hier sollte endlich die deutsche Stahlindustrie in ihren Anpreisungen einen anderen Weg beschreiten. Die Chemie und Metallographie leuchtet in ihre Geheimnisse hinein, welche der Werkzeugfabrikant immer mehr zu Rate ziehen wird, je mehr er sich mit dem Wesen des Stahls bekannt gemacht hat. Die beste Empfehlung für einen Stahl bleibt immer seine Zuverlässigkeit im praktischen Betrieb, wobei die Frage offen bleiben soll, ob hiernach oder nach seiner chemischen Zusammensetzung der Einkauf eines Schnelldrehstahls getätigt werden soll.

Vielfach ist gerade bei Werkzeugen aus Schnelldrehstahl für den praktischen Betrieb die Beantwortung der Frage wichtig, welche Härtungstemperatur bei dem betreffenden Werkzeuge angewendet worden ist. Der Verbraucher ist zu leicht geneigt, alle Schuld bei dem Versagen des Werkzeuges dem Werkzeugfabrikanten zuzuschieben. Häufig wird er im Recht sein, daß das Werkzeug einer falschen Härtungstemperatur ausgesetzt worden ist. Der Werkzeugfabrikant aber wird sich dann zumeist auf die Vorschrift des Stahlwerks stützen und dieses verantwortlich machen. In solchen Streitfällen kann das Verfahren, wonach die Abschreckhitze mit Hilfe des Lösungsversuches nachträglich ermittelt werden kann, von Vorteil sein, das gerade bei Chromwolframstählen im Gegensatz zu den einfachen Kohlenstoffstählen vielversprechend ist[1]). Dieses Verfahren ist nicht nur zur Feststellung

[1]) Heyn und Bauer, Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt 1909, S. 59; Stahl und Eisen 1909, S. 733 und Metallurgie 1909, S. 479.

der Abschreckhitze gut brauchbar, sondern es kann auch wichtige Aufschlüsse über die Vorgänge bei der Härtung geben. So wurden bei einem Schnelldrehstahl mit 0,84 v. H. Kohlenstoff, 22,8 v. H. Wolfram und 4,43 v. H. Chrom, von dem einzelne Scheiben aus verschiedenen Temperaturen in Eiswasser bzw. Gebläsewind abgeschreckt, blank geschliffen und 72 Stunden lang in 1%iger Schwefelsäure belassen wurden, gefunden (Abb. 184), daß kein wesentlicher Unterschied besteht in der Löslichkeit der unterhalb 800° C abgeschreckten Proben von der Löslichkeit der geschmiedeten und nicht abgeschreckten Proben sowie der von 900° C langsam abgekühlten Proben. Oberhalb einer Abschrecktemperatur von 800° C stieg die Löslichkeit rasch an und erreichte einen Höchstwert bei einer Abschreckhitze von 1200° C, um jenseits dieses Punktes wieder rasch abzufallen. Die Wirkung der Abschreckung in Eiswasser und im Luftstrom war nicht wesentlich verschieden.

Aber auch die Bestimmung der Ritzhärte kann neben der Ermittelung der Brinellschen Härtezahl auch bei Schnelldrehstählen Aufschluß darüber geben, ob zwischen der Änderung der Löslichkeit und der Härte ein Zusammenhang besteht. So konnte bei den bei verschiedenen Wärmegraden behandelten Proben des vorhin genannten Schnelldrehstahls festgestellt werden, daß die mit der Diamantspitze des Martensschen Ritzhärteprüfers unter einer Belastung von 20 Gramm erzeugte Ritzbreite (bei einer Vergrößerung 580 gemessen) ebenfalls von 860° C aufwärts steigt, um jenseits von 1200° C wieder abzufallen. Zwischen der Ritzbreite der zwischen 900° C und 1200° C abgeschreckten Proben (Abb. 184) waren keine Unterschiede wahrnehmbar.

Es entspricht mithin der Verlauf der Schaulinie (Abb. 184) für die Ritzbreite genau der Löslichkeitskurve. Eine Härtesteigerung durch Abschreckung ist also erst bei Temperaturen oberhalb 800° C erreichbar, womit eine Vergrößerung der Löslichkeit einhergeht. Jenseits einer Abschrecktemperatur von 1200° C vermindern sich wieder Härte und Löslichkeit. Die Temperatur von 800 bis 900° C kann man mit unterer, die Temperatur von 1200° C als die obere kritische Grenztemperatur für die Wärmebehandlung des Schnelldrehstahls bezeichnen.

Da das Kleingefüge des Schnelldrehstahls nach den früheren Darlegungen zwischen Abschrecktemperaturen von 800 bis gewöhnlich 1100° C keine sichtbaren Unterschiede aufweist, sichere Schlüsse auf die stattgefundene Wärmebehandlung des Stahls

man mithin nicht ziehen kann, so erscheint die genaue Kennzeichnung des verschiedenen Zustandes des Schnelldrehstahls bei verschiedenen Abschrecktemperaturen durch den einfachen Lösungsversuch von Wert, um in Zweifels- und Streitfällen zu Rate gezogen zu werden.

Es ist allgemein bekannt, daß Chromwolframstähle bei sehr hohen Temperaturen leicht schuppenförmig werden, was wahrscheinlich die Folge einer leichten Entkohlung oder einer unrichtigen Behandlung während ihrer Verarbeitung ist (s. S. 179).

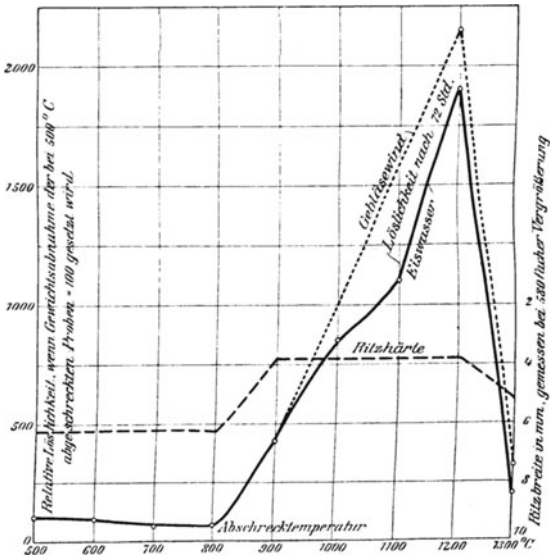


Abb. 184. Einfluß der Abschrecktemperatur auf Löslichkeit und Ritzhärte bei Schnelldrehstählen. Abschreckung in Eiswasser und Gebläsewind. Nach Heyn und Bauer.

Sie nehmen auch sehr leicht Kohlenstoff bei hoher Temperatur auf, und folglich werden sie schlechter oder besser schneiden, obwohl die Höhe des Kohlenstoffgehaltes durchaus nicht wie bei reinen Kohlenstoffstählen einen Maßstab für die Verwendbarkeit des betreffenden Schnelldrehstahls abgibt. Ferner wird ein Stab aus Schnelldrehstahl, der kurze Zeit bis nahe an seinen Schmelzpunkt erhitzt wurde, gewöhnlich nach dem Härten der Länge nach aufreißen, an der äußersten Spitze ein poröses oder gefurchtes Aussehen zeigen und dahinter ein Gefüge besitzen,

das immer feinkörniger wird, je weiter es von der Spitze entfernt ist. Um die Porosität an der Spitze zu vermindern, werden Werkzeuge vor dem Abschrecken zuweilen gehämmert. Solange jedoch der gefurchte oder poröse Teil vorhanden ist, ist die Schneide des Werkzeuges gegenüber mechanischer Beanspruchung schwach, wie hart sie auch sonst ist. Abb. 176 stellt das Kleingefüge eines Stückes Schnelldrehstahl dar, welches zu lange bei sehr hohen Temperaturen gehalten worden ist. Das Bruchkorn ist sehr grob und die einzelnen Körner haben bereits angefangen, sich voneinander zu trennen.

Um daher vergleichbare Ergebnisse bei Schnelldrehstählen zu erhalten, ist eine bestimmte Endtemperatur, eine gleichförmige Schnelligkeit des Erhitzens und ein neutrales Erhitzungsmittel notwendig. Die erste englische Patentbeschreibung, die sich auf neuzeitliche Werkzeuge aus Schnelldrehstahl bezieht (Nr. 10738 vom Jahre 1900), empfiehlt, dem Werkzeug im Härteofen eine Schutzdecke zu geben, die bei hoher Hitze schmilzt und den zu behandelnden Teil des Werkzeuges mit einem Überzug bedeckt, der Luft und andere Gase ausschließen soll, die die Oberfläche des Werkzeuges schädlich beeinflussen könnte. Eine solche schützende Decke kann wie folgt hergestellt werden: Nachdem das Werkzeug langsam bis zur Rotglut erhitzt worden ist, streut man über dasselbe gepulvertes Boraxglas, das sofort schmilzt und anhaftet. Dann bedeckt man in derselben Weise die Spitze des Werkzeuges mit gepulvertem Glas und setzt es der gewünschten stärkeren Hitze aus. Das Flußmittel wird nach dem Abkühlen des Werkzeuges leicht entfernt und hinterläßt die Oberfläche des Stahls rein und unverändert. Eine Anzahl anderer Gemische ist gegen das Schuppigwerden der Schnelldrehstähle ebenfalls im Gebrauch.

Die Möglichkeit der Entstehung und die Ausbreitung von Rissen durch heftiges Schleifen (sog. Schleifrisse) ist auf S. 158 besprochen worden. Es ist unbedingt notwendig, das Auftreten von Schleifrissen bei Schnelldrehstählen zu verhindern, weil viele Mißerfolge in der Werkstatt auf Schleifrisse zurückgeführt werden können. Sehr feine, in geschliffenen Werkzeugen vorhandene Risse können manchmal nur durch ein geeignetes Ätzverfahren sichtbar gemacht werden, wenn nicht besser die Lupe oder das Mikroskop zu Hilfe genommen wird. Wenn die Risse nicht auf diesem Wege aufgefunden werden, würde man keinen Verdacht für ihr Vorhandensein haben, bis die Werkzeuge im

Gebrauch gewesen sind, wodurch die vorhandenen Risse größer werden und erst dann entdeckt werden können.

Gehärteter Stahl wird rissig durch örtliche Reibungswärme, weil dieselbe nicht schnell genug durch den Schaft abgeleitet wird und die deshalb örtliche Ausdehnungen herbeiführt, denen sich anzupassen der übrige Teil des Materials zu unnachgiebig ist. Ebenso wie dickes Glas zerspringen muß, wenn man es an einer Stelle über die Spitze einer Kerzenflamme hält, also das Glas nur örtlich erwärmt. Wenn dagegen das Glas langsam und sorgfältig durch seine ganze Masse hindurch angewärmt wird, kann es schließlich, ohne Schaden zu nehmen, in die Flamme gehalten werden. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Gefahr des Zerspringens stark herabgesetzt, wenn nicht gänzlich vermieden wird, wenn Werkzeuge aus Schnelldrehstahl auf 200° C oder mehr vor dem Schleifen erhitzt werden.

Öfen und sonstige Einrichtungen zur Behandlung von Schnelldrehstählen werden im nächsten Abschnitt besprochen werden.

Bis weit in die ersten Kriegsjahre hinein wurde im Verbrauch von Schnelldrehstahl aus dem Vollen geschöpft. Jeder Werkzeugfabrikant hatte ein wohlgefülltes Lager der verschiedensten Marken dieser Stähle, die zum Teil wahllos auch für solche Werkzeuge verwendet wurden, für die geringwertigere Stahlsorten vollkommen ausgereicht hätten.

Infolge der Abschnürung Deutschlands vom Welthandelsverkehr wurde auch der Vorrat an den für die Herstellung der Schnelldrehstähle notwendigen Grundstoffen (Wolfram- und Chromerze, Wolfram- und Chromlegierungen), die Deutschland vornehmlich aus dem Auslande beziehen mußte, immer geringer und hörte schließlich ganz auf. Es mußten also auf diesem Gebiete behördliche Maßnahmen ergriffen werden, um auch hier ein Durchhalten zu ermöglichen und die ununterbrochene, ja zu steigernde Herstellung von Kriegsgerät sicherzustellen. Einen vollwertigen Ersatz für Schnelldrehstahl gibt es zwar zur Zeit nicht, wohl aber konnte einer haushälterischeren Bewirtschaftung dieses wertvollen Erzeugnisses das Wort geredet werden. Die vorhandenen Vorräte mußten gestreckt werden.

Zunächst wurden für Schnelldrehstahl Höchstpreise festgesetzt, dann wurde der Wolframgehalt auf 17 v. H. begrenzt. Es folgte die Beschlagnahme der Legierungsstähle, die „Schnellstahlausgleichsstelle“ der Kriegsrohstoffabteilung des Kriegs-

ministeriums wurde ins Leben gerufen. Sachgemäßer Einkauf, scharf umgrenzte Herstellungs- und Behandlungsvorschriften, abgeänderte Bauart der Werkzeuge, durchgreifende Überwachung des Verbrauches im Betriebe, Sammlung aller Abfälle, die, wie früher vielfach üblich, einfach in den Schrott geworfen wurden: dies waren die zunächst zu befolgenden Richtlinien für den sparsamen Haushalt der Schnelldrehstähle, die aus Unkenntnis und Sorglosigkeit bei der Wärmebehandlung und infolge unsachgemäßer Verwendung noch in großen Mengen verdorben und vergeudet wurden.

Hier hat auch namentlich der „Verein deutscher Maschinenbauanstalten" und seine „Stahlberatungsstelle" aufklärend gewirkt, der mit Unterstützung der militärischen Dienststellen durch Herausgabe von „Merkblättern" und sonstigen Ratschlägen auch dem bescheidensten Betriebe Fingerzeige und Anregungen gab, den veränderten Zeitverhältnissen entsprechend doch nutzbringend zu arbeiten. Die Zwangsbewirtschaftung der Schnelldrehstähle wurde am 31. August 1919 aufgehoben.

Da bei einem Schneidwerkzeug nur die eigentliche Schneide der Träger der zu verrichtenden Arbeit ist, der übrige Teil, der Schaft oder Körper an der Wertemehrung nicht teilnimmt, so war es natürlich erst recht in der Kriegszeit das Gegebene, nur die Schneide aus Schnellstahl herzustellen und für den anderen Teil (die Halteorgane) geringwertigeres Material zu verwenden. Dies konnte durch Einklemmen auswechselbarer Einlagen, durch Verschweißung, Verlötung, Verzapfung, Verschraubung, Verschrumpfung der Schnellstahlschneide erreicht werden. Bei sachgemäßer Ausführung geben diese Verbindungen genügende Sicherheit auch im Hochkraftbetriebe. Es ist einleuchtend, daß je nach der Art des Betriebes dieser oder jener Verbindung der Vorzug zu geben ist, wenn man nicht für gewisse Arbeiten mit geringerer Beanspruchung (Bohren, Fräsen, Ahlen, Schlichten) und für besondere Werkstoffe (Gußeisen, Metalle und deren Legierungen) zum guten alten Kohlenstoffwerkzeugstahl, als für viele Fälle dem geeignetsten Streckungsmittel, oder zu den neuen wolframfreien, mit Molybdän legierten oder den wolframarmen (schwachlegierten) Ersatzstählen zurückgreifen will. Die behördliche Vorschrift, daß Material unter 70 kg Festigkeit nicht mit hochlegiertem Schnelldrehstahl bearbeitet werden durfte, war daher nur gerechtfertigt, die auch jetzt in

Friedenszeiten aus volkswirtschaftlichen Gründen allgemein beachtet werden sollte, zumindest aber sollte heute für Materialien mit bis 50 kg Festigkeit kein Schnelldrehstahl verwendet werden. Andererseits mußte der Kaufmann beim Einkauf seiner Ersatzstähle sehr vorsichtig sein, wurden doch vielfach als „behördlich genehmigte Schnellstähle" einfache Kohlenstoffstähle angeboten, wie aus einem Beispiel hervorgeht, nach dem ein solcher Stahl mit 0,83 v. H. Kohlenstoff, 0,44 v. H. Mangan und 0,23 v. H. Silizium als „Ersatzschnellstahl" zurückgewiesen werden mußte.

Das Aufschweißen kleiner, für die Schneide bestimmten Plättchen auf den Werkzeugkörper aus gewöhnlichem Kohlenstoffstahl hat im praktischen Betriebe weiteste Verbreitung gefunden. Auf diese Weise erzielt man die verschiedenartigsten zusammengesetzten Werkzeuge. Die Art der Wärmequelle für das Aufschweißen richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Art des Werkzeuges. Es kommen das Schmiedefeuer, der Schweißbrenner, elektrische Schweißmaschinen, der Salzbadofen und andere Einrichtungen in Betracht[1]).

Das Verschweißen mittels eines Schweißpulvers und das elektrische Schweißen (meist Stumpfschweißung ohne Schweißpulver) sind die am meisten geübten Verfahren für die Vereinigung von Schnellstahl mit Kohlenstoffstahl. Abgesehen von der durch die Verschweißung erzielten Ersparnis an Schnellstahl ist gleichzeitig eine bessere Ableitung der Wärme beim Hochbetriebe durch den Schaft gewährleistet, da der Schnellstahl ein schlechterer Wärmeleiter ist als der Kohlenstoffstahl. Zusammengesetzte Schneidwerkzeuge sind daher unter der Voraussetzung einer guten Verschweißung zumindest von der gleichen, wenn nicht längeren Lebensdauer als aus einem Stück hergestellte Werkzeuge aus Schnellstahl.

Der Schweißer oder Härter muß bei jedem Schweißen von Schnellstahl auf Kohlenstoffstahl sich gegenwärtig halten, daß er zwei verschiedenartige Legierungen miteinander vereinigt. Die Schweißarbeit birgt daher erhebliche Schwierigkeiten in sich, denen nur durch lange Übung und Erfahrung begegnet werden kann. Die vielfach im Betriebe beobachteten Ansichten, jedes Schweißverfahren kurzerhand zu verwerfen, weil die Erfolge ausbleiben, sind in der Unkenntnis aller der genau zu beachtenden

[1]) Vgl. Schäfer, Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb 1920, S. 241.

Handgriffe und Kniffe begründet. Die verschieden hohe Ausdehnungsziffer von Schnellstahl und Kohlenstoffstahl mit ihren ganz erheblich von einander abweichenden chemischen Zusammensetzungen löst nach der Vereinigung Spannungen aus, die zu Rissen Veranlassung geben können. Vor der Verschweißung müssen daher die physikalischen Unterschiede beider Stahlsorten durch eine geeignete Vorbehandlung ausgeglichen werden, die sich nach der Höhe des Kohlenstoffgehaltes des Stahls richtet, der bei der Erwärmung und Abkühlung bekanntlich molekulare Umwandlungen (Gefügeveränderungen) erleidet. Zwischen 700 und 900° C hat der Stahl mit höheren Kohlenstoffgehalten auch die größere Ausdehnungsziffer.

Als geeignetste Stahlunterlage (Stahlhalter) hat sich ein Flußstahl mit 70 kg Festigkeit erwiesen, da bei Stählen mit geringerer Festigkeit, also größerer Dehnung, die Gefahr des Abbiegens des Werkzeuges im Betriebe in hohem Maße vorhanden ist.

Ein gewisses molekulares Gleichgewicht, einen Ausgleich in dem physikalischen Verhalten beider aufeinander zu schweißenden Stahlsorten kann man dadurch erhalten, daß der Stahlhalter, der eine entsprechende Aussparung für das Schnellstahlplättchen durch Hobeln, Fräsen, Schmieden (im Gesenk) erhalten hat, vorher auf etwa 900° C und das mit einer Kaltsäge vorgeschnittene oder von einer auf Maß ausgeschmiedeten oder gewalzten Stange abgetrennte Schnellstahlstückchen auf etwa 1000° C vorgewärmt werden.

Zum Anwärmen eignet sich das Schmiedefeuer oder besser ein kleiner Härteofen (Gasmuffelofen), am vorteilhaftesten ein Doppelglühraumofen [1]). Im oberen Raum werden die beiden Stahlteile vorgewärmt (700 bis 800° C), ihre Auflageflächen auf dem Amboß alsdann schnell mit einer Drahtbürste oder alten Feile vom Zunder befreit und aufeinander gelegt. Nach Aufstreuen von reichlich Schweißpulver wird mit einem leichten Hammerschlag eine vorläufige Haftung bewirkt und das Ganze in dem unteren Raum des Ofens auf Schweißhitze gebracht, die etwa 1200 bis 1300° C beträgt. Die endgültige feste Vereinigung wird durch einen längeren Druck im Schraubstock oder unter einer Spindelpresse (stoßfreier Druck) erzielt. Der Gebrauch eines Hammers für diesen Zweck ist schädlich, da infolge der

[1]) Vorbach, Elektrotechnische Zeitschrift 1916, S. 289.

unvermeidlichen Prellschläge ein dichtes Aufliegen und ein sicheres Anhaften an dem entsprechend abgesetzten Schaft unmöglich gemacht werden. Abb. 185 veranschaulicht die einzelnen Arbeitsgänge beim Aufschweißen von Schnellstahl auf eine Siemens-Martinstahlunterlage, die ohne weiteres verständlich ist. Hier wird auch die zweite Erwärmung in demselben einfachen Muffelofen bewirkt [1]).

Werden jedoch zusammenzuschweißende Stahlstücke nicht vorgewärmt, wie es zumeist bei der elektrischen Stumpfschweißung

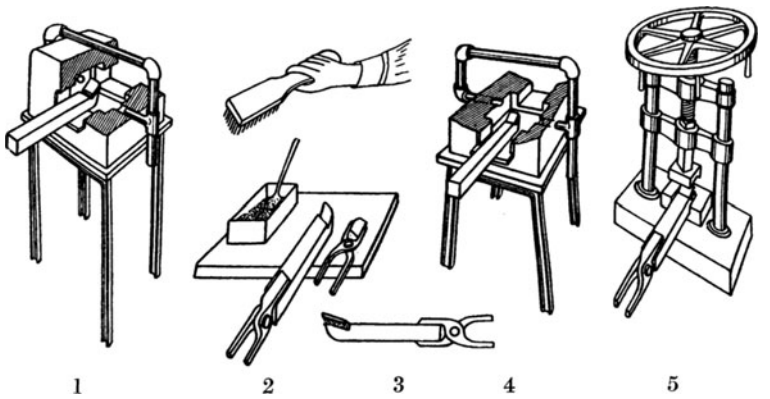


Abb. 185. Arbeitsgänge beim Aufschweißen von Schnelldrehstahl auf Stahlhalter.

geschieht, so bemerkt man nach der Einschaltung des elektrischen Stromes, daß das kleine Plättchen fast sofort rotwarm wird, während die Stahlunterlage infolge ihrer größeren Masse noch dunkel ist. Hieraus folgt, daß in diesem Falle eine Verschweißung nicht so leicht gelingen wird wie bei vorgewärmten Stücken, weil in jedem Falle das Schnellstahlplättchen bereits stark überhitzt ist, wenn der Stahlschaft erst rotwarm geworden ist. Die in diesem Falle vermehrte Anhäufung von Zunder wird eine gleichmäßige Verschweißung verhindern.

Nach dem Verschweißen muß eine allmähliche Abkühlung des Werkzeuges in einem mit glühendem Holzkohlenpulver gefüllten Glühkasten oder zumindest in einem Schmiedefeuer er-

[1]) Zeitschrift für praktische Metallbearbeitung 1920, S. 33.

folgen. Durch ein längeres Verweilen in diesen Mitteln werden die vorhandenen Spannungen in dem geschweißten Stück größtenteils aufgehoben. Würde man das Stück nach der Verschweißung sofort auf die kalte Erde legen, wie es vielfach geschieht, so würde die schnelle Erkaltung erst recht die vorhandenen Spannungen auslösen, die meist zu Rissen führen. Diese Risse treten dann nicht etwa in der Schweißfuge auf, sondern vielfach kurz hinter derselben im Schnellstahlplättchen. Nach dem Ausglühen und Vorschleifen der Schneide kann die Härtung unmittelbar durch einfaches Abkühlen in der üblichen Weise oder nach nochmaligem Erhitzen auf die Härtungstemperatur vorgenommen werden, der dann das Nachschleifen auf genaue Form folgt. Wenn auch die Härtung nach dem ersten Verfahren einfach ist und der Stahl eine leidlich gute Härte erhält, so ist doch das zweite Verfahren vorzuziehen, da die Schneidhaltigkeit des Stahls infolge der kräftigeren Abkühlung eine bessere ist. Ein nachträgliches Ausschmieden eines durch Verschweißung hergestellten Dreh- oder Hobelmeißels, auch wenn er nach dem Arbeiten unbrauchbar wurde, ist ausgeschlossen, es muß jedesmal ein neues zusammengesetztes Werkzeug hervorgeholt werden.

Drehstähle mit durchgebogenem Plättchen, bei denen der Schnittwinkel derselbe ist wie bei geraden Plättchen, haben sich am besten bewährt. Die Durchbiegung der Plättchen kann in warmem Zustande in einem besonderen Gesenk vorgenommen werden. Natürlich muß dann auch der Stahlhalter eine entsprechende Aussparung erhalten.

Bei Anwendung eines Schweißpulvers, also eines Binde- oder Flußmittels, wird bei richtiger Schweißung ein lückenloses Verschmelzen der beiderseitigen Gefüge erzielt, da die in dem Schweißpulver vorhandenen Metalloxyde bei der hohen Temperatur aufgelöst werden, die nach der Verschweißung aus der Verbindungsfuge abfließen. Da aber die meisten Schweißpulver nicht frei von gasebildenden Stoffen sind, selbst wenn sie fein und dünn fließen, so sind die Stellen, die mit Flußmitteln verschweißt werden, vielfach von undichten Stellen (Gasblasen) durchzogen. Dies muß aber vermieden werden, denn wenn nicht alle Poren und Unebenheiten zwischen Schnellstahl und Unterlage ausgefüllt sind, so tritt infolge der Unterbrechung in der Schweißfuge ein Federn oder auch Abspringen des aufgeschweißten Schnellstahlstückchens beim Gebrauch des Werkzeuges ein.

In der Wahl des Schweißmittels sollte jeder Betrieb vorsichtig sein, können doch viele Mißerfolge auf ein nicht einwandfreies Schweißpulver zurückgeführt werden. Praktische Versuche mit einer Reihe von Schweißpulvern, die sich nur durch ihre Handelsbezeichnung unterscheiden, sind unbedingt am Platze, zudem es nicht schwer ist, nach dem hohen Stande der Chemie die geeignete Zusammensetzung eines Schweißmittels zu finden. Nicht zu unterschätzen sind natürlich auch die Erfahrung, Übung und Geschicklichkeit des Schmiedes oder Schweißers, die schließlich den Ausschlag in der Wahl irgendeines Schweißmittels geben. Während des Krieges ist für wolframfreien Molybdänstahl, der infolge der Knappheit an hochlegierten Schnellstählen wieder hervorgeholt werden mußte, ein Schweißpulver empfohlen worden, das aus 2 kg Borax, 4 kg Eisenfeilspänen (Grauguß oder hochgekohlter Stahl, die leichter schmelzen als niedrig gekohltes Eisen) und 100 g Aluminiumpulver zusammengesetzt ist. Es muß gut verschlossen und trocken aufbewahrt werden. Borax löst geschmolzene Metalloxyde sehr gut auf. Die Kriegsrohstoffabteilung empfahl für die Herstellung eines geeigneten Schweißpulvers folgendes Verfahren: Borax in Stücken wird auf offenem Feuer in einem reinen eisernen Schmelzlöffel unter häufigem Umrühren geschmolzen. Die dunkelrote flüssige Masse ist auf eine reine Blechplatte zu schütten und nach dem Erhärten in einem Mörser zu Pulver zu stoßen. Dieses Pulver ist sodann im Verhältnis 2 : 3 mit reinen, trockenen Stahlspänen, die am besten mittels eines feingezahnten Walzenfräsers hergestellt werden, zu mischen. Vielfach wird den Schweißpulvern auch noch Braunstein bis zu 10 v. H., auch Aluminium, das beim Oxydieren Wärme abgibt, oder Ferrozyankalium (gelbes Blutlaugensalz), das ein Entkohlen des Stahls verhindern soll, zugesetzt.

Die elektrische Verschweißung (Stumpfschweißung ohne Pulver) ist weniger in Übung als die Feuerverschweißung. Sie kommt mehr für Bohrer und Reibahlen in Betracht, weniger für Dreh- und Hobelstähle. Hier muß das angesetzte Schnellstahlstück denselben Querschnitt wie der Schaft besitzen. Der Verschleiß an Schnellstahl bei diesem Verfahren ist größer.

Das autogene Verschweißen eignet sich nur für Werkzeuge mit schmalen Querschnitten, z. B. Abstechstählen. Diesem Verfahren haftet der Nachteil an, daß die Schweißflamme das Schnellstahlstück leicht entkohlt, auch treten an der Schweiß-

stelle infolge der hier vorhandenen örtlich hohen Hitze leicht Spannungen und somit Risse auf.

Ein von Krupp während des Krieges vorgeschlagenes Verfahren besteht in dem Auftropfen eines mit einer autogenen Schweißflamme (Azetylen und Sauerstoff) gebildeten Tropfens aus Schnellstahl auf den ebenfalls mit der Schweißflamme (neutral) flüssig gemachten Kopf des Stahlhalters, der mit einer Umwallung versehen ist, damit das Eisen nicht abfließt. Infolge des höheren spezifischen Gewichtes fließt der Schnellstahltropfen nach der tiefsten Stelle der Mulde. Auf diese Weise kann man eine beliebig hohe Schicht Schnellstahl auf dem Halterstahl bilden, die ausgezeichnet haftet. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Stahls leiden in keiner Weise. Zusammengesetzte Stähle bis zum Querschnitt von 20 × 20 mm lassen sich auf diese Weise gewinnen. Schnellstahlabfälle jeder Art finden nach diesem Verfahren noch gute Ausnutzung.

Neben dem Schweißverfahren steht das Auflöten von Schnellstahlplättchen auf eine Stahlunterlage in besonderem Ansehen. Als Lötmittel dient hier fast ausschließlich Kupfer, das eine widerstandsfähige Verbindung sowohl gegen mechanische Einwirkung als auch gegen die Schneidwärme gewährleistet. Ein Vorteil bei Verwendung dieses Lötmittels besteht darin, daß bei der hohen Löthitze ein Härten des Plättchens schon ohne weiteres möglich ist. Unter Beobachtung einer genügend hohen Löthitze (1100 bis 1200° C) und völlig sauberer Paßflächen legiert sich das Kupfer, das in Form von feinen Kupferspänen, feinem Kupferblech oder kupferhaltiger Lötpaste zwischen die zu vereinigenden Flächen gelegt wird, mit dem Stahl, es bilden sich kupfereisenhaltige Gefügebestandteile, Mischkristalle, die als Verbindungsmittel fester sind als reines Kupfer. Es muß darauf gesehen werden, daß die Lötfuge möglichst schmal und überall gleich stark ausfällt, da sie alsdann um so widerstandsfähiger ist. Gewöhnlich legt man jedoch das Kupferblech, das mit dem Schnellstahlplättchen und dem Schaft durch Bindedraht gehalten wird, auf die Lötfuge. Das flüssige Kupfer fließt in die Fuge, wodurch am ehesten eine überall gleich starke Verbindung zu erzielen ist. Zur Verhinderung und Entfernung von Oxyden können noch besondere Lötmittel dienen, die in der Hauptsache aus feingepulvertem Borax oder Natriumphosphat bestehen, mit denen die feinen Kupferspäne vermischt, das Kupferblech eingepudert oder

die Lötfuge bestrichen wird. Als beste Feuerstätte ist der Gasofen zu empfehlen, als Abkühlungsmittel dient Preßluft.

Während das Aufschweißen im Verlaufe des Krieges besonders geübt wurde, hat es das Auflöten doch nicht verdrängt. In manchen Fällen ist es dem Aufschweißen überlegen. Aus einem Vergleich der Vorzüge und Nachteile dieser beiden Verfahren ergibt sich folgendes Bild [1]):

„Vorteile des Aufschweißens:

1. Das Schweißen ist einfach. Weder brauchen die Schweißflächen genau vorgerichtet zu werden, noch sind irgendwelche anderen zeitraubenden Maßnahmen nötig.
2. Das aufgeschweißte Plättchen kann, wenn nötig, ohne weiteres nachgehärtet werden.

Nachteile des Aufschweißens:

1. Die zur Verbindung nötige hohe Hitze und der starke Druck gestatten nicht, fertige Formschneiden aufzuschweißen.
2. Für die meisten Stähle sind zum Aufdrücken besondere Gesenke nötig.

Vorteile des Auflötens:

1. Es ist kein Anpressen nötig, so daß die Plättchen nicht zerdrückt werden.
2. Die Verbindung kann schon bei einer Temperatur erzielt werden (etwa 1100° C), die auch feinen Formschneiden nichts schadet.

Nachteile des Auflötens:

1. Die zu verbindenden Flächen müssen genau vorgerichtet werden, und es sind besondere Maßnahmen nötig, damit das Plättchen beim Löten an seinem Platze bleibt.
2. Ein Nachhärten ist ohne weiteres nicht möglich.

Daraus ergibt sich einigermaßen für jedes der beiden Verbindungsverfahren das Anwendungsgebiet:

Aufschweißen wird man alle Stähle, deren Form wie bei gewöhnlichen Schrupp- und Schlichtstählen einfach ist und hinterher bequem geschliffen werden kann, ferner solche Formstähle, die nach dem Schweißen, also vor dem Härten, ausgearbeitet oder nachgearbeitet werden können.

Auflöten wird man dagegen gern schmale Plättchen, die schwer aufzupressen sind, ferner Formschneiden, die hinterher nicht gut

[1]) Simon, Schneidstähle. 2. Auflage. Berlin 1919. Verlag von Julius Springer.

nachgearbeitet werden können, und Schneiden, die durch ihre Lage schwierig zu schweißen sind, wie z. B. der Nutenstahl oder der zweischneidige, beim Hin- und Rückgang arbeitende Hobel-

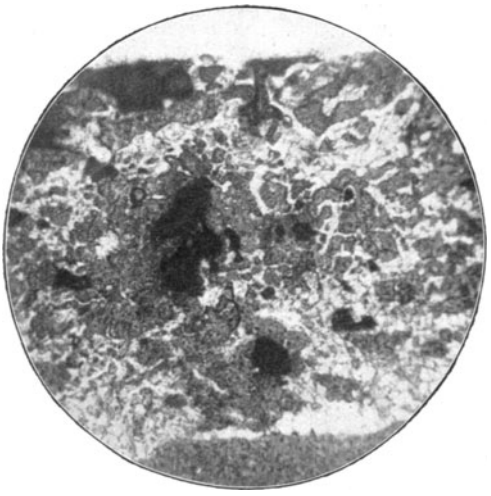


Abb. 186. Mit Schweißpulver aufgeschweißtes Schnellstahlplättchen. V = 50.



Abb. 187. Elektrische Stumpfschweißung. V = 50.

stahl für lange Blechkanten. Dieser Stahl könnte nur in gut konstruiertem Gesenk geschweißt werden. Auch wenn für den Schaft, weil er sehr hoch beansprucht ist, Werkzeugstahl genommen wird, wie es wohl bei Stoßstählen geschieht, lötet man das Plättchen auf, da Werkzeugstahl in der hohen Schweißtemperatur mürbe wird."

Die Abb. 186 bis 189 bringen einige Beispiele von aufgeschweißten und aufgelöteten Schnellstahlplättchen auf gewöhnlichen Kohlen-

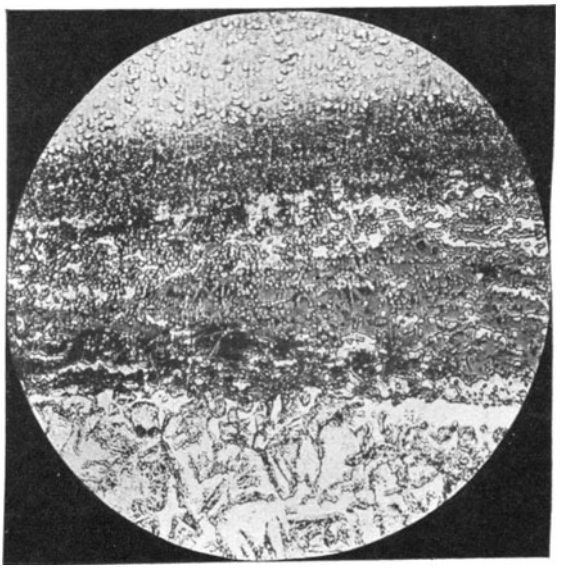


Abb. 188. Mit Kupfer aufgelötetes Schnellstahlplättchen. V = 250.

stoffstahl. Sie gehören zu Drehmeißeln, von denen Proben senkrecht zur Schweißnaht entnommen wurden. Diese wurden in der üblichen Weise zur Untersuchung unter dem Mikroskop vorbereitet. Infolge der verschiedenartigen Härte zwischen Schnelldrehstahl und Kohlenstoffstahl und der verschiedenartigen Angreifbarkeit durch Säuren wurde im wesentlichen nur das Gefüge des Kohlenstoffstahls (unterer Teil der Abbildungen) bloßgelegt. In Abb. 186 sind deutlich drei Schichten erkennbar: Schnellstahl, Schweißfuge und Kohlenstoffstahl. Hier ist die Schweißfuge in-

folge der bei der Schweißung entstandenen Gase mit Löchern (Gasblasen) reichlich durchzogen, die eine Unterbrechung in der Verschweißung darstellen. Dagegen konnte an anderen Stellen eine einwandfreie Verschweißung beobachtet werden. Auch Schlackenteile, die durch den Druck der Presse nicht herausgequetscht werden und in der Schweißfuge erstarren, sind ebenfalls vom Übel, da auch sie eine innige Verwachsung der Gefüge verhindern.

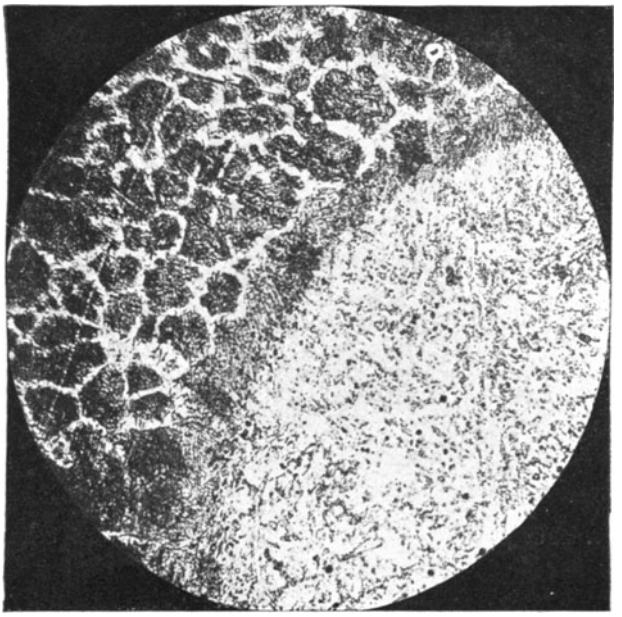


Abb. 189. Autogen verschweißtes Schnellstahlplättchen. V = 250.

Das Schweißmittel nimmt bei der hohen Schweißhitze einen stahlähnlichen Charakter an, durch den eine innige Vereinigung zwischen Schnellstahl und Kohlenstoffstahl gewährleistet wird.

Eine einwandfreie Verschweißung erkennt man auch aus der Abb. 187, die mit dem elektrischen Strom erzielt wurde. Die Gefüge sind hier ebenfalls innig miteinander verwachsen.

Wird Schnellstahl mit Kupfer auf Kohlenstoffstahl aufgelötet, so ist nicht immer eine Schicht Mischkristalle von Kupfer und Eisen zu erzielen, sich nur die bei Anwendung einer höheren

Löttemperatur ergibt und von der die Güte der Verbindung abhängt (Abb. 188). Die Verschweißung nach Abb. 189 ist autogen erfolgt; sie ist ebenfalls gut gelungen [1]).

Abb. 190 stellt noch eine Verschweißung von Schnelldrehstahl mit einem Stahldraht dar, die im Salzbadofen erhalten wurde. Infolge des Härteunterschiedes zwischen Schnellstahl und Kohlenstoffstahl entstehen beim Polieren solcher Schliffe Höhenunterschiede, die auf dem Lichtbild dadurch zum Vorschein gekommen

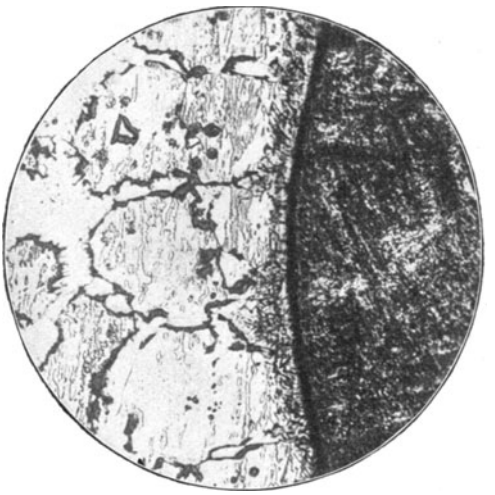


Abb. 190. Im Salzbadofen erfolgte Verschweißung von Schnellstahl, (links) mit Eisendraht (rechts).
V = 250.

sind, daß der scharfe Übergang durch eine Schattenkante verdeckt ist. Die Verschweißung ist auch hier durchaus einwandfrei.

Aus allen angeführten Beispielen erhellt, daß sowohl durch Schweißmittel als auch durch die elektrische Verschweißung und durch Verlötung bei sachgemäßer Handhabung der Verfahren, die von der Höhe der zweckmäßigen Schweißtemperatur und der Geschicklichkeit des Schweißers abhängt, eine vollkommen lückenlose Verbindung zwischen Schnellstahl und Stahlhalter zu erzielen ist. Bei Verwendung von Schweißpulvern und Lötmitteln ist Voraussetzung, daß die Zwischenschicht genügend

[1]) Drucksache Nr. 4, 1918, des Vereins deutscher Maschinenbauanstalten.

Festigkeit und Zähigkeit besitzt, um den im Betriebe auftretenden starken Drucken und Stößen des Drehstahls standzuhalten. Indessen wird man wohl dem elektrischen Schweißverfahren den Vorzug geben müssen, weil es unabhängig von jedem Schweißmittel eine zuverlässige Verbindung der beiden Stahlteile am ehesten gewährleistet. Die mikroskopische Untersuchung der Schweißfuge allein reicht zur Beurteilung eines Schweißverfahrens nicht aus, weil sie über die physikalischen Eigenschaften der Schweißnaht bzw. Verlötungsnaht keine Auskunft gibt. Erst die Betriebsergebnisse an Drehstählen mit verschiedenartig aufgeschweißten bzw. aufgelöteten Schnellstahlplättchen können über die Vorzüge und Nachteile der verschiedenen Vereinigungsverfahren endgültig entscheiden. Immerhin muß die mikroskopische Prüfung als ein zuverlässiges Hilfsmittel für die Beurteilung der einzelnen Verfahren angesehen werden.

XI. Härteanlagen.

Für jeden Werkstättenbetrieb, der seine Schneidwerkzeuge sowie alle im Einsatz zu härtenden Gegenstände selbst herstellt, ist die Härterei die wichtigste Abteilung; hängt doch von der Leistungsfähigkeit der Härterei die Schnittfähigkeit und damit die Lebensdauer des Werkzeuges, also die Wirtschaftlichkeit des ganzen Betriebes in erheblichem Maße ab. Daher erstrecken sich die Verbesserungen für eine neuzeitlich eingerichtete Härterei nicht nur auf die für die verschiedenen Härteverfahren notwendigen Öfen, sondern auch auf alle übrigen Einrichtungen, nicht zuletzt auf die zur Bestimmung einer zweckentsprechenden Temperatur notwendigen Wärmemeßverfahren. Die Unterbringung der Härterei in großen hellen und sauberen Räumen und nicht in schmutzigen dunklen Ecken ist selbstverständlich.

1. Öfen.

Ein möglichst vollkommener Ofen für Härtezwecke muß folgenden Bedingungen genügen [1]):

1. Es müssen Temperaturen von 700—1350° C erzeugt werden können.
2. Die Erwärmung des Ofens muß möglichst schnell vonstatten gehen.
3. Die verlangten Temperaturen müssen mit einem Spielraum von 30° C eingestellt werden können.
4. Die Erwärmung muß unter Abschluß von Sauerstoff und Verbrennungsgasen vor sich gehen.
5. Eine Beschleunigung der Erhitzungszeit muß erreicht werden können ohne Anwendung einer Temperatur, die höher als die für den Stahl passende ist.

[1]) Straube, Stahl und Eisen 1909, S. 628.

Aus Gründen, die schon mitgeteilt worden sind, ist es wünschenswert, daß die Temperatur eines Ofens nicht höher sein sollte als diejenige, auf welche das Werkzeug zum Härten erhitzt zu werden braucht. Es erfordert sonst einen hohen Grad von Geschicklichkeit seitens des Härters, das Überhitzen besonders der Ecken und dünneren Teile an Werkzeugen, namentlich der Schneiden, zu vermeiden. Da auch die äußeren Schichten des Werkzeuges schneller heiß werden als die inneren, so muß der Härter genügende Aufmerksamkeit anwenden und großen Scharfsinn besitzen, um zu bestimmen, wann die Härtungstemperatur genügend tief in das Werkzeug eingedrungen ist.

Das gewöhnliche Schmiedefeuer ist der schlechteste Ofenform für Härtezwecke. Aber es ist für die meisten Gegenstände sehr bequem und billig, und deswegen bleibt es, obgleich es eine Anzahl Mängel besitzt, doch im Gebrauch. Ein Wärmemeßgerät, gleichgültig welcher Art, kann beim Schmiedefeuer nicht verwendet werden, mit Ausnahme von solchen die Temperatur annähernd feststellenden Mitteln, die auf S. 297 erwähnt werden. Wie ungleichmäßig Werkzeuge im Schmiedefeuer erwärmt werden, läßt sich sehr leicht dadurch feststellen, daß man z. B. die Schneide eines Meißels mit einer im Schmiedefeuer schmelzbaren Masse bestreicht. Um nur ungefähr eine gleichmäßige Erhitzung zu erreichen, ist es notwendig, das Werkzeug beständig in Drehung zu erhalten und es häufig aus dem Feuer zu ziehen, damit die Hitze an den Ecken und Kanten, die sich in dem Feuer schneller erwärmt haben, infolge der schnelleren Abkühlung an der Luft wenigstens annähernd gleichmäßig geregelt werden kann. Das offene Feuer kann für vorübergehende Zwecke in verschiedener Weise so angeordnet und gehandhabt werden, daß man bis zu einem gewissen Grade die zweckmäßigsten Bedingungen trifft, die für ein empfindliches Werkzeug verlangt werden. Der einfachste Weg ist der, feuchte Schmiedekohlen auf dem Herde anzuhäufen und das Feuer durch ein Gebläse anzufachen, bis ein Hohlraum im Brennmaterial vorhanden ist. In dieser behelfsmäßigen Muffel von glühendem Brennstoff kann die Erhitzung sehr kniffliger, empfindlicher oder formenreicher Gegenstände ziemlich gleichmäßig vorgenommen werden. Kleine Koksstückchen müssen gelegentlich in das Feuer geworfen und mit einigen Windstößen zu hellem Aufflammen gebracht werden. Die Wölbung über dem Hohlraum wird durch Zugabe frischer und feuchter Kohle un-

verletzt erhalten. Der Hohlraum wird natürlich allmählich größer und wird dann mit Vorteil für größere Werkzeuge gebraucht, die bis zuletzt zurückbehalten worden sind.

Wenn eine Ergänzung lebhaft backender Kohle nicht ausführbar, oder wenn nur die Erwärmung eines einzelnen Werkstückes erforderlich ist, so ist es zweckmäßig, das Feuer um ein schmiedeeisernes oder gußeisernes Rohr herumzubauen und das in Holzkohlenpulver eingepackte Werkstück im Innern des Rohres auf die geeignete Härtungstemperatur zu bringen (Abb. 191)[1]). Das Eisen ist ein sehr guter Wärmeleiter, und deswegen wird die Wärme in einem eisernen Rohr gleichmäßiger verteilt, als in einem Tonrohr oder in einer Tonmuffel. Wenn auch das Metallrohr schnell durchbrennt, so kann es fast kostenlos aus dem Abfallhaufen der Werkstatt ersetzt werden. Zur Erwärmung

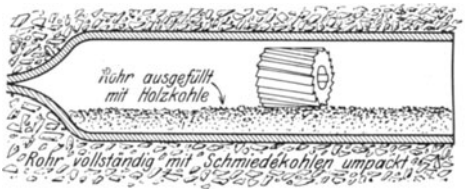


Abb. 191. Glühen eines Fräsers in einer behelfsmäßigen Muffel aus Gasrohr.

kleiner Gewindebohrer oder Spiralbohrer kann ein Blindflansch vom Rohrleger, eine gebrauchte Granate oder sogar ein alter eiserner Schmortopf in das Feuer gestellt und mit Blei oder Salz beschickt werden, um sich den Vorteil der Erhitzung einer größeren Zahl von Werkzeugen auf einmal in einer gleichmäßigen Art zu verschaffen.

Wo ein Herd nur für das Schmieden und Härten von Werkzeugen gebraucht wird, kann ein feststehendes Gewölbe über demselben gebaut werden, wie es in Abb. 192 dargestellt ist. Wenn erst das Gewölbe durch und durch heiß geworden ist, strahlt es einen großen Teil der Hitze zurück und hilft die Temperatur gleichmäßig gestalten. Der als Brennstoff verwendete Koks fällt durch einen Schlitz in der Decke gegen die hintere Seite und der ganze Herd kann dicht verschlossen werden, so daß die einzige

[1]) Schiefer und Grün, Lehrgang der Härtetechnik, S. 64 und 159. 2. Aufl. Verlag von Julius Springer. Berlin 1921.

Möglichkeit für den Abzug der Verbrennungsgase eine von den zwei Stirnöffnungen ist, die, falls es wünschenswert ist, mit Ziegelsteinen verschlossen werden können. Diese Anordnung vermindert die Neigung zur Bildung von Glühspan auf dem Stahl. Der Ofen ist sowohl zum Erwärmen von Schnelldrehstählen als auch von gewöhnlichen Kohlenstoffstählen geeignet.

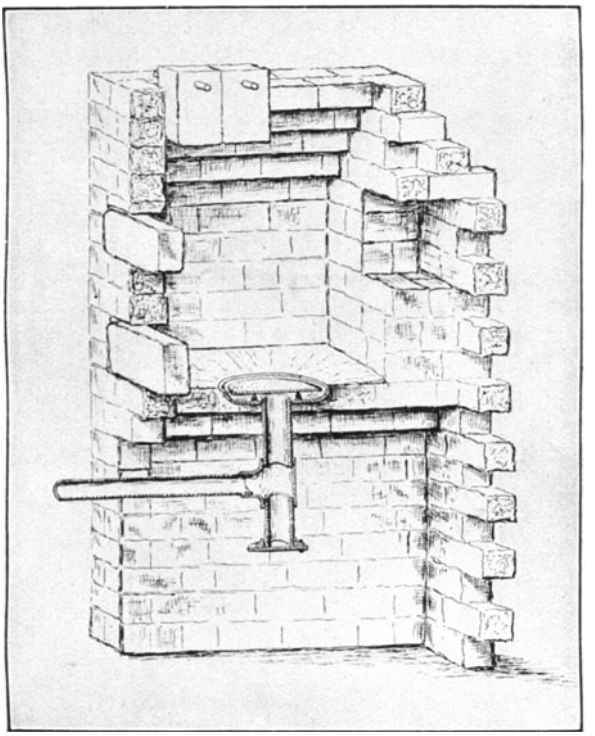


Abb. 192. Schmiedeherd für Härtezwecke.

Wenn hier besonders auf den Koks als Brennstoff hingewiesen worden ist, so darf nicht unberücksichtigt gelassen werden, daß in ihm fremde ihn verunreinigende Bestandteile enthalten sind, die bei dem Verbrennungsprozeß auf den zu erwärmenden Stahlgegenstand schädlich einwirken. Diese schädliche Beimengung ist namentlich der Schwefel, der bereits in der Rohkohle zumeist als Schwefelkies vorhanden war, aber durch die trockene

Destillation, die als Enderzeugnis den Koks ergibt, in gewissem Sinne entfernt worden ist[1]). Indessen gibt es Kokssorten, die noch verhältnismäßig große Mengen Schwefel enthalten. Der Koks ist zwar ein bequemer Heizstoff, aber der Härter wird der Holzkohle den Vorzug geben, weil in ihm auf den Stahl schädlich wirkende Bestandteile nur in zu vernachlässigenden Mengen vorkommen. Dieser geläuterte Brennstoff wird denn auch zur Erwärmung von Werkzeugen und anderen Stahlgegenständen zum Zwecke der Härtung und des Schmiedens von den Stahllieferanten empfohlen, da die Holzkohle auch eine sehr gleichmäßige Wärme liefert. Da sie beim Verbrennen nur rund 6000—7000 Wärmeeinheiten abgibt, so ist die Gefahr des Verbrennens des Stahls infolge Unachtsamkeit des Härters nicht so groß als wenn Koks (7000—8000 Wärmeeinheiten auf 1 kg) aufgeschüttet wird.

Da Holzkohle verhältnismäßig teuer ist, wird sie vielfach mit Koks vermischt angewendet. Für größere Arbeitsstücke genügt diese Mischung auch vollkommen, die Feuerbehandlung kleiner und feiner Werkzeuge sollte aber nur in Holzkohle erfolgen. Schlechte Erfolge bei der Härtung sind daher vielfach auf die Verwendung eines ungeeigneten Brennstoffes zurückzuführen, die besonders dem Schwefel zuzuschreiben sind, der sich mit dem Stahl zu Schwefeleisen verbindet und auf ihm die sog. Weichstellen (Weichflecken) von zumeist rauhem, löcherigem Aussehen bildet, die beim Abschrecken nicht hart werden und beim Schmieden die Ursache zu Rissen geben können. Ein Stahl mit diesen Weichstellen kann nicht wieder hergestellt werden. Beim Gebrauch von Kohlen und Koks ist also darauf zu achten, daß der Schwefelgehalt das zulässige Maß nicht überschreitet.

Nicht zu vergessen ist natürlich, daß sowohl die Holzkohle als auch der Koks vollkommen trocken sind, die geringste Feuchtigkeit kann bewirken, daß der bei der Erhitzung entweichende Wasserdampf das glühende Werkstück oberflächlich entkohlt, das alsdann für viele Fälle unbrauchbar geworden ist.

Eine große Menge verschiedener Öfen ist im Gebrauch, die mit festem, flüssigem oder gasförmigem Brennstoff geheizt werden, um besonderen Anforderungen des Härtereibetriebes zu genügen. Da Werbeschriften von Ofenfabrikanten leicht erhältlich sind, so

[1]) Vgl. Schäfer, Über den Schwefel in den Brennstoffen. Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preußischen Staate 1910, S. 281 und Gießereizeitung 1911, S. 617 und 656.

ist es nicht nötig, hier im einzelnen konstruktive Besonderheiten wiederzugeben. Doch sollen einige Öfen, die sich in der Härtepraxis gut bewährt haben, hinsichtlich ihres Aufbaues und ihrer Wirkungsweise näher besprochen werden.

Fester Brennstoff verschwindet allmählich aus dem Gebrauch und kann entweder nur wegen seiner Billigkeit oder wegen seines bequemen Bezuges für solche Gegenden empfohlen werden, wo Gas oder Heizöl teuer oder schwer zu beschaffen ist. Ein zweckmäßig gebauter Flammofen, in dem Koks mit einer geringen Menge Kohle vermischt, verbrannt wird, ist in Abb. 108 wiedergegeben. Diese Anordnung ist solchen Öfen eigentümlich, die festen Brennstoff verbrennen und die zur Zeit zum Erhitzen verschiedener Arten von Werkzeugen im Gebrauch sind. Die jeweiligen Abmessungen sind natürlich verschieden, und besondere Sorge muß darauf gelegt werden, wirksame Zugklappen anzubringen. Der Zug kann mit Hilfe einer Tür an dem Aschenfall geregelt werden.

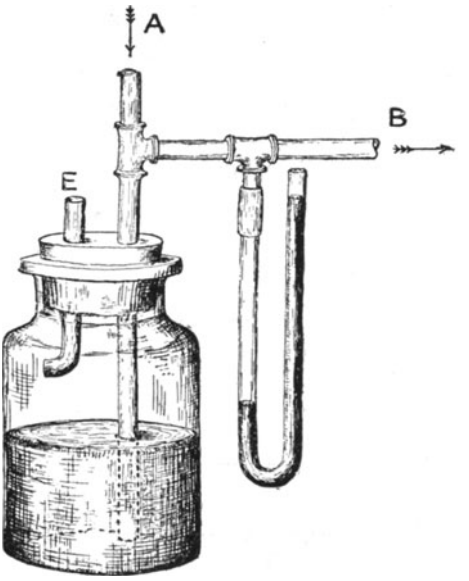


Abb. 193. Einfache Vorrichtung zur Regelung von Preßluft.

Was indessen die Bequemlichkeit anbetrifft, so ist Leuchtgas (5000 Wärmeeinheiten auf 1 cbm) oder Generatorgas (950 Wärmeeinheiten auf 1 cbm) jeder anderen Art von Brennstoff überlegen. Das Leuchtgas kann mit Luftbrennern bei jedem üblichen Härteofen zur Anwendung kommen und Temperaturen bis zu 1000° C und darüber erzeugen. Für gewöhnliche Härtezwecke ist ein Gefäß, das aus Gußeisen oder Kesselblech hergestellt sein kann, besser als eine Muffel, da im ersteren Falle die Verbrennungsgase, die das Werkstück umgeben, weniger schädlich sind als die oxydierenden Einflüsse der unverdünnten Luft in der Muffel.

Preßluft erweitert bedeutend die Anwendbarkeit von gasförmigen Brennstoffen, und es ist manchmal ratsam, sie sogar für niedrigere Temperaturen zu gebrauchen und die Hitze nach jeder gewünschten, von den Heizkanälen unabhängigen Richtung zu leiten.

Wenn die Zuführung der Preßluft aus einer Hauptleitung oder irgendeiner anderen, nicht besonders für diesen Zweck vorgesehenen Quelle erfolgt, dann ist ein bequemes Hilfsmittel zur Veränderung und Begrenzung des Druckes zweckdienlich. Abb. 193 ist eine einfache Ausführung einer Laboratoriumsvor-

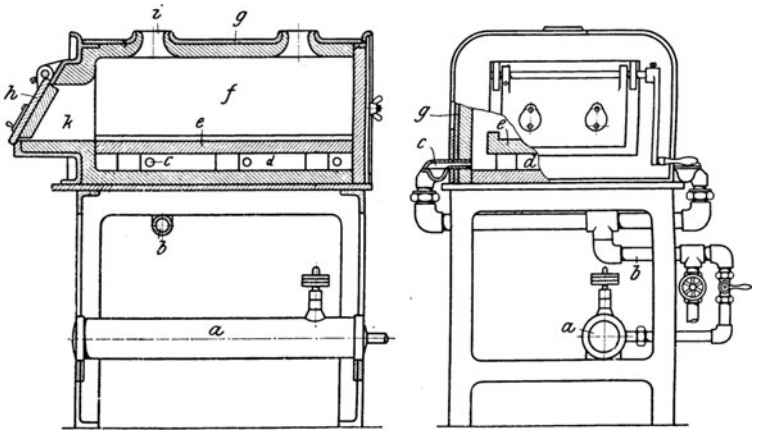


Abb. 194. Härteofen mit Gasfeuerung.

richtung, die sich sehr gut für diese Zwecke eignet. Die Luft tritt von der Hauptleitung bei *A* ein und geht bei *B* in den Ofen. Der Druck wird nach Bedarf durch die Tiefe geregelt, bis zu welcher das lange Rohr unter die Oberfläche des Quecksilbers eintaucht. Wenn der verlangte Druck überschritten wird, so wird das Quecksilber zurückgedrängt, und der Überschuß an Luft entweicht durch *E*. Es sind verschiedene erfolgreiche Versuche gemacht worden, das Gas anstatt der Luft zu verdichten. Aus rein theoretischen Gründen würde es ein Vorteil sein, wenn man nur den Druck des Gases zu überwachen hat, da der Druck der Luft bei gewöhnlichen Temperaturen praktisch gleichbleibend ist.

Einen Härteofen mit Gasfeuerung (Plattenglühofen) von praktischer Bauart, der fast in jeder neuzeitlichen Härterei

im Gebrauch ist, stellt die Abb. 194 dar. Für diesen Ofen [1]) wird im allgemeinen Leuchtgas, welches mit Luft von einem Druck von 700—800 mm Wassersäule vermischt wird, verwendet. Die in einem Gebläse erzeugte Druckluft gelangt zunächst in den Windkessel *a* und dann in die Rohrleitung *k*, in der sich die Druckluft mit dem Gas vermischt. Durch die zu beiden Seiten des Ofens angeordneten und zueinander versetzten Düsen *c* tritt das Gasgemisch in den Verbrennungsraum *d*, der durch eine Schamotteplatte *e* vom Heizraum *f* getrennt ist. „Die Schamotteplatte *e* füllt in ihrer Breite den mit Schamotte ausgefütterten Mantel des Ofens nicht aus, sondern zwischen der Auskleidung des Mantels und den Seitenflächen der Platte *e* ist zu beiden Seiten derselben ein Spalt offen gelassen, durch den die Hitze aus dem Verbrennungsraum in den Heizraum eintreten kann. Hierdurch wird der Vorteil erzielt, daß die Hitze im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Muffelöfen unmittelbar auf den zu erwärmenden Gegenstand einwirken kann." Zur Vermeidung eines Temperaturabfalles beim Öffnen der Muffel sowie auch zum Vorwärmen der zu erhitzenden Gegenstände dient der durch die Tür *h* verschlossene Vorbau *k* und zur Beobachtung der fortschreitenden Erwärmung des zu erhitzenden Arbeitsstückes dienen in der Tür vorgesehene Schaulöcher. Durch die beiden an der Stirnfläche des Ofens befindlichen Öffnungen *i* können die Abgase entweichen. Bei der Erzeugung sehr hoher Temperaturen müssen diese beiden Öffnungen abgedeckt werden. Bei Verwendung von Muffelöfen (Gasmuffelöfen) besitzen die rechteckigen Muffeln gegenüber den ovalen Muffeln den Vorteil, daß sie, wenn sie auch weniger haltbar sind als ovale, doch die größte Raumausnutzung gestatten. Doppelglühraumöfen, deren beide Heizräume ebenfalls muffelförmig ausgebildet werden können, werden für manche Zwecke bevorzugt (vgl. S. 236).

Der Gasverbrauch wird durch eine Gasuhr ständig überwacht, doch werden hierfür neuerdings mehr die sog. Skalengasmesser bevorzugt, Geräte von einfacher Bauart, die senkrecht in das zum Härteofen führende Gasrohr eingebaut werden. An dem aus einem Glasrohr bestehenden, in einem Schutzrohr befindlichen Skalagasmesser bewegt sich völlig reibungslos ein Schwimmer oder Schweber aus Hartgummi, der den jeweiligen Gasverbrauch an der auf dem Glasrohr eingeätzten Teilung anzeigt.

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 281.

Die früher mit den Ölöfen verbundene Unsicherheit in der Erwärmung von Werkstücken ist heute fast gänzlich beseitigt, und das gewöhnliche Rohöl kann jetzt ohne Bedenken verbrannt werden, wodurch sich die Ausgaben für diese Beheizung bisweilen bis unter die Kosten der Leuchtgasbeheizung ermäßigen. Aus diesem Grunde gewinnt auch die Ölfeuerung für Härte- und Glühöfen immer mehr an Bedeutung, und namentlich vor dem Kriege konnte man beobachten, daß ein Wettkampf zwischen Öl- und Gasfeuerung in den Härtereien ausgefochten wurde. Es ist daher wichtig, daß auch der Härter sich mit den Grundlagen der Ölfeuerung bekannt macht, der heute infolge der Brennstoffnot für alle industriellen Öfen und Heizanlagen erhöhter Wert zugesprochen werden muß.

Das zur Verwendung gelangende, vor dem Kriege sehr billige Steinkohlenteeröl, ein reines Destillationserzeugnis des Steinkohlenteers, ist von grünlichschwarzer Farbe, leichtflüssig und technisch wasserfrei mit dem hohen Heizwert von etwa 9000—10000 Wärmeeinheiten auf 1 kg. Um es vollständig zu verbrennen, muß es in feinzerstäubtem Zustande in den Feuerungsraum gebracht und hier verbrannt werden, was durch einen entsprechend ausgebildeten Brenner oder eine Heizdüse geschieht. Eine leichte Regelung der Öl- und Luftzuführung und damit eine Anpassung an die geforderte Wärmemenge muß mit dem Brenner erreicht werden. Öfen für die Wärmebehandlung größerer Stücke müssen einen leichtbeweglichen Brenner hinsichtlich seiner Flammenrichtung besitzen, um alle wichtigen Stellen der Herdfläche leicht bestreichen zu können.

Die Zerstäubung des Öles, d. h. die Auflösung des aus der Ölaustrittsöffnung des Brenners austretenden Ölfadens in eine große Anzahl kleinster Tröpfchen, deren Durchmesser $^1/_{100}$ mm und weniger beträgt, kann durch Unterdrucksetzung dieses Heizstoffes mittels Dampf, Preß- oder Gebläseluft geschehen. In Glüh- und Härteanlagen findet man fast durchweg eine Zerstäubung durch Preß- oder Gebläseluft [1]).

An einen Zerstäuberbrenner müssen folgende Anforderungen gestellt werden:

1. Die Zerstäubung muß eine vollkommene sein.
2. Der Brenner muß eine möglichst weite Regelbarkeit besitzen.

[1]) Vgl. Essich, Die Ölfeuerungstechnik. Berlin 1919. Verlag von Julius Springer; Hausenfelder, Stahl und Eisen 1912, S. 772 und Boye, Stahl und Eisen 1912, S. 927.

3. Die Verbrennung des Öls muß eine vollkommene und rauchfreie sein.
4. Das Auftreten einer Stichflamme muß vermieden werden.
5. Die Inbetriebsetzung muß einfach und sicher sein.
6. Der Brenner soll mit geringem Öldruck arbeiten.
7. Die zur Zerstäubung erforderliche Arbeit muß möglichst gering sein.

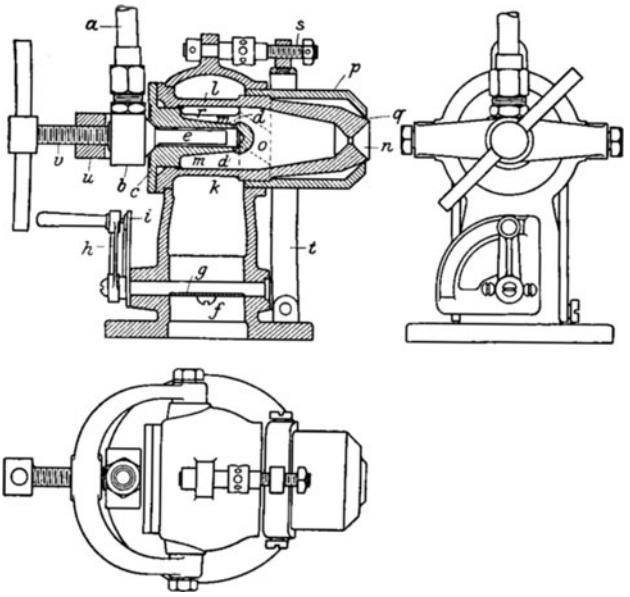


Abb. 195. Brenner für Ölfeuerungen.

Von der großen Anzahl vorhandener Brennerausführungen sei hier die Bauart der Deutschen Ölfeuerungswerke in Neckarsulm beschrieben. Dieser Brenner (Abb. 195[1])) besteht aus einem Gehäuse *k*, dem die Luft durch eine Drosselklappe *g* regelbar zugeführt wird. Das Gehäuse enthält eine äußere Düse *p* und eine innere Düse *n*. Dieser strömt die Luft durch Tangentialschlitze *r* zu. In den zwischen beiden Düsen vorhandenen Ringraum tritt die Luft durch Kanäle *o*. Das bei *a* eingeführte Öl tritt nach Passieren eines Filters *e* durch eine Anzahl feiner Bohrungen *d*

[1]) Essich, a. a. O. S. 32.

in den inneren Düsenraum, wo es durch die wirbelnde Luft erfaßt und zerstäubt wird. Der bei *n* austretende Ölnebel wird durch den ringförmigen Schlitz *q* mit einem Zusatzluftmantel umgeben. Die Größe dieses Schlitzes und damit die Menge der Zusatzluft läßt sich durch axiale Verschiebung der Düse *p* vermittels der Schraube *s* regeln. Nach Lösung der Knebelschraube *v* und Zurückklappen des Bügels *u* kann die Ölzuleitung samt dem Ölsieb *e*, der Öldüse *m* und der inneren Luftdüse *l* herausgezogen und gereinigt werden.

Zu den notwendigen Geräten einer Ölfeuerungsanlage gehört zunächst der Ölbehälter, der bei kleineren Einrichtungen über der betreffenden Feuerstelle oder besser seitwärts davon angeordnet ist und dem das Heizöl durch eine einfache Handpumpe aus dem Ölfaß zugeführt wird. In die Ölleitungen werden gegebenenfalls noch zur Regelung des Ölzuflusses Ventile eingebaut. Auch ist für ein störungsfreies Arbeiten einer Ölfeuerungsanlage der Einbau von Filtern zur Zurückhaltung des in dem Öl enthaltenen Schmutzes und etwaiger Naphthalinkristalle von großer Wichtigkeit. Um eine Ölfeuerungsanlage schnell in Betrieb zu setzen, empfiehlt sich der Gebrauch eines Ölvorwärmers, der das jeweils zum Brenner fließende Öl anheizt, das dadurch dünnflüssiger und leichter zerstäubt wird.

Die Lieferung der Zerstäubungs- und Verbrennungsluft geschieht je nach der Größe der zu erzeugenden Luftpressung und der Luftmenge durch Ventilatoren, Gebläse oder Kompressoren. Letztere kommen nur bei Ölfeuerungsanlagen größten Umfanges in Betracht. Zur Regelung der Luftmenge sind in die Luftleitungen noch Hähne, Drosselklappen oder Ventile eingebaut. Die Bedienung des Brenners beschränkt sich daher lediglich auf die Einstellung des richtigen Öl- und Luftgemisches.

Alle für die Glühung und Härtung von Stahl verwendeten Öfen können durch Teeröl geheizt werden. Muffelöfen mit Ölfeuerung besitzen gegenüber solchen mit Kohlenbeheizung unter anderem den Vorteil, daß die Ölflamme über der Muffel angeordnet werden kann und statt Schamottemuffeln gußeiserne Muffeln herangezogen werden können, die von den Abgasen der Ölflamme weniger angegriffen werden als von der Kohlenflamme. Auch ist die Wärmeübertragung durch eiserne Muffeln bei Ölbeheizung bedeutend günstiger als durch Schamottemuffeln.

Die sog. Muffelfeuer, die meist fahrbar gebaut werden,

können infolge ihrer bequemen Ölbeheizung leicht an die Arbeitsstelle geschafft werden.

Bei Glühöfen liegt der Vorteil der Ölfeuerung darin, daß die Heizgase je nach Bedarf oxydierend, neutral oder reduzierend

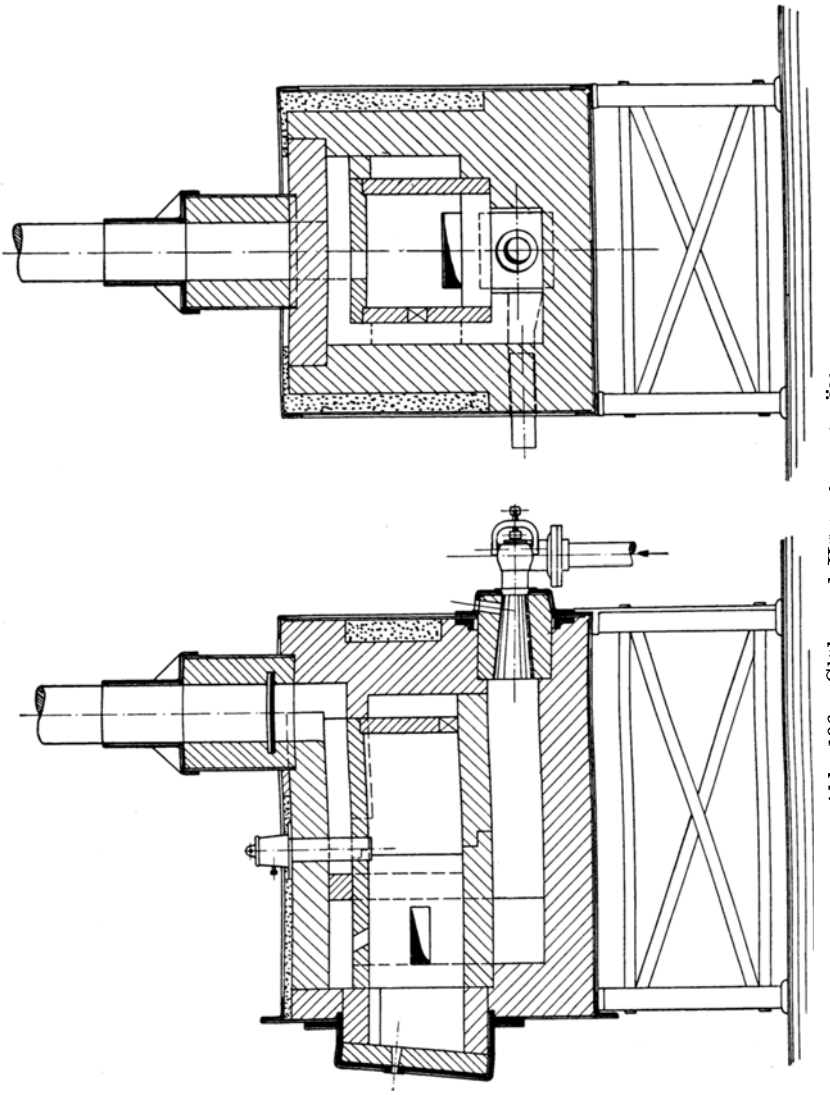


Abb. 196. Glüh- und Härteofen mit Ölfeuerung.

eingestellt werden können. Da Teeröle fast schwefelfrei sind, können vielfach offene Glühöfen verwandt werden, während die Kohlenfeuerung Muffeln bedingt. Plattenglühöfen, Topfglühöfen und Salzbadhärteöfen werden ebenfalls vorteilhaft mit Ölfeuerung versehen. Die Abgase bei Ölfeuerungen können noch zur Vorwärmung des Härtegutes, das sich in einem besonderen Vorwärmeofen befindet, der z. B. als Plattenofen ausgebildet sein kann, ausgenutzt werden. Aber auch zur Anwärmung der Verbrennungsluft können die abziehenden Gase noch verwandt werden. Da die Ölfeuerung im großen und ganzen wirtschaftlicher arbeitet als die Gasfeuerung, so empfiehlt es sich mitunter, bestehende Gasöfen (Muffel- oder Plattenöfen), namentlich wenn sie dauernd benutzt werden, auf Ölfeuerung umzubauen, was leicht und ohne wesentliche Kosten bewerkstelligt werden kann [1]).

In Abb. 196 ist eine Muffelofenanlage der Deutschen Ölfeuerungswerke in Neckarsulm, die ohne weiteres verständlich ist, veranschaulicht.

Trotz der unleugbaren Vorteile der mit Öl beheizten Glüh- und Härteöfen — vollkommene Verbrennung, daher fast vollständige Ausnutzung der gesamten Wärmeeinheiten, einfache Regelung der Luftzufuhr, Arbeit mit oxydierender, neutraler oder reduzierender Flamme, Fortfall der Reinigung der Feuerung von Aschen und Schlacken, daher Ersparnis an Arbeitskräften, Verkürzung der Anheizzeit gegenüber Kohlenfeuerung, Erreichung von Temperaturen bis 1300° C und darüber usw. — stehen dem verhältnismäßig einfachen Betriebe der Ölfeuerung doch Schwächen gegenüber, die beachtet werden müssen [2]). Da das Teeröl schnell vergast, so erlöscht bei Luftmangel leicht die Flamme. Das vergaste Öl trifft dann auf die heiße Fläche des Feuerungsraums auf, und da die Wiederentzündung nicht sofort eintritt, bilden sich im Feuerungsraum, der zur Beobachtung der Flamme Schauöffnungen enthalten muß, zerknallbare Gase, die bei Wiederinbrandsetzung leicht entzündet werden können und Material und Menschen in Gefahr bringen. Reißt daher die Flamme ab, so müssen vor Erneuerung der Feuerung die Knallgase durch Luftzug abgeleitet werden. Das etwa aus den Düsen beim Aussetzen der Flamme

[1]) Boye, Werkstattstechnik 1912, S. 233 und Boye, Der Betrieb 1920, S. 289.

[2]) Vgl. Zeitschrift des Bayrischen Revisionsvereins 1919, S. 113, 139 und 140.

abtropfende unverbrannte Öl darf nicht auf den Boden des Arbeitsraumes fallen, sondern es wird am besten von heißen Schamotteplatten aufgefangen und hier, außerhalb des Arbeitsraums, entzündet.

Der Ölbehälter soll, wie bereits bemerkt, tunlichst nicht unmittelbar über dem Ofen, sondern seitlich von ihm, bei kleinen Platten- oder Muffelöfen auch unter dem Feuerungsraum, angeordnet werden, um eine übermäßige Erwärmung des Öls über den Flammpunkt, der mindestens über 60° C liegen soll, vorzubeugen. Ferner ist darauf zu achten, daß der Ölbehälter vollständig geschlossen und mit Ölstandsanzeiger, Thermometer und Überlaufrohr versehen ist, das aus dem Heizraum führt. Auch müssen offene Flammen und glühende Körper von Behälter und Ölleitung ferngehalten werden. Vor dem Anzünden der Brenner sind die Feuerzüge durch volles Öffnen des Rauchschiebers und der Luftklappe gut durchzulüften. Wird der Brenner abgestellt, so muß das Ölventil vor dem Gebläseventil geschlossen werden.

Der Hauptwert der mit Gas oder Öl geheizten Öfen liegt nicht allein darin, daß sie sauber im Gebrauch sind, oder daß sie schnell auf jede gewünschte Temperatur gebracht werden können; es ist vielmehr die Möglichkeit, die erforderliche Temperatur während jeder gewünschten Zeitdauer gleichmäßig auf derselben Höhe zu erhalten. Und daher kann der Ofen unter der Voraussetzung, daß die Gaszufuhr stets gleichmäßig ist, bis zu der geeigneten Temperatur erhitzt werden, und die Werkzeuge können im Ofen bleiben, bis sie jene Temperatur erreicht haben. Dies erleichtert die Überwachung, macht Überhitzen fast unmöglich und vereinfacht bei Gegenständen derselben Art die Härtearbeit. Es ist jedoch notwendig, zuerst nicht nur auf den Gashahn, sondern auch auf die Luftklappen zu achten, um Unregelmäßigkeiten während der Erhitzung sowie Glühspanbildung zu vermeiden.

Die Elektrizität als Wärmequelle ist ebenfalls für Muffelöfen herangezogen worden. Ein Ofen dieser Art (Abb. 197), von Heräus in Hanau gebaut, besteht aus Berliner Schamotte [1]).

Als Wärmeüberträger dient ein Platinband von 0,007 mm Stärke.

Dieser Ofen ist zwar mehr für Laboratoriumszwecke bestimmt, doch sind die Fachleute seit vielen Jahren eifrig bemüht, einen brauchbaren Ofen mit unmittelbarer Beheizung durch den elektrischen Strom für Werkzeugstahl und Massenhärtung zu bauen,

[1]) Stahl und Eisen 1909, S. 664.

der sich namentlich für hohe Wärmegrade, die z. B. die Schnelldrehstähle verlangen, eignet und an jede Stromart und Netzspannung angeschlossen werden kann. Die zur Beheizung notwendigen Widerstandskörper müssen so beschaffen sein, daß sie in hocherhitztem Zustande von Luftsauerstoff gar nicht oder nur in sehr geringem Maße angegriffen werden, also von unbegrenzter Lebensdauer sind. Wie Versuche ergeben haben, dürfte sich hier Karborundum (Siliziumkarbid) gut eignen, der noch bei Temperaturen von 1600—1700° C feuerbeständig ist. Da aber noch andere schwerwiegende Umstände (Stromanschluß usw.) zu berücksichtigen sind, so scheint der Bau eines wirtschaftlich arbeitenden elektrischen Ofens dieser Art für den praktischen Betrieb der Wärmebehandlung der Stähle noch nicht gelungen zu sein. Dagegen wird dem Bau von elektrischen Öfen mit Heizspulen aus Chromnickeldraht neuerdings erhöhte Aufmerksamkeit zugewendet. Doch wird man diesen Stromöfen nur ein beschränktes Anwendungsgebiet einräumen können, da der Chromnickeldraht bei Temperaturen über 1200° C bereits oxydiert und dieses teure Widerstandsmaterial daher einem schnellen Verschleiß ausgesetzt ist. Bis zu einer Temperatur von höchstens 1000° C sollten diese Öfen beansprucht werden.

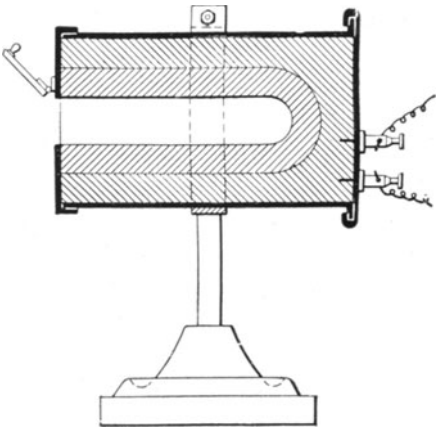


Abb. 197. Muffelofen mit elektrischer Beheizung.

Viele Jahre hindurch ist Blei zum Härten von Feilen, Bohrern, Stechbeiteln usw. allgemein benutzt worden, und hauptsächlich deshalb, weil das Blei bei einiger Sorgfalt eine ausreichende Sicherheit für gleichmäßige Erhitzung gewährt. Das spezifische Gewicht des Bleis ist aber höher als das des Stahls, und aus diesem Grunde muß der zu erhitzende Gegenstand in das Bleibad hineingedrückt und in dem Bade niedergehalten werden. Das Blei hat ferner das Bestreben, in den Höhlungen der zu härtenden Werkzeuge

oder zwischen den Zähnen, z. B. von Feilen und Fräsern, haften zu bleiben. Blei oxydiert sich außerdem leicht, und es kann auch noch aus anderen Gründen bei Öfen mit großen Abmessungen nicht allgemein angewendet werden. Da das Blei auch sein eigenes Oxyd und Sulfid zu lösen vermag, so können durch den Angriff dieser Stoffe weiche Stellen auf dem Stahl entstehen. Indessen liegen hierüber genaue Beobachtungen nicht vor. Es ist nötig,

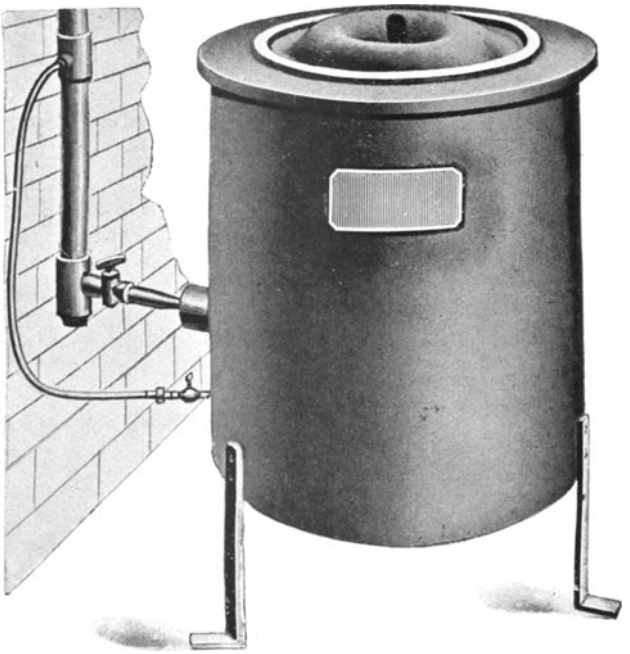


Abb. 198. Einfache Form eines Salzbadofens.

das Bleibad von Zeit zu Zeit umzurühren, besonders dann, wenn es nur von unten durch ein Koksfeuer erhitzt wird oder wenn die Heizgase nur an einer Seite des Bleitopfes vorbeistreichen.

Von größerer Bedeutung als die besprochenen Öfen und auch Bleibäder sind für das Härten und Anlassen der Werkzeugstähle die in neuerer Zeit immer mehr in Anwendung kommenden Salzbadhärteöfen, die mit Gas, Öl oder Elektrizität betrieben werden können und eine ungleichmäßige Wärmeverteilung innerhalb des eigentlichen Ofens ausschließen. Das Werkstück nimmt die

Temperatur des Bades meist sehr schnell durch und durch an, so daß sich diese Öfen für den Massenbetrieb gut eignen, wodurch eine bedeutende Erhöhung der Gebrauchsdauer der gehärteten Werkzeuge gewährleistet ist.

Alle Salzgemische, die für Stahlhärtezwecke geeignet sind, schmelzen bei einer Temperatur, die bedeutend über dem Schmelzpunkt des Bleies liegt, auch sind Salzgemische viel schlechtere Wärmeleiter als das Blei. Es ist schwierig, die Ausscheidung von erstarrten Salzen rundherum am oberen Rande der Salzbehälter zu vermeiden. Wegen dieser Unannehmlichkeit entstand die Praxis, noch besondere Stoffe, wie Salpeter, kalzinierte Soda oder kaustische Soda dem Salzgemisch hinzuzufügen, um seinen Schmelzpunkt zu erniedrigen.

Eine einfache Ofenform ist in Abb. 198 abgebildet. Der Ofenkörper besteht aus einem schmiedeeisernen Zylinder mit Ziegelsteinfutter. Es ist ein mit Luft gefüllter Zwischenraum vorhanden, um die Wärmeausstrahlung einzuschränken. Aus demselben Grunde wird zuweilen eine Lage Asbest auf die äußere Seite der schmiedeeisernen Umwandung gelegt. Ein Kranzbrenner befindet sich auf dem Boden des Ofenkörpers, und das Gefäß mit dem Salzgemisch ruht auf seitlichen Vorsprüngen oder auf einer durchlochten Schneide, die auf das Ziegelsteinfutter aufgelegt ist. Die Flamme und die heißen Gase geben, wenn sie zwischen der Außenseite des Salzgefäßes und der inneren Seite des Ziegelsteinfutters hindurchstreichen, ihre Hitze an zahlreiche Vorsprünge (Buckel) ab, die an der Außenseite des Gefäßes angebracht sind. Auch wird zuweilen die Hitze auf die Oberfläche des geschmolzenen Salzes mit Hilfe eines gebogenen Deckels hingeleitet. Auf diese Weise wird das Gefäß bis zur äußersten oberen Kante gleichmäßig erhitzt und eine Anhäufung von erkaltetem Salz findet daher nicht statt. Zu gleicher Zeit streichen die Verbrennungsgase über die Oberfläche des Salzes, wodurch die atmosphärische Oberflächenoxydation der in das Salzbad eingetauchten Werkzeuge verringert wird.

Seitdem der elektrische Strom als Wärmequelle für Härteöfen mit herangezogen worden ist, hat das Salzbad für die Härterei erst seine große Bedeutung erlangt, da in ihm eine gleichmäßige Erwärmung des Glühgutes schnell erreicht und jeder gewünschte Wärmegrad leicht geregelt und gehalten werden kann. Besonders der elektrisch geheizte Salzbadofen der Allgemeinen

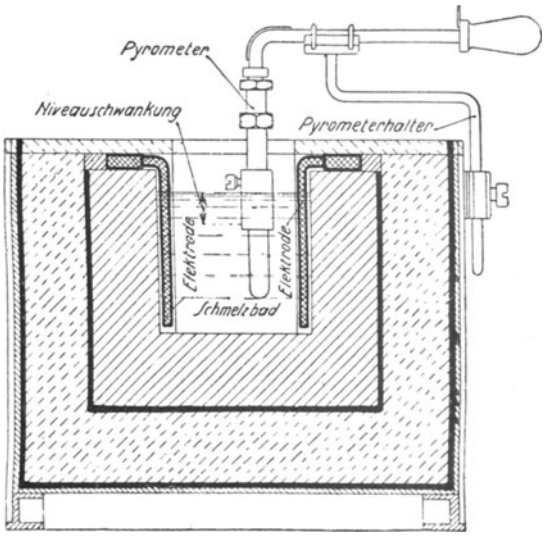


Abb. 199. Elektrisch geheizter Salzbadofen mit Handpyrometer. Längsschnitt.

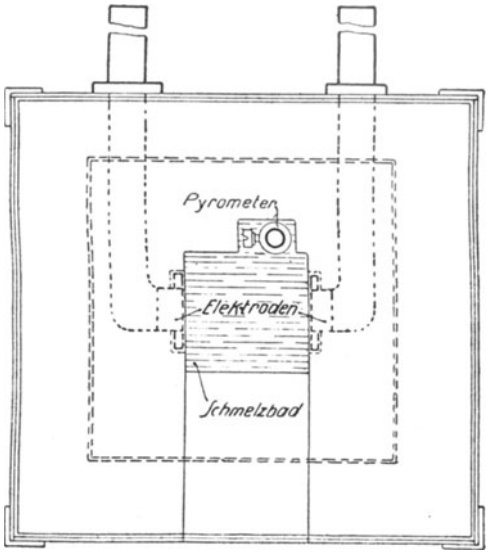


Abb. 200. Elektrisch geheizter Salzbadofen. Querschnitt.

Elektricitätsgesellschaft in Berlin hat weiteste Verbreitung gefunden, der daher an dieser Stelle einer eingehenden Würdigung bedarf [1]).

Werden bei den obigen zur Härtung von Stahl besprochenen Öfen Koks, Gas, Öl od. dgl. verwendet, dem zur Aufnahme des Härtegutes dienenden Ofenraum die Wärme durch die Verbrennungsgase, also von außen zugeführt, so wird bei dem elektrisch beheizten Salzbadofen die Wärme innerhalb eines das Härtegut aufnehmenden Schmelzbades erzeugt, und zwar dadurch, daß dieses vom elektrischen Strom durchflossen wird, das ihm einen gewissen Widerstand entgegensetzt. Entsprechend der geringen Größe dieses Widerstandes der Salzlösung wird ein Strom von nur geringer Spannung, jedoch verhältnismäßig großer Stromstärke (bei Öfen von größeren Badabmessungen bis zu mehreren 1000 Amp.) verwendet.

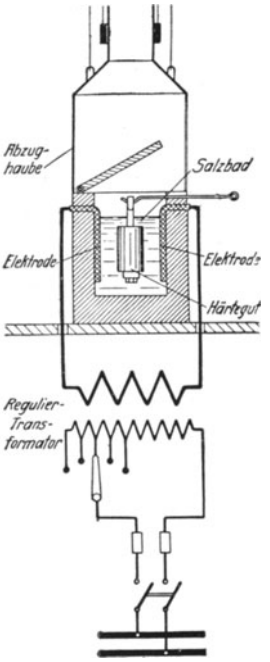


Abb. 201. Schaltungsschema eines elektrisch geheizten Salzbadofens.

Der eigentliche Glühofen besteht aus einem mit verschiedenen wärmeisolierenden Schichten ausgekleideten eisernen Kasten, in den unter Verwendung feuerbeständiger Steine ein kastenförmiger Behälter zur Aufnahme des Salzbades eingebaut ist (Abb. 199 und 200). Bei Temperaturen zwischen 750 bis 850° C (Kohlenstoffstahl) besteht dieses Salzbad aus einem Gemisch von Chlorbarium und Chlorkalium (gewöhnlich 3 : 2), bei Temperaturen über 1000—1300° C (Schnelldrehstähle) aus Chlorbarium allein. Nach Unterlagen des Erbauers dieses Ofens sind an je zwei einander gegenüberliegenden Innenwänden des Behälters ein oder mehrere Elektrodenpaare angeordnet, die den elektrischen Strom in das Schmelzbad leiten. Diese Elektroden sind durch Kupferschienen mit einem Reguliertransformator verbunden, durch den die zur Verfügung stehende

[1]) Vgl. Stahl und Eisen 1909, S. 667.

Energie auf die niedrige Gebrauchsspannung umgeformt wird. Durch Ab- und Zuschalten von Windungen im primären Stromkreis des Transformators wird die Schmelzbadstromstärke und damit die Badtemperatur in einfachster Weise geregelt (Abb. 201). Zur Temperaturmessung bedient man sich hier gewöhnlich eines Pyrometers, und zwar eines Thermoelementes in Verbindung mit einem in Celsiusgraden geeichten Galvanometer (Abb. 199 u. 212),

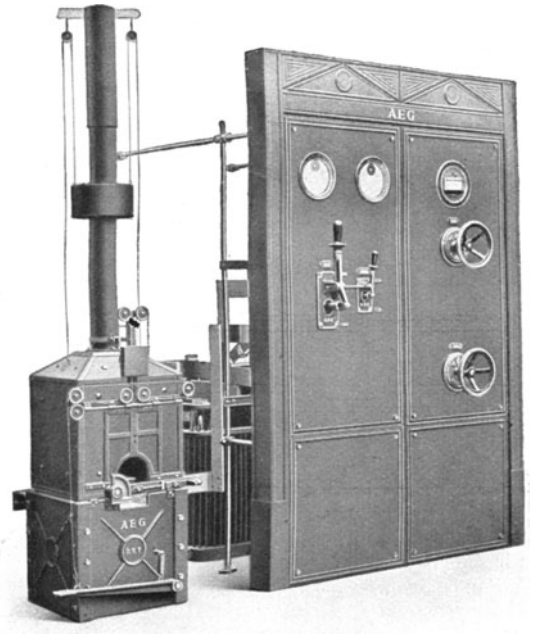


Abb. 202. Neuzeitliche Salzbadofenanlage.

eines optischen Pyrometers oder eines Strahlungspyrometers, die weiter unten beschrieben werden.

Abb. 202 zeigt die gegenwärtig übliche Ausführung einer elektrischen Glüh- und Härteanlage. In der Hauptsache besteht sie aus dem Ofen mit einer aufklappbaren Abdeckplatte, dem Reguliertransformator und einer Schaltanlage aus Eisenblech in einfacher Umrahmung mit allen erforderlichen Schalt-, Meß- und Regulierapparaten, deren stromführende Teile sämtlich hinter der

Blechtafel angeordnet sind. Durch eine Abzugshaube wird der sich beim Verdampfen des Salzes bildende Dunst abgeleitet. Die Abzugshaube ist so durchgebildet, daß sie auch gleichzeitig die durch Ausstrahlung entstehenden Wärmeverluste nach Möglichkeit verringert.

Zum Betrieb der Anlage ist Wechselstrom erforderlich. Die Benutzung von Gleichstrom verbietet sich, weil sonst eine elektrolytische Zersetzung des flüssigen Salzes eintreten würde.

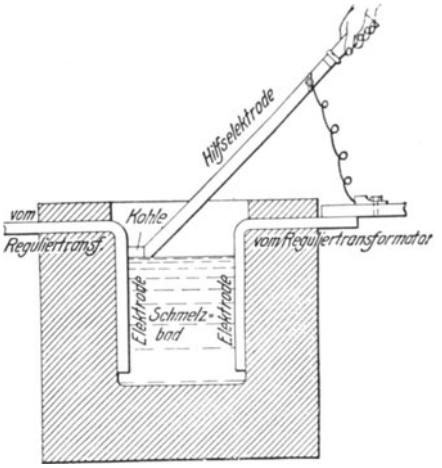


Abb. 203. Vorrichtung zum Schmelzen des Salzgemisches in einem elektrisch geheizten Salzbadofen.

Steht daher einer Werkstätte nur Gleichstrom zur Verfügung, so muß dieser durch einen Motorgenerator in Wechselstrom umgeformt werden. Besitzt eine Werkstätte dagegen eine eigene Drehstromanlage oder Anschluß an ein fremdes Drehstromnetz, so kann die elektrische Härteanlage unmittelbar angeschlossen werden, und zwar sowohl einphasig als auch — mit Hilfe einer besonderen Schaltung des Reguliertransformators — dreiphasig. Mit Rücksicht auf eine gleichmäßige Belastung der drei Phasen des Drehstromnetzes wird man dem dreiphasigen Anschluß den Vorzug geben, zumal dieser auch noch den Vorteil einer kräftigeren Bewegung des Salzbades bietet.

Je nach Bedarf werden die elektrischen Salzbadöfen in verschiedenen Abmessungen gebaut. Zweckmäßig ist es, eine Anlage mit zwei Salzbadöfen vorzusehen, der kleinere Ofen dient dann zum Härten von Werkzeugen aus Schnelldrehstahl, während der größere Ofen vornehmlich zum Härten von größeren Stücken aus Kohlenstoffstahl verwendet wird.

Da die Metallsalze bekanntlich nicht in kaltem, sondern in feurigflüssigem Zustande Leitfähigkeit besitzen, so erfolgt die Einleitung der Schmelzung mit Hilfe einer beweglichen Elektrode

und eines Stückchens Bogenlampenkohle (Abb. 203). Durch Zwischenschaltung einer Haupt- und Hilfselektrode wird die Kohle in Weißglut versetzt, wodurch das unmittelbar darunterliegende Salz geschmolzen wird. Durch langsames Fortbewegen der Hilfselektrode zur zweiten Hauptelektrode wird ein flüssiger Streifen durch das Bad gezogen, wodurch der Stromkreis geschlossen wird. Allmählich kommt auch das übrige Salz zum Schmelzen. Die verlangte Temperatur kann durch Regelung der Sekundärspannung unveränderlich erhalten werden. Nur die oberste Salzschicht zeigt natürlich eine etwas geringere Temperatur.

Außer zum Härten im engeren Sinne wird der elektrisch geheizte Salzbadofen vorteilhaft auch zum Glühen, Anlassen, Vergüten und anderen ähnlichen wärmetechnischen Verfahren, ja sogar neuerdings auch zur Einsatzhärtung verwendet, wodurch gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht wird. Die Vorzüge der elektrischen Härte- und Glühanlage sind gegeben durch die sehr gleichmäßige Erwärmung des Härtegutes, durch die Möglichkeit, auch die höchsten in der Härtetechnik erforderlichen Temperaturen schnell und mit Sicherheit zu erreichen und innerhalb sehr geringer Grenzen während einer beliebig langen Zeit einzuhalten, die unerläßlichen Vorbedingungen für den Fortfall oder sehr mäßigen Ausfall von Härteausschuß und die sichere Erzielung einer guten Härte bei allen Werkzeugen, gleichviel ob es sich hier um Kohlenstoffstahl oder Legierungsstahl handelt. Weitere Vorzüge sind die leichte und schnelle Regelung der Temperatur während des Betriebes, die große Leistungsfähigkeit, die z. B. ein Vielfaches derjenigen eines Muffelofens mit gleichgroßem Glühraum beträgt, die Erwärmung des Härtegutes unter Luftabschluß, daher keine Zunderbildung, die Gefahrlosigkeit, Sauberkeit und Geräuschlosigkeit des Betriebes und schließlich die einfache Bedienung. Voraussetzung für eine hohe Wirtschaftlichkeit des elektrischen Salzbadofens ist allerdings, daß die Leistungsfähigkeit der Anlage stets möglichst voll ausgenutzt wird, d. h. solange die Anlage im Betrieb ist, muß flott in ihr gearbeitet werden. Zu diesem Zweck wird man in allen Werkstätten, in denen für eine gleichmäßige volle Belastung der Anlage an allen Arbeitstagen nicht genügend Härtegut vorhanden ist, nur an einigen Tagen der Woche in ihr arbeiten, und zwar härtet man gewöhnlich an bestimmten Arbeitstagen möglichst nur Kohlenstoffstahl, an anderen Tagen dagegen nur Schnelldrehstahl.

Nach den vorstehenden Darlegungen wird der Werkzeugfabrikant erkannt haben, daß das Salzbad, gleichgültig, auf welche Art es erhitzt wird, ein unentbehrliches Mittel namentlich für die Wärmebehandlung der Schnelldrehstähle ist, eine Tatsache, die auch von jeder Härterei, die nach wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Grundsätzen geleitet wird, eingesehen und gewürdigt wird.

Beim Eintauchen eines Werkstückes in das geschmolzene Salzbad wird die Temperatur des Salzes in der unmittelbaren Nähe des Werkstückes unter den Schmelzpunkt heruntergedrückt, wodurch eine Schicht Salz rund um das Werkstück erstarrt. Diese Salzschicht ist ein verhältnismäßig schlechter Wärmeleiter, und sie bleibt so lange unverändert, bis das Werkstück genügende Wärme angenommen hat, um den Schmelzpunkt des Salzes zu erreichen. Beim Herausnehmen des erhitzten Werkstückes haftet das geschmolzene Salz an und hüllt es vollständig ein. Deshalb fällt die Temperatur des Werkstückes langsamer und regelmäßiger. Die dünne Salzdecke wirkt jedoch nicht störend auf das Abschrecken ein, sondern sie löst sich auf, sobald sie mit dem Wasser in Berührung kommt, und hinterläßt eine rein metallische Oberfläche. Aber auch bei Schnelldrehstählen, die in Öl gehärtet werden sollen, übt die um den Stahl befindliche Salzschicht auf das Endergebnis der Härtung keinen Einfluß aus. In dem Ölbad erstarrt das vielleicht noch flüssige Salz sofort, die Kruste reißt und fällt ab und da die Schnelligkeit der Abkühlung bei Schnelldrehstählen von geringerer Bedeutung ist, wird eine einwandfreie Härtung erzielt.

Ein weiterer Vorteil, der nicht so gut bekannt ist und der sehr wenig ausgenutzt wird, ist die Leichtigkeit, mit welcher der Schmelzpunkt der Salzgemische geändert werden kann. Wenn man z. B. einen Werkzeugstahl, der wenigstens auf 750° C erhitzt werden muß, auswählt, um ihn durch Abschrecken vollständig zu härten, dann kann man ein Salzgemisch anwenden, das bei 760° C schmilzt. Die niedrigste Härtungstemperatur muß also erreicht werden, um das Bad geschmolzen zu erhalten, und der zu behandelnde Stahlgegenstand muß noch nahezu dieselbe niedrigste Temperatur erreichen, bevor das Salz, welches beim Eintauchen des Gegenstandes unmittelbar rund um denselben erstarrt, abschmelzen kann. Eine Temperatur von 20—30° C über diese niedrigste Temperatur fügt dem Werkstück, wenn sie nicht un-

gebührlich verlängert wird, keinen Schaden zu, und es ist für einen ungeübten Härter ein leichtes, ohne Zuhilfenahme eines Wärmeanzeigers innerhalb dieses Spielraumes zu bleiben. Beim Herausnehmen des Werkstückes aus dem Ofen tropft das flüssige Salz zum Teil ab, aber kurz darauf kristallisiert ein Überzug desselben auf der Oberfläche, der anzeigt, daß zum Abschrecken geschritten werden muß.

Diese Art des Härtens stellt sicherlich einen großen Fortschritt in bezug auf genaue Einhaltung der Härtungstemperatur dar und ist ganz unabhängig von dem Härter, von der Art der Witterung oder von anderen möglichen Zufälligkeiten. Aber sie verläuft ziemlich langsam und begreift nicht die besten erzielbaren Härtungsergebnisse in sich, die für eine fehlerlose Arbeit bei schwierigen Werkzeugen mit veränderlichem Querschnitt verlangt werden müssen. Die schwächeren Querschnitte und die Ecken solcher Werkzeuge werden sich in jedem anderen Ofen schneller erwärmen als die stärkeren Teile, und da gleichmäßiges Erhitzen wesentlich zum Erfolge führt, ist es notwendig, auf die Temperatur des Ofens selbst das größte Gewicht zu legen, indem dieselbe richtig geregelt wird, so daß zu härtende Gegenstände so lange der Hitze ausgesetzt werden können, wie es für alle Teile notwendig ist, damit sie durch und durch gleichmäßig heiß werden, ohne daß irgend ein Teil überhitzt wird. Mit anderen Worten: Wenn die Temperatur des Ofens gleichmäßig und richtig ist, dann stellt sich auch die richtige Temperatur bei dem Werkstück von selbst ein.

Nach diesen Betrachtungen und den früheren Angaben über die Bedeutung der Haltepunktskurven (Abb. 20) gelangt man zu den Bedingungen für die Stahlhärtung, die für die besten gehalten werden, soweit sie in allgemeinen Ausdrücken festgelegt werden können. Dies heißt, daß die Werkstücke etwa 20—40° C über den Umwandlungspunkt der Erhitzungskurve erhitzt werden müssen und daß man ihnen die Möglichkeit geben sollte, sich vor dem Abschrecken gleichmäßig bis auf eine Temperatur abzukühlen, die ungefähr 10—20° C über dem Umwandlungspunkt der Abkühlungskurve liegt.

Diese Bedingungen können in einem einzigen Salzbadofen nicht gut innegehalten werden, weil das zwischengeschaltete Abkühlen in der Luft während eines großen Temperaturbereiches von etwa 780° C auf 700° C wegen des schützenden Salzüberzuges nicht ganz gleichmäßig vonstatten geht. Diese Arbeit wird

auch ohne Gebrauch eines Wärmeanzeigers genauer folgendermaßen ausgeführt:

Zuerst wird der zu härtende Gegenstand ungefähr 40° C über seine niedrigste Härtungstemperatur in dem Salzbade erhitzt. Er wird dann nach einem zweiten Bade übergeführt, dessen Schmelzpunkt z. B. 700° C beträgt, und dessen Temperatur dadurch aufrecht erhalten werden kann, daß die erhitzten Gegenstände beständig hineingebracht werden. In diesem zweiten Bade kühlt sich der Gegenstand gleichmäßig bis zu der genauesten Härtungstemperatur ab. Bei seiner Herausnahme wird er in einen Überzug von flüssigem Salz eingehüllt, das bald über der ganzen Oberfläche kristallisiert und hierdurch andeutet, daß das Abschrecken vorgenommen werden muß.

Auf diese Weise ist den Bedingungen der neuen Theorie und Praxis des Härtens Genüge geleistet. Dieses Verfahren der Anwendung eines Ofenpaares wird erfolgreich zum schnellen Fertigstellen regelmäßig geformter Werkstücke, ob dieselben von sich wiederholender oder verschiedener Art sind, benutzt.

Es ist manchmal notwendig, ein Ende, die Seite oder nur einen Teil der Außenfläche eines Gegenstandes ohne den übrigen Teil zu härten, oder die Mitte oder einen schmalen Streifen rund um die Mitte eines Werkstückes in ungehärtetem Zustande zu erhalten. Selbst wo besondere Geräte und Verfahren hierfür zur Verfügung stehen, ist oft die Gefahr einer verhängnisvollen Spannung zwischen den gehärteten und ungehärteten Teilen sehr groß. Mit einem Ofenpaar sind schwierige Arbeiten dieser Art ziemlich leicht durchzuführen. Das Werkstück wird in dem ersten Bade wie gewöhnlich erhitzt und beim Herausnehmen an den Teilen, die weich bleiben sollen, durch Auflegen nasser Asbestpolster usw. gekühlt, bis die Temperatur dieser Teile bis unter 680° C, also bis auf kaum sichtbare Rotglut, gefallen ist. Inzwischen werden sich die ungekühlt gebliebenen Teile bis auf etwa 700° C abgekühlt haben, und nach dem Eintauchen in das zweite Bad wird die Temperatur ausgeglichen sein. Aber beim Herausnehmen aus dem zweiten Bade und beim Abschrecken werden, obgleich die Temperatur durchweg gleichmäßig ist, nur jene Teile des Werkzeuges, die nicht unter 680° C abgekühlt wurden, hart werden, und zwischen den gehärteten und ungehärteten Teilen wird der kleinste erreichbare Spannungsgrad vorhanden sein.

Es ist schon darüber gesprochen worden, mit welcher Leichtigkeit der Schmelzpunkt des Salzbades nach Wunsch innerhalb gewisser Grenzen geregelt und seine Temperatur ohne Anwendung eines Wärmeanzeigers geprüft werden kann. Auch soll noch bemerkt werden, daß die Schmelzpunkte einiger Salzmischungen während langer Zeitabschnitte praktisch unverändert bleiben trotz der kleinen Mengen von Eisenoxyd, die sich ansammeln und in dem Bade umherschwimmen.

Die Schmelzpunkte von Salzgemischen, die zum Härten von gewöhnlichen Kohlenstoffstählen geeignet sind, schwanken zwischen 650 und 800° C, und von solchen zum Anlassen derselben Stähle zwischen 200 und 350° C. Bei weit über ihren Schmelzpunkten liegenden Temperaturen verdampfen diese Salze in geringem Maße und veranlassen hierdurch, daß eiserne Gegenstände in der Nachbarschaft des Ofens schnell rosten. Die kleinen Eisenoxydteilchen, die sich im Bade ansammeln, können an Werkzeugen mit sehr feinen Zähnen, z. B. Feilen, hängen bleiben und die Ursache davon werden, daß die Zähne nach dem Abschrecken weich bleiben. Wenn die Feilen in eine Lösung von Ferrozyankalium getaucht und vor dem Einbringen in das Bad trocknen können, dann kommt dies nicht vor. Dieses Gegenmittel ist jedoch nicht ganz zufriedenstellend, da der Überzug von Ferrozyankalium sich zersetzt und dadurch dem Bade noch mehr Eisenoxyd zugeführt wird. Zyankalium besitzt diesen Nachteil nicht, aber wegen seiner Giftigkeit kann seine regelmäßige Anwendung nicht empfohlen werden. Versuche, die mit anderen unschädlichen Mitteln gemacht wurden, waren nicht besonders erfolgreich, und man wird sich daher zum Härten von Feilen am besten des Bleibades bedienen.

Um dem Härter die Auswahl irgendeines Salzes oder eines Salzgemisches für seine Zwecke zu erleichtern, soll hierauf noch näher eingegangen werden.

Man kann annehmen, daß die Temperatur der zu erwärmenden Stahlstücke im allgemeinen eine andere ist als die des Ofens und die Stahlstücke werden aus dem Ofen genommen, ohne daß ein Gleichgewichtszustand zwischen der Temperatur des Stahlstückes und der des Ofens erreicht ist. Durch ein Stück Salz von bekannter Schmelztemperatur läßt sich jedoch mit ziemlich großer Genauigkeit die Temperatur des Stahlgegenstandes feststellen. Außer den einfachen Salzen mit bestimmtem Schmelzpunkt

kommen als einzige Stoffe nur die eutektischen und isomorphen Mischungen in Betracht. Für die Temperaturmessung eines auf Hitze gebrachten Stahls können folgende Salze und Gemische verwendet werden[1]):

A. Temperatur oberhalb 700° C Abschrecktemperatur:

1.	Kaliumsulfat (K_2SO_4)	1070° C
2.	Chlorbarium ($BaCl_2$)	955 „
3.	Natriumsulfat (Na_2SO_4)	865 „
4.	Kaliumsulfat (5) + Natriumsulfat (5)	850 „
5.	Kaliumsulfat (3) + Natriumsulfat (7)	830 „
6.	Kaliumsulfat (2) + Natriumsulfat (8)	825 „
7.	Natriumkarbonat (Na_2CO_3)	810 „
8.	Chlornatrium (Kochsalz, NaCl)	800 „
9.	Chlorkalium (KCl)	775 „
10.	Bromkalium (KBr)	730 „

B. Temperatur unter 700° C Ausglühtemperatur:

1.	Jodkalium (JK)	682° C
2.	Chlorkalium (5,8) + Chlornatrium (4,2)	655 „
3.	Chlornatrium (3) + Bromkalium (7)	625 „
4.	Bariumnitrat ($Ba(NO_3)_2$)	600 „
5.	Kalziumnitrat ($Ca(NO_3)_2$)	550 „

Im praktischen Betriebe genügen für die Abschreckung die fünf Salze: Kaliumsulfat, Chlorbarium, Natriumsulfat, Chlornatrium und Chlorkalium, für das Anlassen nach dem Abschrecken die beiden Salze: Bariumnitrat und Kalziumnitrat.

Zu nennen sind noch einige von Brearley vorgeschlagene eutektische Gemenge mit niedrigem Schmelzpunkt:

1.	Chlorkalium (5) + Kaliumkarbonat (5)	580° C
2.	Natriumkarbonat (3) + Kaliumkarbonat (3) + Chlornatrium (2) Chlorkalium (2)	560 „
3.	Kaliumsulfat (3) + Natriumsulfat (3) + Chlornatrium (2) + Chlorkalium (2)	520 „

Le Chatelier und Driesen schlagen für die jeweiligen Wärmebereiche folgende Salzbäder vor[2]), von denen einige wegen ihrer Kostspieligkeit wohl mehr für Laboratoriumsversuche in Betracht kommen:

1.	Kaliumnitrat (5) + Natriumnitrat (5)	150— 400° C
2.	Kaliumnitrat (5,4) + Natriumnitrat (1,9) + Lithiumnitrat (2,7)	150— 500 „

[1]) Vgl. Grenet, Metallurgie 1910, S. 271 und 722.
[2]) Goerens, Einführung in die Metallographie. 2. Aufl., S. 132.

3. Chlorkalium (1,25) + Chlornatrium (1,25) + Chlorkalzium (2,5) + Chlorbarium (1,25) + Chlorstrontium (3,75) . . 500— 800° C
4. Chlorkalium (7,3) + Chlorlithium (2,7) . . . . . 400—1000 „
5. Chlorkalium . . . . . 800—1000 „
6. Chlorkalium (4) + Chlornatrium (5,5) + Ätznatron (0,5) 800—1000 „
7. Chlorbarium . . . . . oberhalb 1000 „

Auch die Alkalinitäten können für genaue Anlaßtemperaturen herangezogen werden, wenn man nicht die einfachen Anlauffarben des Stahls berücksichtigen will. Da die reinen im Handel erhältlichen Salze oft bei der ersten Erhitzung verpuffen, so werden sie zur Vermeidung dieser Unannehmlichkeit vorher in einer nicht ganz geschlossenen Eisenflasche eben auf Rotglut erhitzt. Auf jeden Fall aber müssen die Salzgemische vor dem Gebrauch verschmolzen werden.

Das Einschmelzen der Salzgemische darf weder in Kohletiegeln noch in Gefäßen aus porösem Material erfolgen. Die Kohletiegel wirken auf einige Salze ein, poröse Gefäße sind für flüssige Salze durchlässig. Gefäße aus Quarz, Hartporzellan oder Schmiedeeisen, diese aus einem Stück gepreßt oder autogen geschweißt, auch aus sehr weichem Stahlformguß gegossen, können daher nur für Salzbäder herangezogen werden.

Ein einfacher rechtwinkliger eiserner Trog, eine alte Wanne oder selbst ein Eimer reichen in den meisten Fällen zur Aufnahme der Härteflüssigkeit aus. Für sehr verschieden geformte Werkstücke besitzt ein Bottich, der bequem besonderen Zwecken angepaßt werden kann, eine große Annehmlichkeit. Es ist zweckmäßig, eine Wasserleitung in demselben vom Boden hochzuführen, die sich, wenn nötig, in zwei Arme verzweigt. Zum Härten von Werkzeugstählen eignet sich am besten ein Gefäß, das in Abb. 204 dargestellt ist und den Grundriß, Längs- und Querschnitt erkennen läßt [1]). Das eigentliche Härtegefäß *a* dieses Kühlwasser- und Ölbehälters „ist durch eine Zwischenwand *c* in zwei Abteilungen geteilt, von denen die eine als Wasser- und die andere als Ölgefäß dient. Das Gefäß *a* ist von dem Kühlwassergefäß *b* umgeben, in welchem mittels der Wasserzuflußleitung *d* und des Überlaufrohres *e* ein fortwährender Zu- und Abfluß von kaltem Wasser unterhalten werden kann. Hierdurch kann, bei sorgfältiger Regelung des Wasserzuflusses im Kühlwassergefäß, selbst bei an-

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 281. — Siehe auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1905, S. 1218.

haltendem Härten eine stets gleichbleibende Temperatur des Härtewassers erzielt werden. Beim Härten schwerer Gegenstände, welche nur mangelhaft im Härtewasser bewegt werden können,

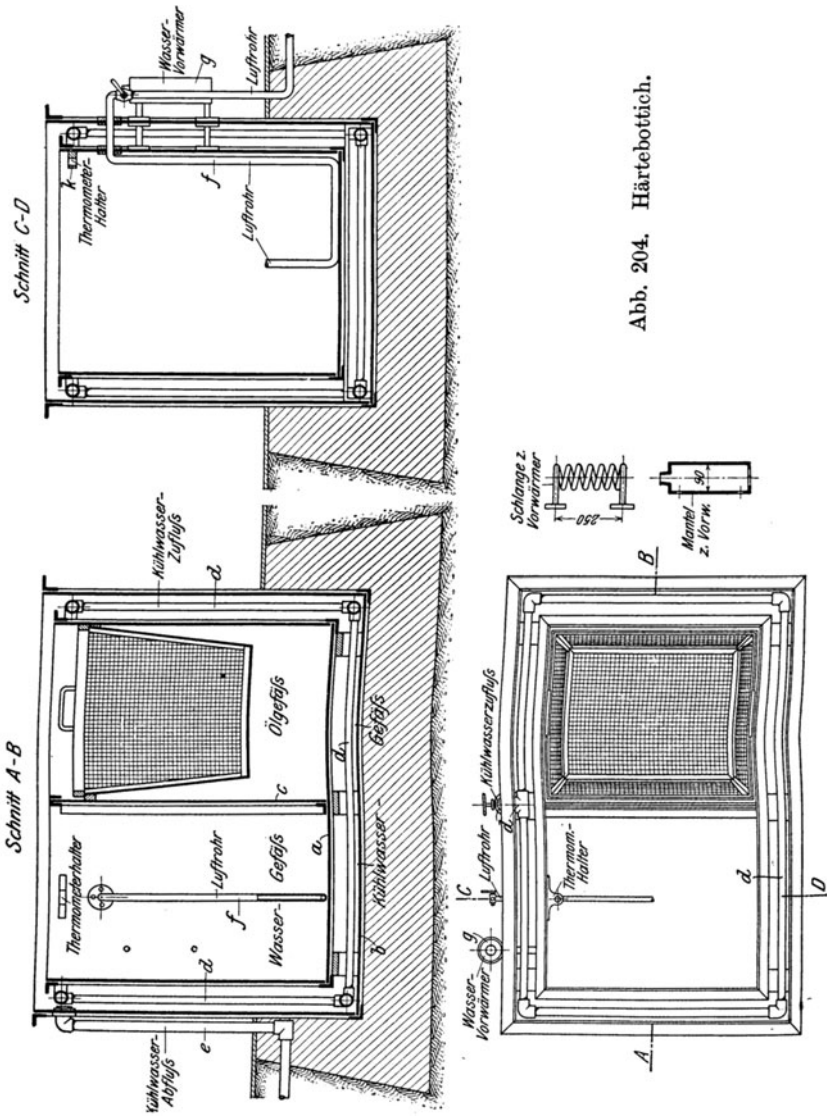


Abb. 204. Härtebottich.

kann dasselbe durch ein in das Wassergefäß hineingeleitetes Luftrohr mittels Druckluft in genügende Wallung versetzt werden. Da zur Abkühlung großer Gegenstände eine geringere, zur Abkühlung kleiner Gegenstände dagegen eine höhere Temperatur des Härtewassers erforderlich ist, so ist das Wassergefäß mit einem Vorwärmer g versehen, welcher die Erwärmung des Härtewassers über die Zimmertemperatur hinaus ermöglicht. Dieser Vorwärmer besteht aus einer Kupferschlange, welche durch Rohrstutzen mit dem Härtewassergefäß in Verbindung steht, sowie aus dem Mantel, welcher zum Umhüllen der Kupferschlange dient. Durch Erhitzen der Kupferschlange vermittels eines Bunsenbrenners wird eine verhältnismäßig schnelle Erhöhung der Temperatur des Härtewassers erzielt. Zur Überwachung der Härtewassertemperatur kann in dem Thermometerhalter h ein Thermometer eingesetzt werden. Zum Sammeln und leichten Herausnehmen der gehärteten Gegenstände aus dem Ölgefäß ist in demselben ein heraushebbarer Drahtkorb angebracht." Abkühlung in Öl allein, besonders bei Schnelldrehstählen, kann nur für vorsichtige Härtung empfohlen werden. Andererseits hat dieses Verfahren jedoch den Nachteil, daß vielfach keine genügend hohe Härte des Werkstückes erzielt wird.

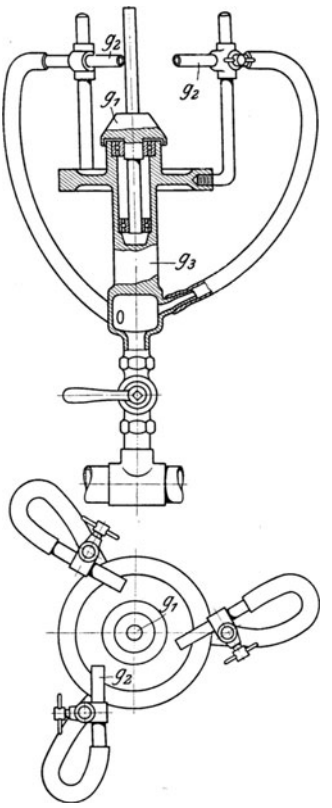


Abb. 205. Lufthärtegerät für Schnelldrehstähle.

Da Schnelldrehstähle zweckmäßig nur in Talg, Petroleum oder Luft gehärtet werden dürfen, so muß auch eine neuzeitlich eingerichtete Härterei mit einem Lufthärteapparat ausgerüstet sein. Das in Abb. 205 abgebildete Gerät [1]) eignet sich besonders zum Härten von Fräsern, doch können auch alle anderen Werkzeuge

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 281.

mit diesem Apparate abgekühlt werden. „Dieser Lufthärteapparat besteht aus dem Ständer g_3, den Düsen g_2 und der Spindel g_1. An dem unteren Ende des Ständers befindet sich ein Ventil, welches mit der Luftleitung verbunden ist. Im oberen Teil des Ständers g_1 ist die Spindel g_3 mittels Kugellager gelagert, an der darunter befindlichen Scheibe sind die Düsenhalter befestigt, an welchen die Düsen g_2 durch Flügelschrauben festgeklemmt bzw. in die richtige Lage eingestellt werden können. Beim Härten bzw. Abkühlen von Drehstählen usw. durch Luft kann die Spindel g_1 entfernt werden."

Das Anlassen von Werkzeugstählen erfolgt, wie schon erwähnt, zweckmäßig in einem Ölbade, das auf die gewünschte Anlaßtemperatur erhitzt wird. Natürlich muß der Siedepunkt des Öles über 300° C liegen. Je nach dem Grade der gewünschten Zähigkeit werden die Werkzeuge 10—30 Minuten in dem Bade belassen.

Die Ausrüstung einer Härterei schließt auch eine Sammlung einzelner Werkzeuge ein, die nicht besonders beschrieben zu werden brauchen: Zangen von verschiedenen Längen und Stärken mit gebogenen und flachen Mäulern; Eisenstangen zur Herstellung von Haken; Eisenblech und Asbest zum Bedecken der Teile, die eine sehr langsame oder eine nicht bis zur Härtungstemperatur steigende Erwärmung verlangen; Eisenrohre, Kisten für die Einsatzhärtung oder irgendein feuerbeständiger Behälter, der dicht verschlossen werden kann; ein Vorrat von Eisen- und Stahlfeilspänen, so daß ein Gegenstand zum Ausglühen verpackt werden kann, und eine große Anzahl anderer Dinge, die häufig aus dem Abfallhaufen der Werkstatt aufgelesen werden können und nichts kosten, aber von Wert sind, wenn eine aus dem üblichen Rahmen fallende Arbeit schnell und gut ausgeführt werden soll [1]).

2. Die Wärmeüberwachung in der Härterei.

Die Brauchbarkeit eines Werkzeuges hängt hauptsächlich von der Art der Wärmebehandlung während seiner Anfertigung ab. Da schon verhältnismäßig geringe Temperaturschwankungen, die auch von einem erfahrenen Härter nicht ohne Hilfsmittel erkannt werden können, einen ungünstigen Einfluß auf das zu fertigende

[1]) In den „Werkstattbüchern" (Verlag von Julius Springer, Berlin 1921) gibt Simon in den Heften 7 und 8 (Härten und Vergüten) eine ausführliche bildliche Darstellung aller in der Härterei benötigten Werkzeuge und Geräte.

Werkzeug haben, so ist es notwendig, die Härterei mit Geräten auszurüsten, die eine genaue Temperaturmessung in den angewendeten Öfen und eine dauernde Überwachung dieser Temperatur gestatten.

Bevor besondere Geräte für die Temperaturmessung in der Härterei in Aufnahme kamen, verließ man sich einzig und allein auf das persönliche Urteil des betreffenden Härters.

Der physiologisch wahrnehmbare Teil der Strahlung eines glühenden Körpers nimmt mit seiner Temperatur außerordentlich schnell zu, in den Grenzen von 800—2000° C etwa mit der 10. bis 15. Potenz der Temperatur. Daraus erklärt sich, daß das geübte Auge eines tüchtigen erfahrenen Härters die Temperatur im Härteofen nicht selten mit einer erstaunlichen Genauigkeit zu schätzen vermag. Dennoch ist dieses einfache Verfahren der Temperaturbestimmung unzuverlässig. Das Helligkeits- und Farbenempfinden des menschlichen Auges ist nicht unbeeinflußt von störenden Umständen. Die Witterung, der Beleuchtungszustand der Werkstatt, Ermüdung können auch einen geübten Härter täuschen oder unsicher machen. Die Schwierigkeit besteht für ihn darin, daß er die Glühfarbe im Ofen mit einem Erinnerungsbilde vergleicht. Deswegen ist ihm außerordentlich geholfen, wenn man ihm einen Vergleichskörper schafft, dessen Temperatur bekannt ist. Das ist der Gedanke, der den optischen Pyrometern zugrunde liegt. Die bekanntesten Ausführungen dieser Art von Wärmemeßgeräten sind die nach Wanner und nach Holborn und Kurlbaum. Letzteres, welches von Siemens & Halske hergestellt wird, als das einfachste in seiner Konstruktion und Handhabung und als das gerade für den Härterei-

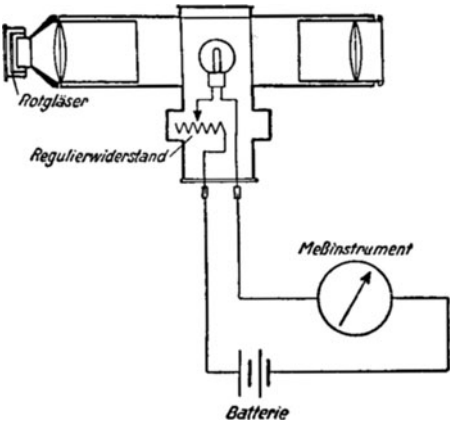


Abb. 206. Schematische Darstellung des optischen Pyrometers nach Holborn und Kurlbaum.

betrieb besonders geeignete, da man mit ihm die Temperatur an allen Stellen des Ofens und auch von kleinen, darin liegenden Stücken ohne Schwierigkeit messen kann, sei an Hand der schematischen Darstellung in Abb. 206 kurz beschrieben [1]).

Das optische Pyrometer nach Holborn und Kurlbaum besteht aus einem Fernrohr mit Okular- und Objektivlinse. Zwischen beiden befindet sich die von einem kleinen Akkumulator gespeiste Vergleichslampe, die mit einem Drehwiderstand zusammen in den Fernrohrkörper eingebaut ist. Die Okularlinse wird durch den Beobachter so weit verschoben, bis er das Bild des Leuchtfadens scharf sieht. Danach wird die Objektivlinse auf den zu prüfenden Körper eingestellt, so daß dem Beobachter beide Bilder scharf erscheinen. Nunmehr wird der Drehwiderstand verstellt, bis das Bild des Glühfadenbügels auf dem hellen Untergrunde verschwindet. Dann wird an dem Strommesser die Temperatur unmittelbar abgelesen. Die Einstellung ist sehr leicht, weil ein Helligkeitsfehler von 10 v. H. nur einen Temperaturfehler von 1 v. H. und noch weniger verursacht. Die Lampe ist bei richtiger Beanspruchung praktisch unveränderlich. Versuche haben gezeigt, daß sie sich nach einer Brenndauer von 1000 Stunden bei 1900° C, d. h. 300° C über der gewöhnlichen Höchsttemperatur, um nicht mehr als 10° C ändert. Bei Temperaturen über 1000° C setzt man zur Schonung des Auges eine Rotscheibe vor das Okular, bei Temperaturen über 1400° C eine zweite. Der Meßbereich dieser Einrichtung geht bis 1600° C. Für höhere Temperaturen wird vor das Objektiv eine Rauchglasplatte gesetzt, wodurch der Meßbereich je nach der Dicke der Platte beliebig erweitert werden kann.

Trotz des großen Wertes eines solchen optischen Pyrometers für den Härter hat es dennoch den Nachteil, daß die Messung eine Einstellung erfordert, also von dem persönlichen Gefühl abhängt. Man kann die Temperatur nicht unmittelbar oder von einer beliebigen, mehr oder weniger entfernten Stelle aus ablesen und man kann sie auch nicht selbsttätig aufzeichnen lassen. Zu dem Zwecke verwendet man elektrische Temperaturmeßgeräte, und zwar für niedrigere Temperaturen, z. B. für Anlaßzwecke, das sog. Widerstandsthermometer. Dieses beruht auf der bekannten Erscheinung, daß der elektrische Widerstand metallischer

[1]) Vgl. Keinath, Die Messung hoher Temperaturen. Siemens-Zeitschrift, September 1921.

Leiter sich gesetzmäßig mit ihrer Temperatur ändert. Da es für allgemeine Härtezwecke von geringerer Bedeutung ist, genügt es, es erwähnt zu haben, ohne auf Wirkungsweise und Bauart hier näher einzugehen. Dagegen von größter Wichtigkeit und heutigentags in Härtereien wie in der gesamten Metallindustrie weit verbreitet ist ein anderes Gerät, das thermoelektrische Pyrometer.

Die thermoelektrischen Pyrometer bestehen in der Hauptsache aus einem Thermoelement in Verbindung mit einem genügend empfindlichen, auf Temperaturgrade geeichten Galvanometer. Unter Thermoelement versteht man zwei im allgemeinen etwa 0,4 bis 3 mm starke Drähte aus verschiedenen Metallen oder Metallegierungen, die an dem einen Ende zusammengeschmolzen sind. Wenn die Verbindungsstelle dieser beiden Drähte erwärmt wird, entsteht eine elektromotorische Kraft, deren Größe sich mit der Temperatur ändert. Verbindet man die freien Enden der beiden Drähte etwa durch Kupferdrähte mit einem Galvanometer, so wird durch dasselbe ein elektrischer Strom fließen, dessen Größe von der elektromotorischen Kraft und daher auch von der Temperatur abhängt. Das Galvanometer wird einen der Temperatur entsprechenden Ausschlag geben, der durch einen mit dem Galvanometer verbundenen Zeiger auf eine Temperaturgradeinteilung übertragen wird. Für Anlaßbäder oder für Arbeiten, die Temperaturen nicht über 650° C verlangen, kann ein Thermoelement benutzt werden, bei dem der eine Draht aus Konstantan, der andere aus Silber oder Kupfer besteht. An Stelle eines Kupferdrahtes wird auch ein Kupferrohr verwendet, durch das der Konstantandraht isoliert hindurchgezogen ist. Für Temperaturen bis etwa 1000° C können Thermoelemente Verwendung finden, die aus den schwerer schmelzbaren unedlen Metallen bestehen (bis 800° C Eisen-Konstantan, bis 1100° C Nickel-Nickelchrom). Solche Thermoelemente sind billig und können leicht ersetzt werden. Für noch höhere Meßbereiche mit Einschluß der höchsten im Härtebetrieb erreichbaren Temperaturen sind Thermoelemente aus Edelmetall im Gebrauch, von denen der eine Draht aus Platin, der andere aus einer Legierung von Platin und Rhodium besteht. Dieses Thermoelement wird dann als Platin-Rhodium-Element bezeichnet. Früher hat man auch Thermoelemente aus Platin-Platiniridium bis 1100° C verwendet. Diese sind aber durch die oben erwähnten Nickel-Nickelchromelemente überholt.

Die Thermoelemente können durch unsachgemäße Handhabung leicht beschädigt werden. Der ungeschützte Draht darf nicht mit Kohlenstoff oder reduzierenden Gasen in Berührung kommen. Ein Strom von unverbranntem Leuchtgas, der auf die ungeschützten Drähte trifft, macht sie in wenigen Stunden außerordentlich brüchig. Berührung mit Eisenoxyden und einigen Silikaten ist ebenfalls sehr schädlich, und die Thermoelemente müssen natürlich, wie alle Platingegenstände, vor Berührung mit Metallen oder metallischen Dämpfen, mit denen sie sich leicht legieren, streng geschützt werden. Bei unedlen Thermopaaren ist schon der Luftsauerstoff außerordentlich schädlich. Um ihre Wirksamkeit zu erhalten, müssen

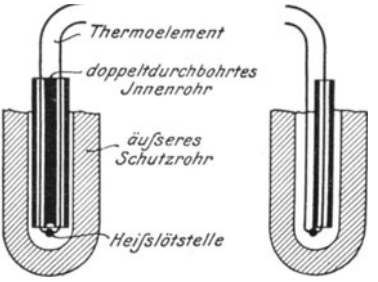


Abb. 207. Geschütztes Thermoelement.

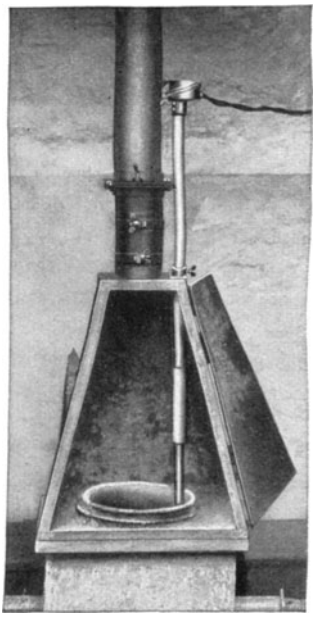


Abb. 208. Bleibadhärteofen mit eingebautem Thermoelement.

die beiden Drähte dadurch isoliert werden, daß sie durch kurze Stückchen aus Schamotte- oder Porzellanröhren laufen, die zweckmäßig doppelt durchbohrt sind. Das unterste Rohrstück ist meist noch an dem einen Ende mit einer Vertiefung versehen, um so die wirksame Verbindungsstelle zu schützen (Abb. 207). Das Ganze steckt in einem Schutzrohre aus Quarzglas (bis 1100° C) oder Marquardtscher Masse (bis 1600° C). Quarzrohre besitzen die wichtige Eigenschaft, daß sie dem schroffsten Temperaturenwechsel standhalten, weil der Ausdehnungskoeffizient des geschmolzenen Quarzes nahezu gleich Null ist. Es kann aber auch ein Schutzrohr aus

Stahl benutzt werden, wenn nur Temperaturen bis 900 °C in Betracht kommen. Bei Anwendung eines Stahlrohrs ist dafür zu sorgen, daß die Drähte des Thermoelements an keiner Stelle das Schutzrohr berühren, weil dadurch Fehler in den Messungen hervorgerufen werden.

Es ist nicht gleichgültig, in welcher Weise ein Thermoelement in dem auf seine Temperatur zu überwachenden Ofen eingebaut

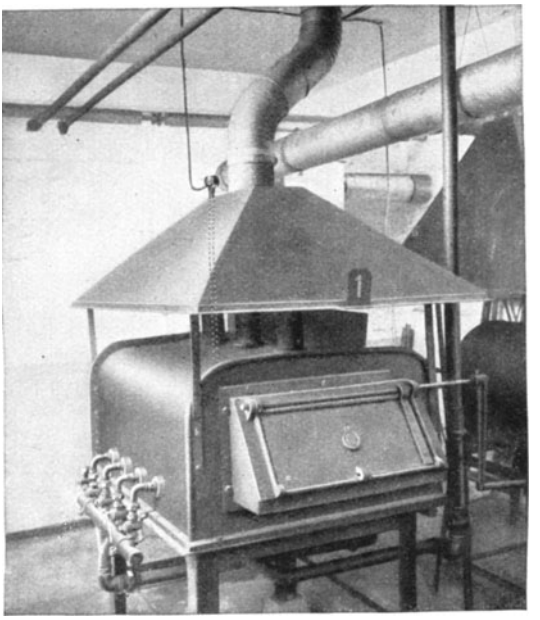


Abb. 209. Gasmuffelofen mit eingebautem Thermoelement nebst Kühlgefäß (oben links).

wird. Denn in jedem Ofen, besonders von großen Abmessungen, sind, wie weiter unten auseinandergesetzt wird, die Temperaturen verschieden, und man muß daher das Thermoelement so anbringen, daß es die Temperatur an der Stelle des Ofens mißt, an welcher die zu erhitzenden Gegenstände liegen. Außerdem ist darauf zu achten, daß die Öffnung, durch die das Element in den Ofen hineinragt, gut verschlossen ist, da sonst die außerhalb des Ofens liegenden Enden des Thermoelementes übermäßig erwärmt werden, wodurch man fehlerhafte Meßergebnisse erhält. Natürlich muß der Ver-

schluß des Schutzrohrs so angeordnet sein, daß er sich infolge der Hitze in seiner Längsrichtung verschieben kann.

Eine praktische Anordnung des Thermoelements in einem Bleibad-Härteofen zeigt Abb. 208, während Abb. 209 einen Gasmuffel-

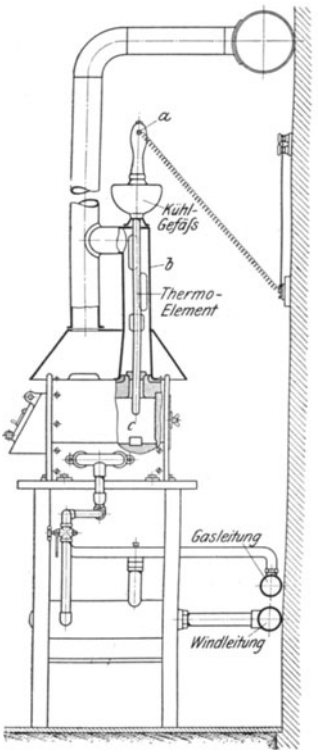


Abb. 210. Muffelofen mit eingebautem Thermoelement nebst Kühlgefäß.

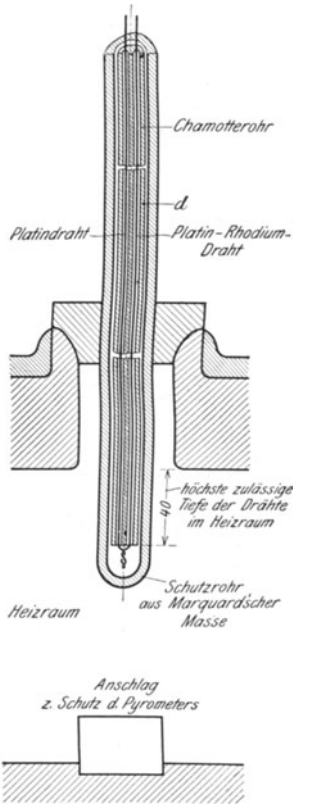


Abb. 211. Geschütztes Thermoelement in einem Muffelofen.

ofen mit Thermoelement darstellt. Letzterer ist noch besonders in Abb. 210 wiedergegeben. Die Lagerung der Verbindungsstelle des Thermoelementes in dem Schutzrohr lassen die Abb. 207 und 211 erkennen.

Thermoelemente aus edlen Metallen, wie sie zum Messen von

Temperaturen über 1100° C dienen, macht man in Rücksicht auf den hohen Preis so kurz wie möglich. Da aber die aus dem Ofen herausragenden Enden des Thermoelementes erwärmt werden, so wird an dem oberen Ende des Schutzrohres in unmittelbarer Nähe der Verbindungsstelle der beiden Drahtenden mit den zum Galvanometer führenden Kupferdrähten ein Kühlgefäß angeordnet,

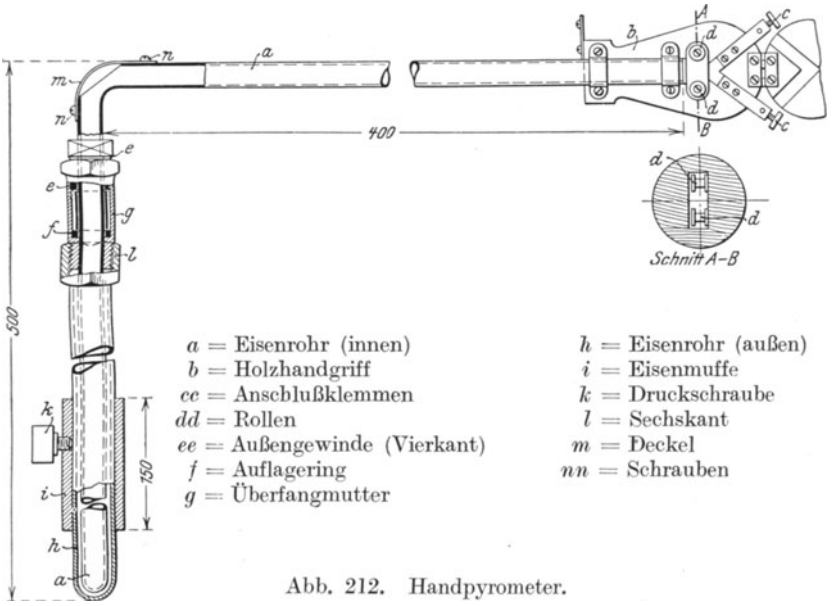


Abb. 212. Handpyrometer.

das in unmittelbarer Verbindung mit der Wasserleitung steht (Abb. 209 u. 210). Auf dem Boden des Heizraumes ist gewöhnlich zum Schutze des Thermoelementes vor den zu erwärmenden Gegenständen ein Anschlag aus Schamotte angebracht (Abb. 211).

Um die unbequeme Anbringung des Kühlgefäßes zu vermeiden, verwendet man in neuerer Zeit sog. Kompensationsleitungen. Es sind dies Leitungen, die an Stelle der die Enden des Thermoelementes mit dem Galvanometer verbindenden Kupferleitungen treten. Sie bestehen aus unedlen Metallen (Legierungen), die gegeneinander die gleiche Thermokraft aufweisen wie die aus edlen Metallen bestehenden Drähte des Thermoelementes, bei Unedelmetallthermoelementen aus gleichem Stoff wie diese.

Für Salzhärteöfen sowie für Bleibäder eignet sich am besten das Handpyrometer von Siemens & Halske. Das knieförmig gebogene Handpyrometer (Abb. 212) besteht aus dem Eisenrohr *a*, dessen wagerechter Schenkel mit einem Holzhandgriff *b* und zwei Anschlußklemmen *cc* versehen ist. Der Handgriff ist aufklappbar und trägt Aussparungen, welche die beiden Anschlußklemmen *cc* sowie zwei zum Aufwickeln der überschüssigen Drahtenden des Thermoelementes bestimmten Rollen *d* und das Eisenrohr *a* aufnehmen. Der senkrechte Schenkel des Eisenrohres *a* ist kurz unter der knieförmigen Krümmung unterbrochen, der obere Teil mit Außengewinde *e* und einem Vierkant, der untere Teil mit Auflagerung *f* versehen. Die Schnittflächen, mit denen die beiden Teile des Rohres *a* aufeinanderstoßen, sind nicht senkrecht, sondern schräg zur Längsrichtung des Rohres *a* ausgeführt. Ferner ist am unteren Ende des Rohres *a* oberhalb des Auflageringes *f* eine kleine Hülse vorgesehen, die die beiden abgeschrägten Rohrteile aufnimmt. Die Verbindung der beiden Teile des Eisenrohres *a* wird durch die Überfangmutter *g* hergestellt. Über den senkrechten Schenkel des Eisenrohres *a* ist ein zweites Eisenrohr *h* gezogen, das auf den unteren Teil der Überfangmutter *g* geschraubt ist. Über dieses Außenrohr *h* ist eine verstellbare, leicht auswechselbare Eisenmuffe *i* geschoben, die mittels einer Druckschraube *k* nach Bedarf auf die entsprechende Eintauchtiefe eingestellt werden kann. Der untere Teil des inneren Eisenrohres *a* ist geschlossen und am oberen Ende mit Sechskant *l* zum Aufschrauben auf die Überfangmutter *g* ausgerüstet. Im Eisenrohr *a* ist an der Außenseite der knieförmigen Krümmung eine längliche Öffnung vorgesehen, die ein Deckel *m* verschließt. Dieser Deckel *m* wird durch zwei Schrauben *nn* auf das Eisenrohr *a* aufgeschraubt. Im Inneren des Eisenrohres *a* werden die beiden Drähte des Thermoelementes durch kurze, doppelt gebohrte Porzellanzylinder und -kugeln und an der Krümmung nur durch Porzellankugeln isoliert. Die Enden des Elementes werden je nach überschüssigem Vorrat auf die Rollen *dd* aufgewickelt und dann unter die Anschlußklemmen *cc* geklemmt.

Das Wesen dieser Anordnung besteht darin, daß einmal die das Thermoelement angreifenden Metallgase, die das Eisenrohr *h* vollständig durchdringen, durch das mit einem galvanischen Nickelüberzuge versehene Eisenrohr *a* von dem Element abgehalten werden und ferner der Abnutzung des Eisenrohres *h*,

das in das Bad taucht, durch die Muffe *i* vorgebeugt wird, da erfahrungsgemäß nur die Schlacke des Bades unschädlich wirkt. Durch die Verschiebbarkeit dieses Ringes ist es möglich, diese Anordnung leicht für jeden Ofen auf die entsprechende Eintauchtiefe einzustellen.

Das Einziehen des Thermoelementes in das Handpyrometer geschieht nach einer Anweisung von Siemens & Halske folgendermaßen:

Der vernickelte Teil des Eisenrohres *a* wird zunächst vermittels der Überfangmutter *g* auf den anderen Teil des Rohres *a* geschraubt, so daß nunmehr das Rohr ein Ganzes bildet.

Nachdem etwa fünf doppelt gebohrte Porzellanzylinder abwechselnd mit je einer Kugel (bei einer Länge von 500 mm des senkrechten Schenkels des Eisenrohres *a*) über die Elementdrähte gezogen sind, so daß die Verbindungsstelle des Elementes sich in der untersten Versenkung des zuerst aufgezogenen Porzellanzylinders befindet, führt man durch die Öffnung in der knieförmigen Krümmung das Element mit den aufgereihten Porzellanzylindern und -kugeln von oben in das mittels der Überfangmutter *g* zusammengeschraubte Eisenrohr *a* ein. Die zwischen die Zylinder eingereihten Kugeln haben den Zweck, ein etwaiges Verdrillen der beiden Drähte innerhalb der sonst aufeinanderstoßenden Zylinderversenkungen zu vermeiden. Um ferner zu verhindern, daß die Verbindungsstelle des Elementes mit dem Innenrohr in Berührung kommt, was dann erfolgen könnte, wenn dieselbe aus der Versenkung des Porzellanzylinders heraustritt, legt man, bevor man das Element einsteckt, eine Porzellankugel in das Rohr. Nun reiht man über die beiden Elementdrähte eine der Krümmung entsprechende Anzahl von Kugeln (etwa zehn Stück) und zieht die noch freien Enden der Elementdrähte von der Knieöffnung aus durch den wagerechten Schenkel des Eisenrohres *a*, so daß die Enden aus diesem Rohr herausragen. Jetzt wird die erforderliche Anzahl doppeltgebohrter Porzellanzylinder bzw. -kugeln über die Elementdrähte gezogen, so daß also im senkrechten und im wagerechten Schenkel des Rohres *a* abwechselnd Porzellanzylinder und -kugeln, in der Krümmung dagegen nur Porzellankugeln die Elementdrähte isolieren. Die aus dem Eisenrohr *a* herausragenden freien Drahtenden werden je auf eine Hartgummirolle *d* gewickelt und dann unter je eine Anschlußklemme *c* geklemmt. Zum Schluß wird das Eisenrohr *h* auf die Überfangmutter *g* geschraubt, die

Eisenmuffe *i* auf das Rohr *h* geschoben und durch die Stellschraube *k* in der gewünschten Höhe festgehalten und der Deckel *m* mittels der beiden Schrauben *nn* auf das Eisenrohr *a* aufgeschraubt, nachdem man sich besonders überzeugt hat, daß die Drähte in der knieförmigen Krümmung durch das Aufreihen der einzelnen Porzellanrohre bzw. -kugeln nicht verdrillt worden sind. Werden jetzt die Anschlußklemmen *cc* mit den Zuleitungen zum Galvanometer verbunden, so ist das Handpyrometer betriebsfertig.

Soll das Handpyrometer aus irgendeinem Grunde auseinander genommen werden, was jedoch nach Möglichkeit zu vermeiden ist, so geschieht dies auf folgende Weise:

Nachdem die überschüssigen Drahtenden des Elementes von den Rollen *dd* abgewickelt und von den Anschlußklemmen *cc* gelöst worden sind, wird der Holzgriff *b* vom Eisenrohr abgeschraubt. Nun werden die im wagerechten Schenkel des Rohres *a* hängenden Porzellanzylinder und -kugeln von den Elementdrähten aus dem Rohr *a* herabgezogen, was man durch entsprechendes Neigen des Handpyrometers leicht erreicht. Nach Abschrauben des Deckels *m* werden die Elementdrähte vorsichtig durch die Öffnung aus dem wagerechten Schenkel des Rohres *a* herausgezogen und dann das Element mit den Porzellanzylindern und -kugeln aus dem senkrechten Schenkel des Rohres *a* herausgehoben. Durch Abschrauben des Eisenrohres *h* von der Überfangmutter *g* und dieser von dem Rohre *a*, durch Abziehen der Muffe *i* vom Rohr *h* wird das Handpyrometer in seine Einzelteile zerlegt. Falls die Überfangmutter *g* sich vom Rohr *a* schwer abschrauben läßt, so dreht man hierbei nicht an dem wagerechten, langen Schenkel des Rohres *a*, da sonst dieses in der Krümmung leicht verbogen werden kann, sondern hält das Rohr *a* an dem hierfür vorgeschobenen Vierkant *e* fest.

Es empfiehlt sich, je nach der Betriebsdauer von Zeit zu Zeit das Eisenrohr *a* auf den galvanischen Überzug hin zu untersuchen, was am besten alle vier Wochen geschieht. Sollte es sich bei dieser Untersuchung zeigen, daß der Überzug nicht mehr genügt, so ist das Rohr *a* zweckmäßig durch ein neu vernickeltes zu ersetzen, währenddessen das bisher verwendete frisch vernickelt wird. Hierdurch wird die Betriebssicherheit des Handpyrometers aufs sicherste gewährleistet. Bei dieser Auswechselung des Rohres *a* ist es nicht erforderlich, das ganze Handpyrometer nach der oben beschriebenen Weise auseinander zu nehmen, vielmehr genügt es, zunächst das Außenrohr *h* von der Überfangmutter *g*, sodann

diese von dem Rohre *a* abzuschrauben, um sie dann von dem auszuwechselnden Teile des Rohres *a* abzunehmen und das neue Rohr in entsprechender Weise einzusetzen. Hierbei muß jedoch darauf geachtet werden, daß das bei der Auswechselung frei aus dem festen Teile des Rohres *a* heraushängende Thermoelement vor mechanischer Beanspruchung durch Knickung oder Zerrung bewahrt wird, da sonst ein Zerreißen der Elementdrähte eintreten kann.

Eine zweckmäßige Anordnung des Handpyrometers bei einem Salzhärteofen stellt Abb. 199 dar.

Der elektrische Strom, der durch die Erwärmung der Verbindungsstelle in dem durch die Kompensationsleitungen oder an diese sich anschließende Kupferdrähte mit dem Thermoelement geschlossenen Stromkreis entsteht, wird auf ein Galvanometer (Abb. 213) übertragen, dessen Zeiger dadurch aus seiner Ruhelage abgelenkt wird. Der Zeiger bewegt sich über einer Gradeinteilung, die der Einfachheit halber so beschaffen ist, daß bei der jeweiligen Lage des Zeigers die Temperatur angezeigt wird, die die zu prüfende Wärmequelle angenommen hat.

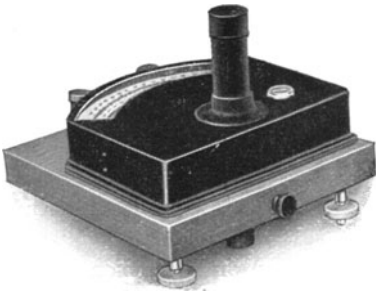


Abb. 213. Zeigergalvanometer.

Bei vielen jetzt gebräuchlichen Galvanometern kann nicht nur die Temperatur sofort abgelesen, sondern auch zu gleicher Zeit selbsttätig und fortlaufend aufgezeichnet werden. Soweit diese sog. selbstschreibenden Galvanometer (registrierende Pyrometer, Temperaturschreiber) sich auf die photographische Entwickelung eines Bildes stützen, sind sie weniger bequem als diejenigen, deren Registrierungen sofort sichtbar sind, nachdem sie stattgefunden haben. Dieser Vorgang findet bei dem Gerät von Siemens & Halske in der Weise Anwendung, daß durch ein Uhrwerk, welches einen Registrierstreifen weiterbewegt, in bestimmten Zeiträumen ein Bügel ausgelöst wird, der sich auf das Zeigerende niedersenkt und dieses mit einer Schneide oder einem daran befestigten Querstift (Reiter) fest auf die Unterlage aufdrückt. Um die Zeigerstellung deutlich durch einen Punkt

kenntlich zu machen, wird unter dem Registrierstreifen ein Farbband oder ein Blaupapier in einer der von der Schreibmaschine

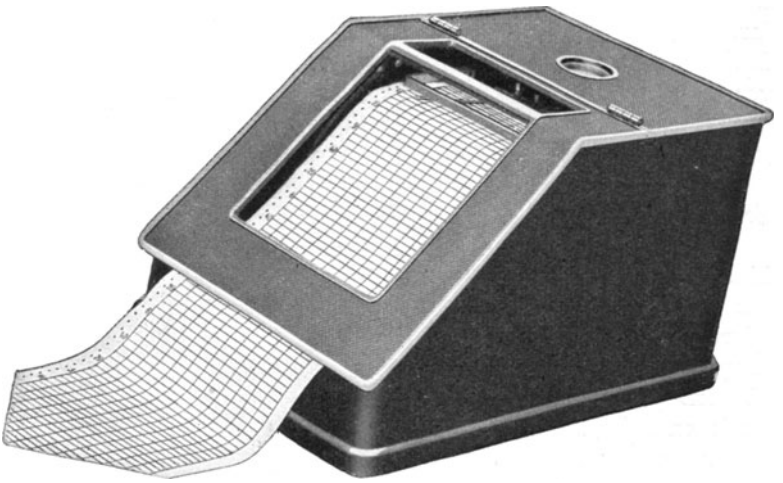


Abb. 214. Registrierendes Pyrometer (geschlossen).

her bekannten ähnlichen Anordnung angebracht. Die einzelnen Punkte reihen sich zu einem deutlichen Linienzuge aneinander. Die

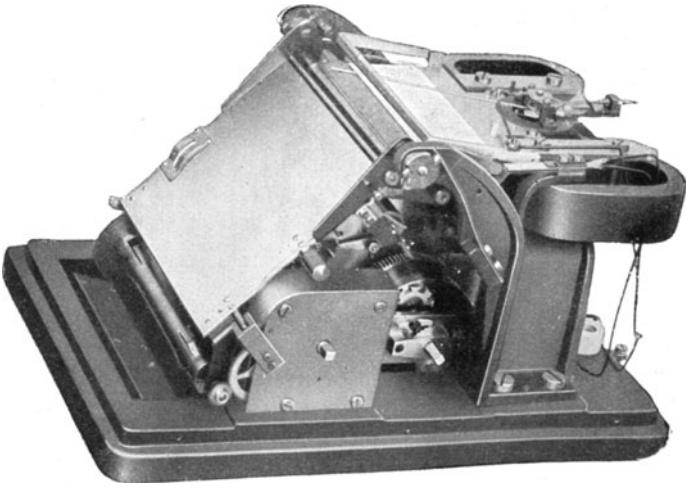


Abb. 215. Registrierendes Pyrometer (offen).

Temperaturschreiber können auch zum gleichzeitigen Registrieren der Temperatur verschiedener Öfen mit Hilfe eines selbsttätigen Umschalters benutzt werden, welcher die Enden jedes Elementes abwechselnd mit dem Registrierapparat verbindet. Von den verschiedenen Formen der jetzt in Anwendung stehenden Geräte stellen die Abb. 214 (geschlossen) und 215 (offen) eine zuverlässige Form dar. Bei Öfen, bei denen es auf eine stets gleichbleibende Temperatur ankommt, z. B. bei Salzbadöfen, Einsatzhärteöfen u. a., leisten diese Registrierapparate gute Dienste.

Die Verbindungsstelle eines Thermoelements, die in den Ofen hineinragt, nennt man Heißlötstelle und die beiden anderen Enden, die aus dem Ofen herausragen, und die in der Regel durch eine Kupferdrahtleitung mit den Klemmen des Galvanometers verbunden sind, heißen Kaltlötstellen. Der Strom, der auf das Galvanometer übertragen wird, hängt von dem Temperaturunterschied zwischen diesen beiden Stellen ab. Daher ist der Ausschlag des Galvanometerzeigers nicht direkt proportional der Temperatur an der Heißlötstelle, sondern nur direkt proportional dem Unterschiede in der Temperatur zwischen Heiß- und Kaltlötstelle. Wenn daher der Galvanometerzeiger 700° C anzeigt, so sind nur dann 700° C an der Heißlötstelle vorhanden, wenn die Kaltlötstelle 0° C angibt. Wenn dagegen die Kaltlötstelle 50° C anzeigt, dann sind an der Heißlötstelle etwa 700 + 50 = 750° C vorhanden. Durch das Galvanometer wird also nur dann die richtige Temperatur an der Heißlötstelle angegeben, wenn an der Kaltlötstelle immer dieselbe Temperatur vorhanden ist, und wenn bei dieser Temperatur die Gradeinteilung des Galvanometers geeicht wurde. Verwendet man, wie heute üblich, die bereits oben erwähnten Kompensationsleitungen von einigen Metern Länge, so tritt an die Stelle der Kaltlötstelle des Thermoelements das dem Element abgewendete Ende der Kompensationsleitungen, welches die gewöhnliche Temperatur des Härteraumes haben wird.

Um jeden Irrtum zu vermeiden, der durch verschiedene Temperaturen an der Kaltlötstelle entstehen kann, ist es ratsam, das Gerät von vornherein unter praktischen Bedingungen zu eichen, d. h. mit einer Temperatur von 25° C an der Kaltlötstelle, die im allgemeinen in einem Härteraum herrschen wird. Wenn bei ständigem Gebrauch die Temperatur an der Kaltlötstelle merklich von 25° C abweicht, dann muß der Unterschied nach der

Multiplikation mit 0,75 entweder addiert oder subtrahiert werden [1]). Das Ergebnis wird innerhalb 2 oder 3° C über einem Veränderungsbereich in den Temperaturen der Kaltlötstelle zwischen 20 und 90° C richtig sein. Um jede Rechnung zu vermeiden, werden die Galvanometer zweckmäßig mit einstellbarer Zeigerruhelage ausgeführt.

Da sich alle Thermoelemente mehr oder weniger im Laufe der Zeit ändern oder zufällig zerbrochen werden können, so ist es eine große Annehmlichkeit, wenn man imstande ist, einfache Ausbesserungen sowie Eichungen an Ort und Stelle vorzunehmen. Fehler an den Registrierapparaten und Galvanometern entstehen selten und können nur von einem erfahrenen Mechaniker beseitigt werden.

Das Wiederzusammenschmelzen eines zerbrochenen Platin-Rhodium-Thermoelementes kann in wenigen Minuten ausgeführt werden. Man leitet einen Strom von verdichtetem Sauerstoff durch ein kleines Lötrohr — wie es zu Lötrohranalysen von Schürfern gebraucht wird — in die Flamme einer gewöhnlichen Spirituslampe. Der abgelenkte Teil der Flamme ist sehr heiß und reicht aus, um die beiden aneinanderstoßenden Drahtenden des Elementes zusammenzuschmelzen. Die zusammengeschmolzene Verbindungsstelle ist dann gewöhnlich kugelförmig von der Größe eines Stecknadelkopfes. Die beiden Drahtenden können auch miteinander über eine Länge von 2—3 mm verdrillt werden und die verdrillten Enden werden dann wie vorher zusammengeschmolzen. Dieses Verfahren verlangt weniger Geschicklichkeit, doch ist die Verbindungsstelle meist nicht so sauber wie eine nach dem vorigen Verfahren hergestellte Verbindungsstelle. Steht verdichteter Sauerstoff nicht zur Verfügung, so lassen sich die Drähte auch leicht im Lichtbogen einer elektrischen Bogenlampe vereinigen. Man vergesse nicht, bei dieser Arbeit die Augen durch farbige Gläser zu schützen.

Das Eichen besteht darin, daß man das Thermoelement in geschmolzene Stoffe bringt, die einen bestimmten Erstarrungspunkt besitzen und während des Abkühlens die Stellung an der Gradeinteilung des Galvanometers beobachtet, bei welcher die Temperatur unveränderlich bleibt, was von der Entbindung der

[1]) Die Zahl 0,75 ist durch Versuche bestimmt worden und ist für alle Thermoelemente, die aus Platin und einer Legierung von Platin mit 10 v. H. Rhodium hergestellt sind, nahezu richtig.

latenten Schmelzwärme herrührt. Die zum Eichen benutzten Stoffe müssen folgende Eigenschaften besitzen:

1. Der Erstarrungspunkt muß deutlich ausgeprägt sein und mindestens so lange andauern, als notwendig ist, um bequem eine Eichung durchzuführen.
2. Die Stoffe dürfen nicht oxydieren, auch soll sich der Erstarrungspunkt nicht ändern, wenn sie zufällig oxydiert werden.
3. Der Erstarrungspunkt muß stets bei derselben Temperatur eintreten, wie oft auch immer die Eichung ausgeführt wird.
4. Die Stoffe dürfen die Schutzröhre des Thermoelementes nicht angreifen; dies gilt besonders bei eisernen Umhüllungen. Auch sollen sich die Stoffe ohne irgendwelche Vorsichtsmaßregel in einem eisernen Tiegel oder einem Graphittiegel auf dem Schmiedefeuer schmelzen lassen.

Zinn, Blei und Zink können leicht angewendet werden, weil sie in genügend reinem Zustande erhältlich sind, jedoch oxydieren sie sich sehr schnell, auch sind ihre Erstarrungspunkte von 232° C bzw. 327° C bzw. 419° C für den gewöhnlichen Gebrauch zu niedrig. Die Erstarrungspunkte von Antimon (631° C) und von Aluminium (657° C) kommen den im praktischen Härtebetrieb angewendeten Temperaturen näher, doch sind diese Metalle meist nicht genügend rein, auch oxydieren sie sich leicht und werden andererseits leicht verunreinigt. Silber, das bei 962° C erstarrt, eignet sich am besten zum Eichen, doch ist es teuer. Auch Kupfer kann angewendet werden, aber sein Erstarrungspunkt (1084° C) ist nicht immer beständig, besonders wenn es im geschmolzenen Zustande mit der Luft in Berührung kommt.

Während diese Metalle unter gewissen Vorsichtsmaßregeln beim Eichen befriedigende Ergebnisse liefern, so fallen doch die Erstarrungspunkte derjenigen, die aus praktischen Gründen herangezogen werden könnten, nicht in den Temperaturbereich, der meist bei der Wärmebehandlung der Stähle vorgesehen ist. Metallsalze dagegen erfüllen alle Bedingungen, die an einen geeigneten Stoff zum Zwecke des Eichens gestellt werden müssen. Aus der großen Anzahl von Gemischen, die hergestellt werden können, kann eine zweckentsprechende Mischung ausgewählt werden, um für jeden gewünschten Temperaturbereich eine Eichung zu gestatten.

Der Erstarrungspunkt des gewöhnlichen Kochsalzes liegt immer zwischen 795 und 800° C. Dieser Stoff kann nach jeder Eichung immer wieder verwendet werden.

Die Eichung mit diesem Salz geschieht auf folgende Weise: Zunächst füllt man einen eisernen Tiegel oder einen Graphittiegel von ungefähr 0,6 Liter Fassungsvermögen mit dem fein gemahlenen Salz an und setzt darauf den Tiegel auf einen Schmiedeherd oder erhitzt ihn auf irgendeine andere Weise, bis das Salz vollständig geschmolzen ist. Dann taucht man die Heißlötstelle des Thermoelementes, das an ein Galvanometer angeschlossen ist, in das geschmolzene Salz und befestigt dicht an der Kaltlötstelle ein Thermometer. Sobald die Heißlötstelle des Thermoelementes die Temperatur des geschmolzenen Salzes angenommen hat, entfernt man den Tiegel vom Herde oder stellt das Heizgas ab. Jetzt beobachtet man sorgfältig den Galvanometerzeiger, der allmählich zurückgeht. Sobald das Salz zu erstarren anfängt, bleibt der Zeiger stehen, manchmal jedoch steigt er auch ein wenig an. Er geht nicht eher zurück, als bis das Salz vollständig erstarrt ist. Außerdem merkt man sich die Temperatur an der Kaltlötstelle, die von dem Thermometer angezeigt wird. Die Eichungstemperatur wird nun folgendermaßen ausgerechnet:

Thermoelement, anfangs geeicht bei . . . . . 25° C
Der Zeiger bleibt stehen auf der Einteilung bei . 790° C
Temperatur der Kaltlötstelle . . . . . 30° C

Es entsprechen daher 790° C am Galvanometer 800—(30—25) × 0,75 = 796° C, d. h. das Thermoelement zeigt 4° C zu wenig an.

Das Salz kann in wenigen Minuten wieder geschmolzen werden, um die Beobachtung zu wiederholen. Alsdann wird der Tiegel erkalten gelassen und das Salz für spätere Eichungen aufgehoben.

Manchmal ist es zweckmäßig, verschiedene Gemische anzuwenden, deren Erstarrungspunkte an verschiedenen Stellen des Temperaturbereiches liegen, bei welchem das Pyrometer gebraucht wird. Solche Stoffe, die in Form von Salzmischungen verbürgte Erstarrungspunkte besitzen, werden von verschiedenen Firmen in den Handel gebracht.

Beim Gebrauch sowohl von Salzgemischen als auch von anderen Stoffen für Eichungszwecke ist es unbedingt erforderlich, daß alle Spuren des Stoffes von dem Thermoelement entfernt werden, bevor es in eine andere Mischung getaucht wird. Wenn

Salze angewendet werden, ist es besser, das eiserne Schutzrohr abzustreifen und das Thermoelement allein in die geschmolzene Masse zu tauchen. Die Salze beschädigen das Element nicht im geringsten, bei metallischen Stoffen dagegen muß stets ein Schutzrohr herangezogen werden.

Auch ein Stück Werkzeugstahl mit etwa 1,0 v. H. Kohlenstoff, dessen kritische Temperaturen bekannt sind, kann ebenfalls für Eichungszwecke benutzt werden. In das Stückchen Werkzeugstahl wird ein kleines Loch gebohrt, das die Heißlötstelle des Thermoelementes aufnimmt. Das Stahlstück mit dem Element wird in einen kleinen Tontiegel gebracht, der entweder auf dem Schmiedeherde oder über einer Lötlampe, jedoch immer unter denselben Bedingungen, erhitzt wird. Ein Stück Stahl, das in der angegebenen Weise vorbereitet ist, hat gegenüber den meisten anderen Stoffen, die zum Eichen von Pyrometern in Anwendung stehen, den Vorteil, daß er leicht in jeder gewünschten Menge erhältlich ist und auch leicht ersetzt werden kann. Zwar kann man nach diesem Verfahren nur eine sehr beschränkte Reihe von Temperaturen nachprüfen, für die meisten Zwecke der Wärmebehandlung der Stähle reicht es vollkommen aus.

Da dieses einfache Verfahren, die Genauigkeit des Thermoelementes zu überwachen, als nicht einwandfrei hingestellt worden ist, so sind die folgenden Ergebnisse von Wert. Die Beobachtung wurde in der angegebenen Weise an einem Element von vier Personen zu verschiedenen Zeiten gemacht. Der Stillstand des Galvanometerzeigers beim Erhitzen trat ein bzw. bei 739°, 742°, 741° und 743° C. Mit einer Einrichtung, die besonders zur Aufnahme von Haltepunktskurven gebaut war, wurde der Haltepunkt bei 740° C gefunden.

Um den hohen Anschaffungskosten der Platinthermoelemente und laufenden Unterhaltungskosten infolge Verschleißes der Schutzausrüstungen zu begegnen, hat man sich neuerdings einer weiteren Art von elektrischen Temperaturmeßgeräten, den Gesamtstrahlungspyrometern, wieder und zwar mit Erfolg zugewendet. Das Wesentliche an diesen ist, daß ihr wärmeempfindlicher Teil nicht an die Stelle gebracht wird, deren Temperatur man messen soll, sondern man läßt den glühenden Körper nur durch seine Wärmestrahlen auf jenen wirken, so daß dieser also nur eine mäßige Temperatur annimmt, die keinerlei Abnutzung des Meßgerätes bewirkt. Auf diesem Grundsatze beruht das Ardometer von

Siemens & Halske[1]). Wie aus der schematischen Darstellung der Abb. 216 ersichtlich ist, wird die vom Strahler, dessen Temperatur zu messen ist, ausgehende Strahlung von der Objektivlinse gesammelt und auf ein geschwärztes Platinblättchen geworfen, an dem zwei Paar sehr dünner Thermodrähte fest angelötet sind, deren Enden zu einem Galvanometer geführt werden, von dem die erzeugte Thermospannung bzw. die Temperatur der strahlenden Fläche abgelesen wird. Das Thermoelement ist in ein luftleeres Glasgefäß eingeschlossen. Dabei muß die Objektivlinse genau auf die glühende Fläche eingestellt sein. Das ist der Fall, wenn durch das Okular gesehen, die strahlende Fläche bzw. der Teil

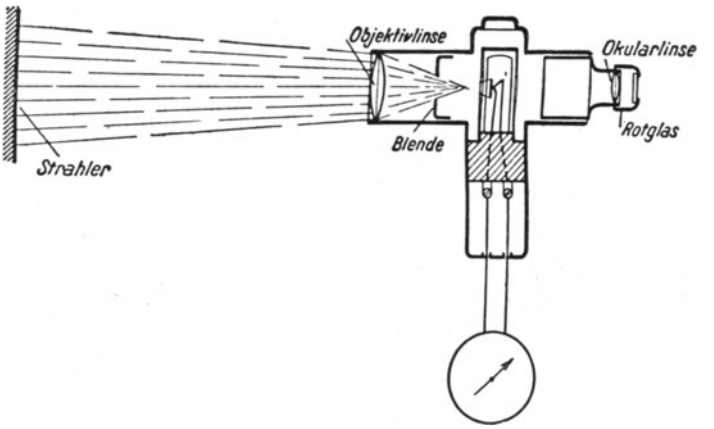


Abb. 216. Schematische Darstellung des Ardometers.

von ihr, dessen Temperatur zu messen ist, das Blättchen des Thermoelements völlig überdeckt. Zur Schonung des Auges wird dabei ein Rotglas vor das Okular gesetzt. Das Aufnahmeblättchen hat einen Durchmesser von 2—3 mm. Der notwendige Mindestdurchmesser der strahlenden Fläche beträgt etwa 6—8 cm bei 1 m Abstand der Linse vom Strahler, bei geringerem oder größerem Abstande entsprechend weniger oder mehr. Davon abgesehen ist die Angabe des Gerätes von der Entfernung unabhängig. Bei der außerordentlich geringen Dicke der Elementdrähte und des Aufnahmeblättchens stellt sich letzteres äußerst

[1]) Vgl. Keinath, a. a. O. und Quaink, Dinglers polytechnisches Journal 1921, S. 323.

rasch in wenigen Sekunden auf die dem Strahler entsprechende Temperatur ein. Das Thermoelement im Ardometer erzeugt bei Höchsttemperatur eine Spannung von 15 Millivolt, es können somit gleiche Anzeigegeräte verwendet werden, wie für Platinrhodiumelemente (16,5 Millivolt bei 1600° C). Auch der Anschluß von Registrierapparaten, wie sie oben beschrieben sind, ist ohne weiteres möglich.

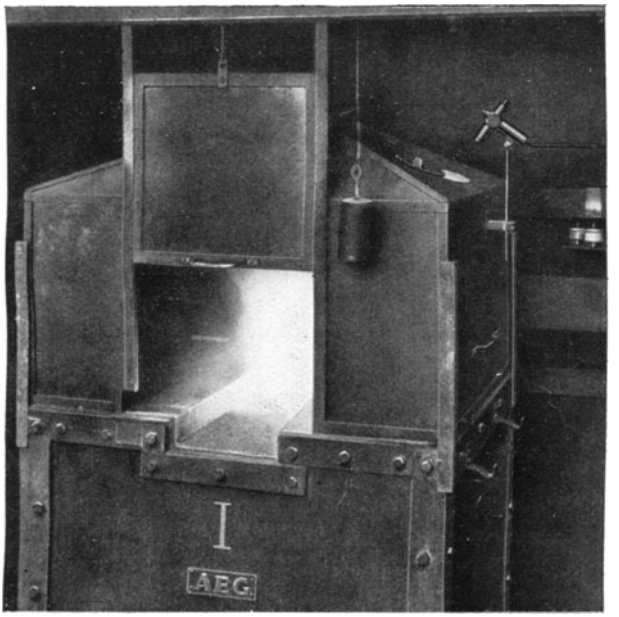


Abb. 217. Elektrischer Salzbad-Härteofen mit angebautem Ardometer.

Nach dem Stephan-Boltzmannschen Strahlungsgesetz ist die Strahlungsenergie proportional dem Unterschied der 4. Potenz der absoluten Temperatur von Strahler und Empfänger. Da die Glaslinse aber einen erheblichen Teil der ultraroten Strahlen verschluckt, so entsteht bei niedrigen Temperaturen eine erhebliche Abweichung von der nach jenem Gesetz sich ergebenden Temperatur. Infolgedessen sind beim Ardometer die Gradeinteilungen am Anfang sehr eng, gegen das Ende sehr weit und man wird den Meßbereich zweckmäßig so wählen, daß man vorzugsweise in

dem obersten weiten Teile der Gradeinteilung mit entsprechender Genauigkeit ablesen kann.

Das Ardometer ist im Gegensatz zu dem Holborn-Kurlbaum-Pyrometer in erster Linie für ortsfesten Einbau bestimmt. Dabei sind zwei Anordnungen möglich. Wird der Ofen elektrisch geheizt, oder ist auf andere Weise dafür gesorgt, daß durch die Schauöffnung keine Flammen heraustreten können, so kann die Objektivlinse des Ardometers unmittelbar vor die Öffnung gesetzt werden. Abb. 217 zeigt den Anbau eines Ardometers an der Dunsthaube eines Salzbadhärteofens. Bei Öfen, bei denen damit zu rechnen ist, daß aus Öffnungen Stichflammen heraustreten können, baut man in die Ofenwandung ein besonderes dünnwan-

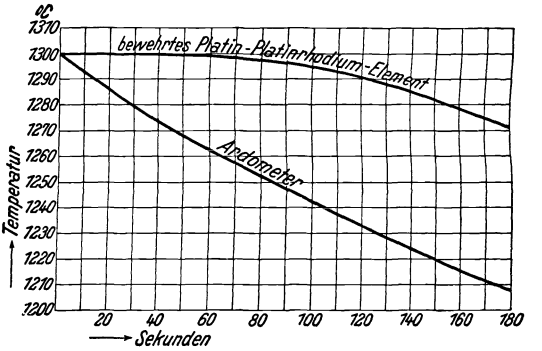


Abb. 218. Vergleich der Wärmeempfindlichkeit des Ardometers und eines bewehrten Platin-Platinrhodiumelementes.

diges Glührohr aus hochfeuerfester Schamotte, dessen geschlossenes Ende mindestens 100—150 mm in den Feuerraum hineinragt, und visiert mit dem Ardometer den glühenden Boden an. Dadurch, daß auf die Forderung der Gasdichtigkeit verzichtet werden kann, ist es möglich, die Rohre aus einem Stoff herzustellen, der hinsichtlich Feuerfestigkeit und Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel dem der üblichen Pyrometerschutzrohre weit überlegen ist.

Wieviel schneller ein Ardometer Temperaturveränderungen folgt, insbesondere wenn es ohne Glührohr verwendet wird, als ein Thermoelement, welches beispielsweise mit einem Marquardt-Doppelrohr bewehrt in einem Schamotterohr von 22/35 mm Durchmesser in den Ofen eingesetzt war, zeigt die Abb. 218, die den Temperaturabfall nach dem Ausschalten der Heizung wieder-

gibt, so wie er mit den beiden Meßgeräten beobachtet wurde. Das sehr viel schneller folgende Ardometer erweist sich als besonders geeignet für den Betrieb von selbsttätigen Temperaturreglern, wenn es darauf ankommt, bestimmte Temperaturen unveränderlich zu halten.

Die Eichung von Pyrometern kann, wie besprochen wurde, mit Hilfe von Stoffen vorgenommen werden, deren Schmelzpunkte oder besser Erstarrungspunkte festliegen und die daher leicht beobachtet werden können. Es ist daher klar, daß die Temperatur eines Ofens, in welchem einer dieser Stoffe verflüssigt wird, höher ist als ihr Schmelzpunkt und daß bei zwei Stoffen, wenn einer geschmolzen ist und der andere nicht, die Temperatur des unter Beobachtung stehenden Ofens dann irgendwo zwischen diesen beiden liegen wird. Die Segerkegel (600 bis 1900° C), die meist bei Brennöfen für Tonwaren und ähnliche Erzeugnisse der keramischen Industrie angewendet werden, sind bekannte Beispiele dieser Art von Temperatur-Anzeigern. Segerkegel schmelzen jedoch nicht gänzlich, vielmehr erweichen sie allmählich und sinken bei entsprechenden Temperaturen um. Schmelzbare Metallegierungen und reine Metalle selbst sind zu ähnlichen Zwecken benutzt worden, doch ist ihre allgemein praktische Verwendbarkeit wegen der leichten Oxydierbarkeit bislang nicht eingetreten [1]).

Auf einem ähnlichen Gedanken wie die Segerkegel beruhen die Sentinelpyrometer, die sich auf einen Temperaturbereich von etwa 230—340° C und 650—1065° C erstrecken [2]). Sie sind kleine Zylinder von ungefähr 20 mm Höhe und 12 mm Durchmesser und sind in der Regel aus Metall-Salzgemischen von bestimmten Schmelzpunkten hergestellt. Segerkegel sowie Sentinel-Pyrometer sind wegen ihrer geringeren Zuverlässigkeit aus den Werkzeughärtereien so gut wie verschwunden, doch hat unter gewissen Umständen die Sentinelpaste Bedeutung, die dadurch erhalten wird, daß man zusammengeschmolzene Salzgemische zu einem feinen Pulver vermahlt und durch Vaseline in eine plastische Masse verwandelt. Für manche Zwecke ist diese Sentinelpaste sehr gut geeignet, wo die gewöhnlichen Pyrometerformen unzweckmäßig sind. Im Schmiedefeuer z. B. kann ein Werkzeug auf dunkle Rotglut erhitzt und nahe an der Spitze mit einer kleinen Menge

[1]) Vgl. Stahl und Eisen 1909, S. 440 und 1911, S. 403.
[2]) Vgl. Stahl und Eisen 1906, S. 1466.

dieser Paste bestrichen werden, deren Schmelzpunkt bei etwa 780° C liegt. Das Werkzeug wird dann wieder in das Feuer gebracht, und zwar so, daß der Teil mit der Paste in ein Stück Schmiedeeisen- oder Gußeisenrohr zu liegen kommt. Sobald das weiße Merkzeichen, das von der dünnen Schicht der Paste zurückgeblieben ist, schmilzt und verschwindet, hat der Stahl die gewünschte Temperatur erreicht und kann abgeschreckt werden. Auf diese Weise können kleine Werkstücke fast mit dem gleichen Genauigkeitsgrad gehärtet werden wie mit der üblichen Wärmemeßausrüstung einer neuzeitlichen Härterei.

Bei den gewöhnlichen Kohlenstoffstählen ändern sich nach Überschreitung der Umwandlungspunkte die magnetischen Eigenschaften derselben. Wird beim Erhitzen des Stahles der Haltepunkt überschritten, so verliert der Stahl seinen Magnetismus, erkaltet er wieder, so wird er wieder magnetisch, wenn der Haltepunkt erreicht ist. Von dieser Tatsache kann man im praktischen Härtebetrieb Gebrauch machen, um zu erkennen, ob ein Stahlstück zum Härten genügend erhitzt worden ist. Zu diesem Zwecke werden die Öfen mit einer besonderen Meßvorrichtung versehen, die den Zeitpunkt des Abschreckens selbsttätig anzeigt. Hört z. B. bei einem Kohlenstoffstahl mit 1 v. H. Kohlenstoff, dessen Haltepunkt bei 720° C liegt, die Anziehung eines Magneten auf, so kann man sicher gehen, daß die Temperatur höher als 720° C ist. Da aber die verschiedenen Teile eines Werkstückes im allgemeinen sich nicht mit derselben Schnelligkeit bis auf denselben Betrag erwärmen, so ist es klar, daß dieses Verfahren nur bedingt richtige Ergebnisse liefern kann.

An Stelle eines Magneten kann man auch einen Kompaß verwenden, an dem das erhitzte Werkstück von Zeit zu Zeit in westöstlicher Richtung hin- und herbewegt wird. Die Magnetnadel des Kompasses schlägt nicht mehr aus, wenn der geeignete Wärmegrad des Werkstückes erreicht ist, das alsdann abgeschreckt werden kann.

Was den Wert der pyrometrischen Überwachung von Öfen anbetrifft, die zum Ausglühen und Härten dienen, so dürfte nach den vorstehenden Darlegungen hierüber ein Zweifel nicht bestehen. Dennoch bleiben die Schwierigkeiten in der Wärmebehandlung der Stähle immer noch groß genug. Der erfahrene Härter, der nur nach seinem Auge urteilt, macht Fehler, aber auch das Pyrometer kann Fehler machen, und während der

Härter sich gewöhnlich rechtzeitig in bezug auf seine Fehler berichtigt, kann das Wärmemeßgerät im Laufe der Zeit sich verändern.

Es ist nicht nötig, die verschiedenen Gründe anzuführen, weswegen ein Pyrometer ungenaue Ablesungen ergeben kann. Es ist aber wichtig, zu beachten, daß Fehler plötzlich erscheinen oder allmählich größer werden können. In jedem Falle ist es notwendig, daß das Gerät regelmäßig geprüft und geeicht wird. Eine häufig angeführte Regel, die sowohl aus Sparsamkeitsgründen zu beachten ist als auch durch die Erfahrung gestützt wird, ist folgende:

> Wende die niedrigste Temperatur an, die noch zuläßt, daß das gewünschte Härtungsergebnis erzielt wird.

Die Aufgabe besteht darin, die Temperatur am äußersten Rande des Werkstückes zu messen. Dabei ist zu bedenken, daß Öfen niemals an allen Stellen dieselbe gleichmäßige Temperatur aufweisen. Wird dies übersehen, so darf man natürlich dann nicht das Pyrometer für Mißerfolge verantwortlich machen.

Es ist ratsam, mit einem thermoelektrischen Pyrometer oder einfacher mit einem zum Vergleich herangezogenen optischen Pyrometer zunächst an verschiedenen Stellen des Ofens die Temperatur zu bestimmen und eine Temperaturübersicht anzufertigen. Wenn dies für verschiedene Heizungs- und Beschickungsarten des Ofens durchgeführt ist, macht sich die verursachte Mühe durch die gewonnene Erfahrung wieder gut bezahlt. Die Änderungen in der Temperatur, die bei einer solchen Überwachung gefunden werden, sind mitunter sehr erheblich.

Es ist nicht zu empfehlen, ein Pyrometer zu dem Zwecke zu beschaffen, um die Tätigkeit des Härters zu überwachen. Denn das Pyrometer wird nur dann eine wertvolle Hilfe für die Härterei sein, wenn es der Härter nicht als Überwachungsgerät seiner Tätigkeit, sondern als Überwachungsgerät des Ofens ansieht. Der Härter muß es im Gefühl haben, wo und in welcher Weise das Pyrometer zu Rate zu ziehen ist, um tatsächlich durch dasselbe das zu erreichen, was für alle Härtearbeiten die wichtigste Bedingung ist:

> Erzielung einer bestimmten Temperatur an allen Stellen des Werkstückes und des Ofens.

Wird dagegen das Pyrometer als eine Art Überwachungsanzeiger des Härters eingeführt und gegebenenfalls noch mit einer Alarmanlage verbunden, die in Tätigkeit tritt, sobald die Höchst- bzw.

Niedrigsttemperatur über- oder unterschritten wird, dann bringt das Gerät keinen Nutzen und ein mittelmäßiger Härter ist auf Grund seiner Erfahrung einem in diesem Sinne verwendeten Pyrometer wesentlich überlegen. Je zwangloser das Pyrometer gebraucht wird, wie es die Überzeugung des Härters verlangt, um so mehr Anteil nimmt er daran, um so weniger fühlt er, daß seine Geschicklichkeit durch dasselbe überflüssig gemacht wird und um so vollkommener kann das gewünschte Ziel der richtigen Wärmebehandlung des Stahls erreicht werden. Die Aufsicht, die ein begabter Härter mit dem Gerät ausübt, macht ihm dasselbe lieb und wert, und so gelingt es besser als auf irgendeine andere Weise, die Ofenbauart und die Art der Ofenbeheizung zu verbessern und die Temperatur der Öfen ständig im Auge zu behalten.

3. Die Bestimmung der Haltepunkte im Eisen und Stahl.

Die Kenntnis der Umwandlungen im Stahl ist nach den früheren Betrachtungen für den Stahlhärter von großer Wichtigkeit, da ein Stahl nur dann durch plötzliche Abkühlung gehärtet wird, wenn seine Temperatur den kritischen Punkt überschritten hat.

Zur Bestimmung der Umwandlungspunkte im Eisen und Stahl sind verschiedene Verfahren ausgearbeitet worden. Am bequemsten ist wohl das Verfahren, nach welchem man die bei der Erhitzung und Abkühlung auftretenden Haltepunkte sofort auf einer photographischen Platte erhält.

Das Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin, gebaut von Siemens & Halske (Abb. 219 bis 221), eignet sich in Verbindung mit Thermoelementen in der Hand eines geschickten mit elektrotechnischen Grundkenntnissen ausgestatteten Härters vorzüglich zur Aufzeichnung von Haltepunktskurven von Eisen und Stahl. Die Bestimmung der Haltepunkte nach diesem Verfahren beruht auf der Tatsache, daß physikalische und chemische Veränderungen innerhalb eines Stoffes in der Regel von einer Wärmeabgabe bzw. Wärmebindung begleitet sind. Nach diesem Verfahren werden die bei der Erhitzung auftretenden Temperaturunterschiede zwischen einem neutralen Körper, etwa Porzellan oder Platin und dem zu untersuchenden Probekörper gemessen. Im Augenblicke des Erscheinens des Haltepunktes treten zwischen den beiden Stoffen Temperaturunterschiede auf, die durch ein

an ein Differential-Thermoelement angeschlossenes Spiegelgalvanometer angezeigt werden. Ein zweites Spiegelgalvanometer in Ver-

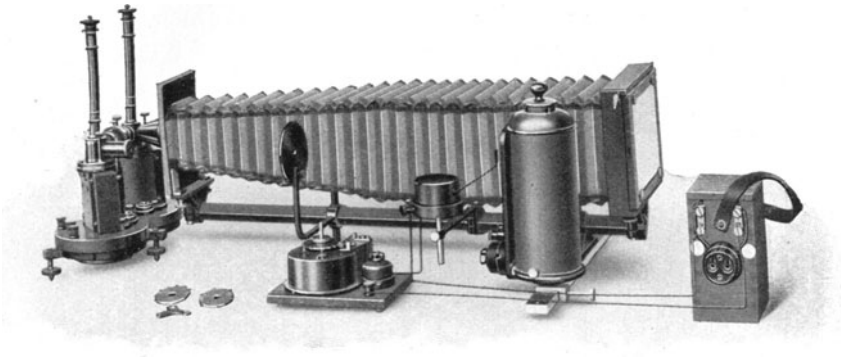


Abb. 219. Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin mit Kameraanbau. Seitenansicht.

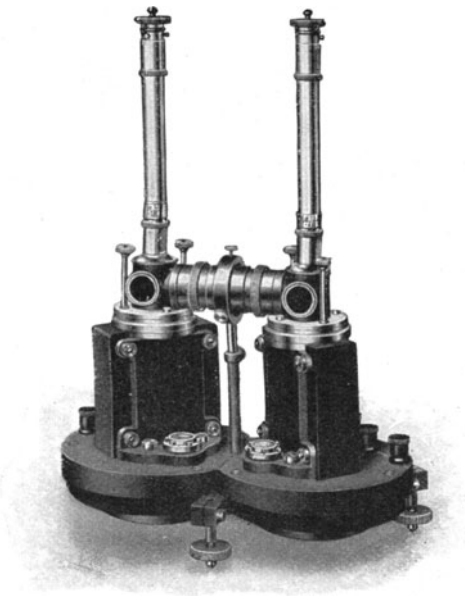


Abb. 220. Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin. Vorderansicht.

bindung mit einem gewöhnlichen Thermoelement gibt die gerade vorhandene Temperatur des Ofens an, in dem das Probestück und der neutrale Körper erhitzt wurden.

Das Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin (Abb. 221) besteht aus zwei durch Spiegel (Sp_1 und Sp_2) und Prisma (P)

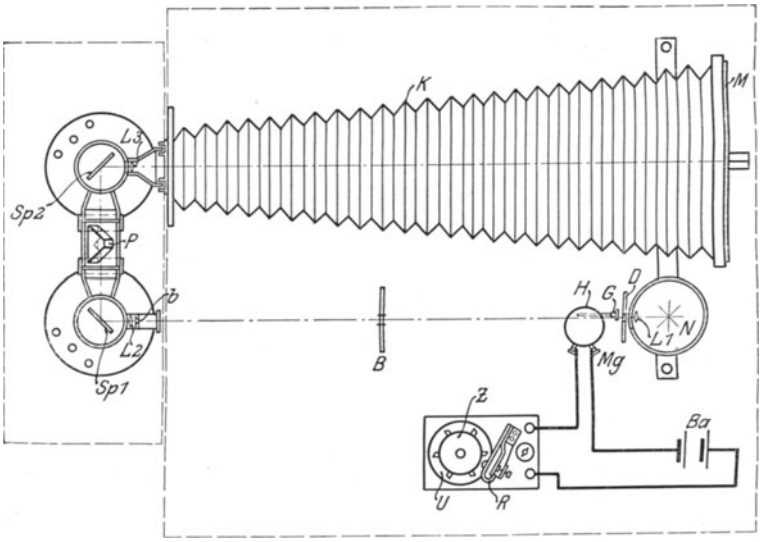


Abb. 221. Doppelspiegelgalvanometer nach Saladin.

N = Metallfadenlampe
L_1 = Linse von etwa 3 cm Brennweite
L_2 = Linse von etwa 75 cm Brennweite
L_3 = Linse von etwa 75 cm Brennweite
P = Umkehrprisma
Sp_1 = Galvanometerspiegel
Sp_2 = „
b = Blende (Öffnung 2 mm Durchmesser)
B = Blende (Öffnung 3 mm Durchmesser)
D = Diaphragma zur Erzeugung des Lichtpunktes
K = Kamera
M = Mattscheibe
G = Gelbscheibe
Mg = Elektromagnet
R = Kontaktrelais
Ba = Batterie
Z = Kontaktrad
U = Uhrwerk.

optisch gekuppelten Drehspul-Spiegelgalvanometern, von denen das eine die wagerechte, das andere die senkrechte Bewegung des Lichtstrahls hervorbringt. Durch einen Kameraanbau (K) kann schließlich der Lichtstrahl auf einer photographischen Platte (13×18 mm) festgehalten werden. Als Lichtquelle dient eine Metallfadenlampe (N), die in einer Laterne ruht. Letztere besitzt

einen Schieber, welcher mit zwei Diaphragmen (D) versehen ist. Das größere Diaphragma dient zur bequemeren Beobachtung des Lichtpunktes beim Einstellen des Gerätes, das kleinere wird für die photographische Fixierung benutzt. Zwischen Laterne und Galvanometer ist eine verstellbare Blende (B) angebracht, um bei längerer Belichtungsdauer störend auftretende Lichtscheine zu verhüten.

Die wagerechte Bewegung, die der von der Lampe kommende und durch die Linsen L_1 und L_2 gehende Lichtstrahl infolge der Ablenkung des zuerst von ihm getroffenen Spiegels (Sp_1) ausführt, wird durch das zwischen die beiden Galvanometer geschaltete schrägstehende totalreflektierende Prisma P (Umkehrprisma) in eine senkrechte verwandelt. Die Vereinigung dieses senkrechten Ausschlages mit der durch den Spiegel des zweiten Galvanometers hervorgebrachten wagerechten Ablenkung ergibt die photographisch festzulegende Kurve.

Die Registrierung der Zeit, die für Haltepunktsbestimmungen von Wichtigkeit sein kann, geschieht dadurch, daß in bestimmten Zeitabständen eine kleine Gelbscheibe (G), z. B. 1 Minute lang in den Weg des Lichtstrahls, d. h. zwischen Lampe und Galvanometer gebracht wird. Das Ein- und Ausrücken dieser an einem längeren Hebelarm sitzenden Gelbscheibe geschieht durch einen kleinen Elektromagneten (Mg), dessen Erregerwicklung mit einem mechanischen Kontaktrelais (R) und einer kleinen Akkumulatorenbatterie (Ba) von 4 Volt in Serie geschaltet ist. Das Öffnen und Schließen des Relais (R) wird mechanisch durch ein auswechselbares Kontaktrad (Z) bewirkt, das durch ein Uhrwerk (U) getrieben wird. Diejenigen Stücke der Kurve, die bei vorgeschalteter Gelbscheibe gewonnen wurden, erscheinen auf der photographischen Platte schwächer und entsprechen also einem Zeitabstand von 1 Minute, während diejenigen Kurvenstücke, die bei voller Lichtstärke erhalten wurden, je nach Wahl des am Uhrwerk befindlichen Kontaktrades einem Zeitabstand von 2 bzw. 3 bzw. 4 Minuten entsprechen.

Einer Übertragung von Erschütterungen auf das Galvanometer beim Einschieben der Kassette bzw. Betätigen des Kassettenschiebers oder durch andere Störungen ist dadurch vorgebeugt, daß jegliche starre Verbindung zwischen Kamera und Galvanometer vermieden wird, wodurch außerdem eine erschütterungsfreie Aufstellung der Galvanometer auf einem besonderen Wandgestell

oder einem Steinpfeiler ermöglicht wird. Die photographischen Aufnahmen können bei der Lichtdichtigkeit der ganzen Anordnung in unverdunkeltem Raum erfolgen. Bei längerer Belichtungsdauer empfiehlt es sich jedoch, die aufgezogene Kassette mit einem schwarzen Tuch zu überdecken, um an dem Kassettenschieber das Eindringen von Licht zu verhindern.

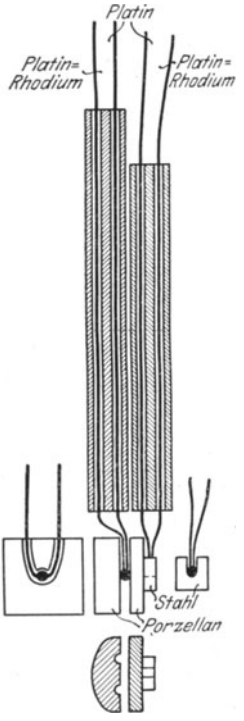


Abb. 222. Vorbereitete Stahlprobe.

Die erhaltenen Kurven zeigen infolge der eingeschalteten Blenden (*B* und *b*) eine große Schärfe und überall gleichmäßige Deutlichkeit (s. Abb. 20).

Bei der Aufzeichnung von Haltepunktskurven im Stahl geht man nun folgendermaßen zu Werke:

Das zu untersuchende Stahlstück von etwa 3—5 g Gewicht wird mit einer kleinen Höhlung zur Aufnahme der Heißlötstelle eines Thermoelements (Platin-Platinrhodium) versehen. Unmittelbar daneben legt man zwei Porzellanplättchen (Porzellankompensationsstücke), zwischen denen sich die Heißlötstelle eines zweiten Thermoelementes befindet (Abb. 222). Das Stahlstück nebst den beiden Porzellanplättchen kann noch mit Glimmer umlegt und das Ganze durch einen dünnen Draht miteinander verbunden werden. Die Thermoelemente werden gegeneinander noch durch doppelt durchbohrte Porzellanröhren vor Berührung geschützt. Alsdann bringt man das so verbreitete Stahlstückchen in die Mitte eines nicht zu engen, etwa 6 cm weiten und 20 cm hohen Porzellanrohres. Der freie Raum wird mit einer hitzebeständigen Masse, etwa Marquardtscher Masse, ausgefüllt. Das Porzellanrohr mit der Probe bringt man in einen geeigneten Ofen, am besten in einen elektrisch geheizten Röhrenofen mit Platinfoliebewicklung von Heraeus, Hanau, der so wirken soll, daß er eine gleichmäßig und langsam steigende Erwärmung bis etwa 1200° C annimmt. Abb. 223 zeigt einen Umriß dieses Ofens mit eingebautem Stahlstück. Der Raum zwischen dem Porzellan-

rohr und dem Innenrohr des Ofens kann noch mit Kieselgur ausgeschüttet werden. Eine sprunghafte Regelung der Temperatur ist zu vermeiden.

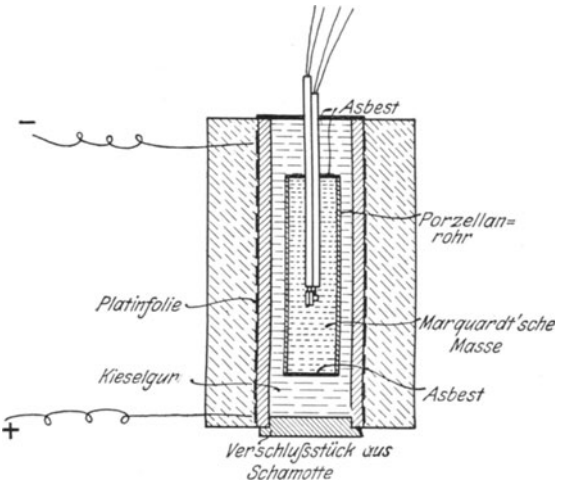


Abb. 223. Platinfolieofen mit eingebauter Stahlprobe.

Die Verbindung der Thermoelemente untereinander wird nach Abb. 224 vorgenommen. In dieser Schaltung bilden die beiden Thermoelemente zusammen das Differential-Thermoelement, dessen aus dem Ofen herausragende Enden mit Kupferdraht verbunden werden (Kaltlötstellen), die ihrerseits an die Klemmen des empfindlicheren der beiden Galvanometer (das vordere in Abb. 224) angeschlossen werden. Die Enden des im Porzellan befindlichen Thermoelementes sind an das unempfindlichere (hintere) Galvanometer angeschlossen. Die Temperatur an den Kaltlöt stellen wird durch ein Thermometer gemessen.

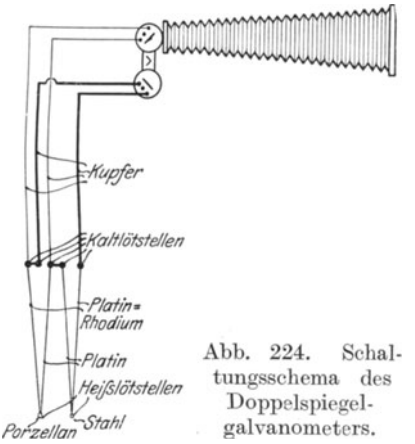


Abb. 224. Schaltungsschema des Doppelspiegelgalvanometers.

Nachdem Thermoelement und Galvanometer in dieser Weise miteinander verbunden sind, wird der Ofen durch Einschalten des elektrischen Stromes angeheizt. Auch die Lampe wird zum Leuchten gebracht. Den von der Lampe kommenden Lichtstrahl kann man so einstellen, daß auf der Mattscheibe (*M* in Abb. 222) ein scharf umgrenzter Lichtkreis sichtbar wird, dessen Größe durch Auswechseln der Blenden an der Laterne für die Beobachtung und photographische Aufnahme passend geändert werden kann. Der Lichtkreis soll aus parktischen Gründen in der Mitte des einen Endes der Mattscheibe sichtbar sein. In diese Lage kann der Lichtkreis durch vorsichtiges Drehen der Galvanometerköpfe gebracht werden.

Mittlerweile haben Ofen und damit auch Stahlprobe und Porzellanstückchen eine bestimmte Temperatur angenommen, und die Galvanometer werden einen gewissen auf der Mattscheibe sichtbaren Ausschlag zeigen, d. h. der Lichtkreis hat seine ursprünglich eingenommene Lage geändert, und zwar ist die Abweichung in der Wagerechten proportional der augenblicklichen Temperatur des Ofens, die Abweichung in der Senkrechten dagegen proportional dem Temperaturunterschiede zwischen Stahlprobe und Porzellan-Kompensationsstück. Ist der Einbau der Stahlprobe richtig geschehen, so wird zwar auch zunächst ein Temperaturunterschied vorhanden sein, der jedoch bald bis auf einen kleinen Betrag sinkt. Bei falschem Einbau des Probestückes kann dieser Temperaturunterschied zwischen Stahl und Porzellan so groß werden, daß infolge des großen Ausschlages des am Differentialthermoelement liegenden Galvanometers der Lichtkreis über die Mattscheibe hinausgeht, wodurch eine Aufnahme unmöglich wird.

Im Falle der ordnungsgemäßen Durchführung des Versuchs kann man jetzt die Mattscheibe mit einer photographischen Platte vertauschen. Meist jedoch schiebt man schon im Anfang des Versuchs die photographische Platte ein und heizt dann erst den Ofen an. Es wird so die Erhitzungskurve des Stahls aufgezeichnet. Zweckmäßig ist es, von Zeit zu Zeit zur Beobachtung des Verlaufs des Versuchs die photographische Platte auf kurze Zeit mit der Mattscheibe auszuwechseln.

Nachdem der Ofen eine genügend hohe Temperatur angenommen hat — über 1100° C sollte man nicht hinausgehen, da sonst elektrische Nebenströme auftreten, die einer genauen Durchführung des Versuchs Abbruch tun —, schaltet man den den Ofen

heizenden elektrischen Strom aus. Man erhält jetzt auf der photographischen Platte die Abkühlungskurve des Stahls. Würde man nach dem Erkalten des Ofens die photographische Platte entwickeln und fixieren, so würde die zum Vorschein gekommene Kurve ausgeprägte Knicke, die Haltepunkte des Stahls, aufweisen.

Aus der Kurve kann man nicht ohne weiteres die Temperatur ablesen, bei welcher die Haltepunkte auftreten, da nicht bekannt ist, welcher Temperatur ein bestimmter Ausschlag der Galvanometer und damit ein bestimmter Teil der Kurve entspricht. Bevor man daher die photographische Platte entwickelt, muß erst eine Eichung in Temperaturgraden erfolgen.

Die Thermoelemente sind im allgemeinen in Millivolt geeicht. Die folgende Zahlentafel gibt die für Platin-Platinrhodiumelemente erhaltenen Millivolt an, die für jedes Thermoelement auf einem Eichschein verzeichnet sind, z. B.:

Zahlentafel 1.

Temperatur der Heißlötstelle	Millivolt
300° C	2,31
400° „	3,24
500° „	4,21
600° „	5,21
700° „	6,24
800° „	7,31
900° „	8,41
1000° „	9,55
1100° „	10,72
1200° „	11,92
1300° „	13,16

Diese Zahlen sind nur dann zutreffend, wenn die Kaltlötstellen die Temperatur von 0° C besitzen. Da dies aber gewöhnlich nicht der Fall ist, sondern die Kaltlötstellen die in dem Versuchsraum befindliche Temperatur angenommen haben, so muß eine bestimmte Berichtigung angebracht werden, die jedoch bei hoher Temperatur wegen ihrer Kleinheit meist vernachlässigt werden kann. Aus der folgenden Zahlentafel läßt sich die notwendige Berichtigung

errechnen, wenn man die Temperatur der Kaltlötstelle mit dem aus der Zahlentafel ersichtlichen Faktor multipliziert. Das so erhaltene Produkt addiert man zu der noch zu ermittelnden Temperatur, bei welcher die Haltepunkte auftraten [1]).

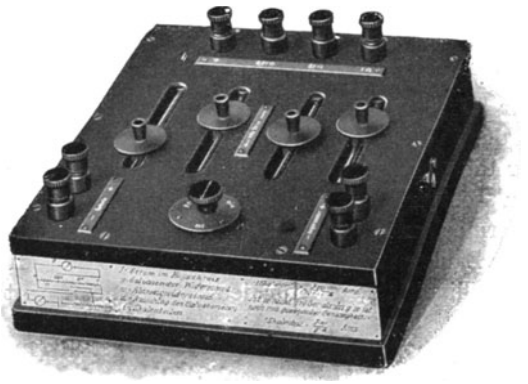


Abb. 225. Eichvorrichtung.

Zahlentafel 2.

Berichtigung für Platin-Platinrhodiumelemente.

Am Galvanometer abgelesene Temperatur	Faktor
0	1
100	0,89
200	0,76
300	0,65
400	0,59
500	0,56
600	0,54
700	0,52
800	0,50
900	0,50
1000	0,49

[1]) Will man dieser Berichtigung aus dem Wege gehen, so muß man die Kaltlötstellen in U-förmig gebogene Glasröhren bringen, die in ein mit fein zerkleinertem Eis und Wasser beschicktes Gefäß tauchen.

Es ist daher noch nötig, die Galvanometer in Millivolt zu eichen. Dies kann durch eine Eichvorrichtung geschehen, die in Abb. 225 abgebildet ist und die von Siemens & Halske gebaut wird.

Dieselbe besteht im wesentlichen aus einigen Widerständen von bekannter Größe (0,01, 0,1 und 1 Ohm), durch welche ein mit einem Milliamperemeter (*i*, siehe Schaltungsschema in Abb. 226) meßbarer elektrischer Strom, der in einer kleinen Batterie (*Ba*) erzeugt wird, fließt, dessen Größe nach Bedarf durch den Regulierwiderstand (*W*) eingestellt werden kann. Das Galvanometer legt man je nach seiner Empfindlichkeit an einen dieser bekannten Widerstände an, z. B. an 0,01 Ohm. Auf der photographischen Platte nimmt man zunächst die Stellung des Lichtpunktes bei dem Strom Null auf, dann regelt man durch Bewegen der Schieberwiderstände den Strom so, daß ein genügend großer Ausschlag, etwa 15 cm, auf der Mattscheibe sichtbar wird. Dieser Punkt wird ebenfalls auf der photographischen Platte festgehalten.

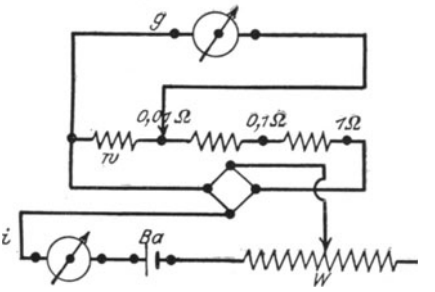


Abb. 226. Schaltungsschema der Eichvorrichtung.

Aus der am Milliamperemeter abgelesenen Stromstärke, dem Widerstande (0,01 Ohm) und dem Abstand der beiden Punkte auf der phototgraphischen Platte kann man jetzt die Konstante des Gerätes berechnen. Dieselbe ergibt sich für 1 Millimeter Ausschlag zu:

$$K = \frac{i \cdot w}{l}$$

wenn *i* der am Milliamperemeter abgelesene Strom, *w* der bekannte Widerstand (0,01 Ohm) und *l* die Größe des Ausschlages in Millimetern, hier 150 Millimeter, die Entfernung der beiden Fixpunkte auf der photographischen Platte, bedeuten.

Man kann nun mit Hilfe dieser Konstante für jeden Punkt der aufgenommenen Haltepunktskurve die zugehörigen Temperaturen bestimmen.

Um z. B. die Temperaturen der in Abb. 20 dargestellten Haltepunkte zu berechnen, in welcher also die Ordinate den Temperaturunterschieden zwischen dem Porzellanstück und der Stahlprobe, die Abszisse der Temperatur der Stahlprobe selbst entspricht, sei angenommen, daß sich bei der Eichung eine Konstante von

$$K = 0{,}0704 \text{ Millivolt pro Millimeter}$$

ergeben hätte.

Vom Nullpunkt (Ordinatenachse) bis zum Haltepunkt C wird an der aufgenommenen Kurve eine Entfernung von 90 Millimetern gemessen. Um diesen Ausschlag hervorzubringen, muß an den Klemmen des Galvanometers eine Spannung von

$$90 \times 0{,}0704 = 6{,}34 \text{ Millivolt}$$

vorhanden sein. Nach Zahlentafel 1 auf S. 307 entspricht dies nach entsprechender Interpolation einer Temperatur von

$$T = 712^0 \text{ C}.$$

Da die Temperatur der Kaltlötstelle 15° C betrug, so ist an den Wert von T noch eine Berichtigung anzubringen, die sich nach Zahlentafel 2 auf S. 308 wie folgt ergibt:

$$15 \times 0{,}52 = \infty\, 8.$$

Der Haltepunkt C liegt also bei:

$$T_C = 712^0 + 8^0 = 720^0 \text{ C}.$$

Für den Haltepunkt R ergibt sich ebenso gerechnet:

$$T_R = 680^0 \text{ C}.$$

Es empfiehlt sich, eine Anzahl so ausgerechneter Punkte in Abhängigkeit vom Ausschlage des Galvanometers in Millimetern (auf der photographischen Platte gemessen) in ein Koordinatensystem einzuzeichnen. Man kann dann für jeden beliebigen Abstand sofort ohne weitere Rechnung die zugehörigen Temperaturen ablesen.

Die Dauer einer Haltepunktsbestimmung nach dem besprochenen Verfahren beträgt im allgemeinen nur zwei Stunden.

Abhandlungen.

1. Klusmeyer, Werkzeugstahl. Werkstattstechnik 1910, S. 578 und 641.
2. Schäfer, Werkzeug- und Konstruktionsstähle. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1911, S. 1771.
3. Thallner, Verbesserter Martin- oder Tiegelstahl. Stahl und Eisen 1899, S. 868 und 914.
4. Pattermann, Über die Qualität des Werkzeugstahls. Praktische Winke für den Stahleinkauf. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1910, S. 1884.
5. Bermann, Die Funken als Erkennungszeichen der Stahlsorten. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1909, S. 171. — Vgl. über diese Arbeit die Kritik von Thallner, Stahl und Eisen 1909, S. 1112 und Mars, Die Spezialstähle, Stuttgart 1912, S. 280.
6. Fuchs, Über die Bestimmung der Stahlqualität mittels der Schmirgelscheibe. Werkstattstechnik 1910, S. 295.
7. Eckelt, Die Verwechslung der Stahlsorten in der Werkstatt. Werkstattstechnik 1910, S. 171.
8. Heyn, Einiges über das Kleingefüge des Eisens. Stahl und Eisen 1899, S. 709, 768 und 792.
9. Heyn, Die Verwendbarkeit der Metallmikroskopie für die Prüfung der Werkzeugstähle. Stahl und Eisen 1901, S. 977.
10. Heyn, Mikroskopische Untersuchungen von Eisenlegierungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 1904, S. 355.
11. Leman und Werner, Längenänderungen an gehärtetem Stahl. Werkstattstechnik 1911, S. 453.
12. Oknof, Über die Volumenveränderung des Stahls beim Abschrecken. Ferrum 1913/14, S. 1.
13. Driesen, Untersuchungen über die thermische Ausdehnung und die Lösungsgeschwindigkeit von Kohlenstoffstählen. Ferrum 1913/14, S. 129 und 161.
14. Hanemann und Schulz, Formänderungen, Spannungen und Gefügeausbildung beim Härten von Stahl. Stahl und Eisen 1914, S. 399 und 450.
15. Schulz, Über die Volumen- und Formänderungen des Stahls beim Härten. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1915, S. 66 und 112.
16. Mars, Die Bestimmung der Schlackeneinschlüsse im Stahl. Stahl und Eisen 1912, S. 1557.

17. Pacher, Über verschiedene Arten von Schlackeneinschlüssen im Stahl. Stahl und Eisen 1912, S. 1647.
18. Bauer, Bruchaussehen und Materialbeschaffenheit. Stahl und Eisen 1909, S. 1338.
19. Mac Cance, Schlackeneinschlüsse, ihre Zusammensetzung und ihr Vorkommen im Stahl. Stahl und Eisen 1920, S. 659.
20. Portevin, Die Entkohlung von Stählen in Salzbädern. Ferrum 1916/17, S. 109 und Stahl und Eisen 1915, S. 83.
21. Greenwood, Ein eigentümlicher Fall von Entkohlung beim Härten von Stahlstempeln. Ferrum 1914/15, S. 131.
22. Emmons, Die Oberflächenentkohlung von Werkzeugstahl. Ferrum 1915/16, S. 184.
23. Kühnel, Beitrag zur Entstehung des Holzfaser- und Schieferbruches. Stahl und Eisen 1918, S. 1173.
24. Schulz und Goebel, Über den Holzfaserbruch im Stahl. Stahl und Eisen 1920, S. 1479.
25. Pattermann, Über die Behandlung des Werkzeugstahls. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1910, S. 1926.
26. Denis, Der Einfluß der Wärmebehandlung auf die Eigenschaften der Werkzeugstähle. Stahl und Eisen 1915, S. 589.
27. Scholz, Härtepraxis. Werkstattstechnik 1920, S. 170.
28. Simon, Eigenschaften und Behandlung der Qualitätsstähle, inbesondere der Werkzeugstähle. Werkstattstechnik 1912, S. 570 und 598.
29. Hippler, Der Werkzeugstahl, seine Behandlung und Härtung. Die Werkzeugmaschine 1915, S. 89, 113 und 132.
30. Fuchs, Der Einfluß von Temperatur und mechanischer Arbeit beim Preßschmieden von Flußeisen und Stahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1915, S. 917 und 1916, S. 244.
31. Siebel, Das Schmieden des Stahls. Werkstattstechnik 1920, S. 492, 529 und 566.
32. Haedicke, Das Verderben des Stahls im Feuer. Stahl und Eisen 1905, S. 978.
33. Busch, Über das Härten. Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1906/07 (3), S. 353.
34. Longmuir, Gehärteter Stahl. Metallurgie 1907, S. 742 und Stahl und Eisen 1907, S. 1506.
35. Haedicke, Le Chateliers Härteversuche. Stahl und Eisen 1904, S. 1239, 1371 und 1905, S. 27.
36. Hanemann, Das Gefüge des gehärteten Stahls. Stahl und Eisen 1912, S. 1397 und 1490.
37. Hanemann, Über die Wärmebehandlung der Stähle. Stahl und Eisen 1911, S. 1365.
38. Heyn und Bauer, Über den inneren Aufbau gehärteten und angelassenen Werkzeugstahls. Stahl und Eisen 1906, S. 778. 915 und 991.
39. Maurer, Untersuchungen über das Härten und Anlassen von Eisen und Stahl. Metallurgie 1909, S. 33 und Stahl und Eisen 1908, S. 1859.
40. Hildebrandt, Kunstgerechtes Härten von Werkzeugen. Elektrotechnik und Maschinenbau 1913, Anhang S. 361.

41. Hanemann und Kühnel, Das Verhalten gehärteter und angelassener untereutektoider Stähle. Stahl und Eisen 1913, S. 1686.
42. Das Härten von Werkzeugstahl. Die Werkzeugmaschine 1915, S. 315.
43. Stribeck, Prüfverfahren für gehärteten Stahl unter Berücksichtigung der Kugelform. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1907, S. 1445, 1500 und 1542.
44. Thallner, Über die Spannungen im gänzlich gehärteten Stahl. Stahl und Eisen 1898, S. 935.
45. Thallner, Über Spannungen im gehärteten Stahl größeren Querschnitts. Stahl und Eisen 1899, S. 318.
46. Hildebrandt, Härtefehler und ihre Ursachen. Werkstattstechnik 1910, S. 636.
47. Erhitzen von Stahl durch Elektrizität. Werkstattstechnik 1915, S. 305.
48. Härtefehler, ihre Ursachen und Abstellung. Die Werkzeugmaschine 1917, S. 129.
49. Edwards, Das Härten und Anlassen von Stahl. Stahl und Eisen 1918, S. 828.
50. Das Anlassen von Werkzeugen. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 77.
51. Wärmebehandlung von Automobilgetrieberädern. Werkstattstechnik 1914, S. 177.
52. Eine neue Maschine zum Härten von Kegelrädern. Die Werkzeugmaschine 1914, S. 293.
53. Arbeitsweise bei der Herstellung von Automobilgetrieberädern. Werkstattstechnik 1914, S. 372.
54. Härten der Köpfe von Schmiedewerkzeugen. Werkstattstechnik 1914, S. 365.
55. Tafel, Das Entstehen der Spannungen bei der Wärmebehandlung. Stahl und Eisen 1921, S. 1231.
56. Honda, Matushita und Idei, Die Ursache der Härterisse. Stahl und Eisen 1921, S. 1867.
57. Taylor, Beachtenswerte Punkte für die Herstellung von Feilen. Stahl und Eisen 1920, S. 522.
58. Blume, Richten und Härten von Werkgzeustahl. Der Betrieb 1921, S. 514.
59. Gehärtete und vergütete Zahnräder für Werkzeugmaschinen. Werkstattstechnik 1917, S. 324.
60. Kupferüberzüge für teilweise Härtung von Oberflächen. Werkstattstechnik 1917, S. 334.
61. Härten und Anlassen von Werkzeugen für die Blechbearbeitung. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 165.
62. Material für Kaliber und Kaliberringe und dessen Warmbehandlung. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 357.
63. Härtung von Automobilzahnrädern. Werkstattstechnik 1913, S. 597.
64. Härtung von Hammergesenken. Werkstattstechnik 1913, S. 600.
65. Herbert, Der Einfluß der Wärme auf gehärtete Werkzeugstähle. Ferrum 1912/13, S. 280.
66. Guillet, Über einen neuen Chrom-Werkzeugstahl. Metallurgie 1908, S. 215 und Stahl und Eisen 1908, S. 917.

67. Goldberg, Neue Chromstahllegierungen. Werkstattstechnik 1909, S. 97.
68. Irmler, Wie fertigt man Chromstahlwalzen und wie verhütet man den Fabrikations- und Härteausschuß? Werkstattstechnik 1913, S. 491.
69. Treitschke und Tammann, Chromstähle. Zeitschrift für anorganische Chemie 1907.
70. Monnypenny, Gefügeaufbau einiger Chromstähle. Stahl und Eisen 1921, S. 270.
71. Edwards, Sutton und Jishi, Eigenschaften der Chromstähle. Stahl und Eisen 1921, S. 236.
72. Swinden, Kohlenstoff-Wolframstähle. Metallurgie 1907, S. 349 und 1909, S. 720. — Stahl und Eisen 1907, S. 790 und 1909, S. 1656.
73. Weiß, Über den Wolframstahl. Zeitschrift für anorganische Chemie 1910, S. 279 und 340.
74. Oberhoffer und Daeves, Beitrag zur Kenntnis der sog. doppelkarbidhaltigen Chrom- und Wolframstähle. Stahl und Eisen 1920, S. 1515.
75. Daeves, Neues Ätzmittel für Chrom- und Wolframstähle. Stahl und Eisen 1921, S. 1262.
76. Mac William und Barnes, Über einige physikalische Eigenschaften eines zweiprozentigen Chromstahls. Metallurgie 1910, S. 542.
77. Moore, Über den kritischen Punkt A_2 beim Chromstahl. Metallurgie 1910, S. 548.
78. Portevin, Beitrag zum Studium der ternären Spezialstähle (Chrom-Wolframstähle). Metallurgie 1910, S. 177.
79. Arnold und Read, Chemische und mechanische Beziehungen zwischen Eisen, Chrom und Kohlenstoff. Chemisches Zentralblatt 1912, S. 479.
80. Stahl für Schmiedegesenke. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 195.
81. Chrom als Selbsthärter im Stahl. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 549.
82. Brayshaw, Die Vermeidung von Härterissen bei einem Wolfram-Werkzeugstahl. Stahl und Eisen 1921, S. 1868.
83. Hultgren, Wolframstähle. Stahl und Eisen 1921, S. 1775 und 1824.
84. Thallner, Das Wesen des amerikanischen Schnelldrehstahls und das Taylor-White-Verfahren und über die Ergebnisse mit deutschem Schnelldrehstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1901, S. 1377 und 1609.
85. Schnelldrehstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1901, S. 1377.
86. Der neue Werkzeugstahl der Betlehem-Steel Co., Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1900, S. 1666 und 1901, S. 462.
87. Reuleaux, Über den Taylor-Whiteschen Schnelldrehstahl. Sitzungsbericht des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes vom 5. Nov. 1900, S. 179. — Stahl und Eisen 1901, S. 128.
88. Schmitz, Welche Erfahrungen sind mit dem auf der Pariser Weltausstellung 1900 vorgeführten neuen Werkzeugstahl der Betlehem-Steel Co. gemacht worden und wie ist dessen Zusammensetzung? Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1901, S. 1172.
89. Lasche, Schnelldrehstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1901, S. 1377.

90. Spüller, Zur Kenntnis der Theorie der sog. Rapid- und naturharten Stähle. Chemiker-Zeitung Jahrgang 27, Nr. 16 und 1903, S. 163.
91. Heißig, Versuche mit einem neuen Werkzeugstahl. Stahl und Eisen 1901, S. 26, 75, 169, 176 und 215.
92. Caspar, Verbesserter Werkzeugstahl. Stahl und Eisen 1901, S. 75.
93. Thallner, Der Stahl der Betlehem-Steel Co. und der Taylor-White-Prozeß. Stahl und Eisen 1901, S. 169 und 215.
94. Leistungsversuche mit Werkzeugstahl bei der Bergischen Stahlindustrie Remscheid. Stahl und Eisen 1901, S. 176.
95. Körting, Schnelldrehstähle. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1903, S. 287.
96. Mulazek, Schnelldrehstähle und deren Anwendung. Stahl und Eisen 1902, S. 454, 529, 579 und 615.
97. Reiser, Das Wesen der Schnelldrehstähle. Stahl und Eisen 1903, S. 130, 574, 742 und 938.
98. Nicholson, Versuche mit Schnelldrehstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1904, S. 34 und 569.
99. Roeßler, Über den Unterschied zwischen naturhartem und gewöhnlichem Werkzeugstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1904, S. 569.
100. Eckardt, Beitrag zur Kenntnis und Theorie des Schnelldrehstahls. Stahl und Eisen 1904, Nr. 10.
101. Böhler, Wolfram- und Rapidstahl. Wien 1904.
102. Möller, Schnelldrehstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1905, S. 337.
103. Thallner, Die Entwicklung des Schnellarbeitsstahls in Deutschland. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1906, S. 1690.
104. Fischer, Über die Verwendung von Schnell- oder Rapidwerkzeugen. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1906, S. 87.
105. Pütz, Über Vanadium im Stahl. Metallurgie 1906, S. 651.
106. Campbell, Metallurgie 1906, S. 741 und 1908, S. 215.
107. Carpenter, Anlaß- und Schneidversuche mit Schnelldrehstahl. Metallurgie 1906, S. 511.
108. Ruppert, Neueste Erfahrungen mit Schnelldrehstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1908, S. 1611.
109. Edwards, Die Wirkung von Chrom- und Wolfram in Schnelldrehstählen. Metallurgie 1908, S. 337 und Stahl und Eisen 1908, S. 740.
110. Auchy, Theorie der Schnelldrehstähle. Stahl und Eisen 1908, S. 454 und Metallurgie 1908, S. 269.
111. Heyn und Bauer, Beziehungen zwischen Löslichkeit und Vorbehandlung des Stahls (Schnelldrehstähle). Stahl und Eisen 1909, S. 733 und 870 und Metallurgie 1909, S. 475.
112. Fettweiß, Mikroskopische Untersuchungen einiger hochlegierter Sonderstähle. Stahl und Eisen 1912, S. 1816.
113. Eydam, Legierter und unlegierter Werkzeugstahl. Elektrochemische Zeitschrift 1912, S. 226, 254, 281 und 312.
114. Edwards, Zusammensetzung und Prüfung der Schnelldrehstähle. Stahl und Eisen 1912, S. 1467.

115. Cohn, Schnellbetriebsstähle und ihre Behandlung. Mitteilungen des Thüringer Bezirksvereins Deutscher Ingenieure 1913.
116. Sawin, Versuche mit Schnelldrehstahl. Dinglers polytechnisches Journal 1913, 11. Januar und 1. Februar.
117. Schlesinger, Die Fortschritte der deutschen Stahlwerke bei der Herstellung hochlegierter Schnellarbeitsstähle. Stahl und Eisen 1913, S. 929, 1196, 1201, 1204, 1316, 1324, 1363 und 1403.
118. Härten und Anlassen von Schnelldrehstahl. Stahl und Eisen 1913, S. 173.
119. Schäfer, Über Schnelldrehstähle. Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb 1913, S. 481 und 491.
120. Kobalt im Stahl. Die Werkzeugmaschine 1915, S. 330.
121. Wärmebehandlung bearbeitender Werkzeuge aus Schnelldrehstahl. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 263.
122. Schnelldrehstahl, seine Behandlung und sparsame Anwendung. Die Werkzeugmaschine 1917, S. 45.
123. Der Sheffielder-Wolframschnelldrehstahl. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 240.
124. Andrew und Green, Herstellung und Formgebung von Schnelldrehstahl. Stahl und Eisen 1920, S. 484.
125. Arnold und Ibbotson, Die Zusammensetzung der Schnelldrehstähle im Zusammenhang mit Feingefüge und Schnittleistung. Stahl und Eisen 1920, S. 486.
126. Arnold und Ibbotson, Die Molekularkonstitution der Schnelldrehstähle und ihre Beziehungen zu ihrer Schneidfähigkeit. Zeitschrift für Metallkunde 1920, S. 215.
127. Dejean, Die kritischen Punkte der selbsthärtenden Stähle. Physikalische Berichte 1920, S. 278 und Stahl und Eisen 1918, S. 39 und 1919, S. 63.
128. Yatsevitsch, Untersuchungen über Schnelldrehstähle. Stahl und Eisen 1919, S. 1107.
129. Ederheimer, Schnittdruck, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Lebensdauer bei Gewindefräsern aus Schnellstahl. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1920, S. 149.
130. Oertel, Beitrag zur Frage der Warmformgebung schwerer Blöcke aus Schnelldrehstahl. Stahl und Eisen 1921, S. 1413.
131. Schweißen von Schnellstahl nach Rosner. Werkstattstechnik 1914, S. 337.
132. Merkblätter über sparsame Verwendung von Schnelldrehstahl. Verein Deutscher Maschinenbauanstalten 1916.
133. Lutz, Das Aufschweißen von Schnellstahl. Werkstattstechnik 1916, S. 213.
134. Vorbach, Aufschweißen von Schnelldrehstahl auf Stahlhalter. Elektrotechnische Zeitschrift 1916, S. 289.
135. Czako, Schweißungen legierter Stähle. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1919, S. 166 und Stahl und Eisen 1919, S. 1360.
136. Spardrehstahl bei der Nationalen Automobilgesellschaft. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 240.

137. Das Aufschweißen von Schnellschnittstahl auf S. M.-Stahlhalter. Der praktische Maschinenkonstrukteur 1920, S. 33.
138. Schäfer, Verschweißen und Verlöten von Schnelldrehstahl mit Kohlenstoffstahl. Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb 1920, S. 241.
139. Blume, Einrichtung und Betrieb einer modernen Härterei. Werkstattstechnik 1908, S. 231.
140. Lake, Eine moderne Härteanlage. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1910, S. 1921.
141. Goldschmidt, Über Härteöfen. Stahl und Eisen 1907, S. 763.
142. Haedicke, Neues über Härteöfen. Stahl und Eisen 1909, S. 628 und 663.
143. Beckmann, Platten- oder Muffelofen? Werkstattstechnik 1911, S. 29.
144. Kaup, Die Härterei der Westinghouse-Gesellschaft. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1913, S. 1269.
145. Petroleum zum Heizen für Härte- und Glühöfen. Werkstattstechnik 1913, S. 693.
146. Die Ausrüstung bestehender Gashärte- und Glühöfen mit Ölfeuerung. Werkstattstechnik 1912, S. 233.
147. Heym, Wichtige Momente bei der Verwendung von Stahlhärteöfen. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1912, S. 147.
148. Woodworth, Ein neuartiges Härtebad. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 1905, S. 1218.
149. Boye, Über die Einrichtung von Ölfeuerungsanlagen. Stahl und Eisen 1912, S. 827.
150. Hausenfelder, Teerölverwertung für Heiz- und Kraftzwecke. Stahl und Eisen 1912, S. 772.
151. Bäder zum Härten (Abschrecken) und Anlassen von Stahl. Werkstattstechnik 1914, S. 339.
152. Hilse, Wechselweiser Betrieb zweier elektrisch geheizter Salzbadöfen von einem gemeinsamen Transformator aus. Die Werkzeugmaschine 1918, S. 279.
153. Die Gasfeuerung in der Industrie. Werkstattstechnik 1915, S. 483, 503 und 540.
154. Wenz, Moderne Härteeinrichtungen und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Die Werkzeugmaschine 1916, S. 331.
155. Witt, Härteeinrichtungen. Die Werkzeugmaschine 1917, S. 317 und 342.
156. Boye, Über die Ausbeute der Abgase bei Glüh- und Härteöfen. Der Betrieb 1920, S. 289.
157. Messerschmidt, Die neuzeitliche Härterei. Der Betrieb 1920, S. 292.
158. Lingemann, Zeitgemäße Kleinfeuerungsanlagen. Der Betrieb 1920, S. 305.
159. Klein, Der Wert der Halbgasfeuerung bei kleineren Muffelöfen. Der Betrieb 1921, S. 521.
160. Boye, Stromofen mit Chromnickelheizspulen. Der Betrieb 1921, S. 522.

161. Gärtner, Härteofen mit Ölfeuerung. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1914, S. 871.
162. Alt, Die Wirtschaftlichkeit von Glühöfen. Zeitschrift für praktischen Maschinenbau 1914, S. 1082.
163. Sproecke, Wärmetechnisches über Werkzeugstahlbehandlung. Werkstattstechnik 1911, S. 164.
164. Heym, Die Bestimmung und die Kontrolle der zulässigen Temperaturgrade für Schnellstähle. Werkstattstechnik 1910, S. 159.
165. Brearley und Moorwood, Sentinel-Pyrometer und ihre Anwendung auf Ausglühen, Härten und die allgemeine Wärmebehandlung der Werkzeugstähle. Metallurgie 1907, S. 379 und Stahl und Eisen 1906, S. 1466.
166. Rautenkranz, Wert der Temperaturmessungen bei der Bearbeitung des Stahls unter besonderer Berücksichtigung der Qualitätsstähle. Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1913, S. 198 und 231.
167. Fink, Neuer Pyrometerschutz. Werkstattstechnik 1915. S. 551.
168. Hauser, Thermoelektrische Pyrometer in Härte- und Glühanlagen. Werkstattstechnik 1917, S. 101 und 304.
169. Mahlke, Der gegenwärtige Stand der Pyrometrie. Stahl und Eisen 1918, S. 1033, 1057 und 1080.
170. Mayer, Härteverfahren mit automatischer Anzeigevorrichtung des Abschreckmomentes. Der Betrieb 1921, S. 63.
171. Schwartz, Thermoelektrische Pyrometer. Der Betrieb 1920, S. 304.
172. Quainck, Ein neues Meßgerät für hohe Temperaturen. Das Ardometer. Dinglers polytechnisches Journal 1921, S. 323.
173. Grenet, Über die Anwendung von Metallsalzen zur Bestimmung der Temperatur für die Behandlung der Stähle. Metallurgie 1910, S. 721.
174. Mars und Dujardin, Anleitung zur praktischen Bestimmung der kritischen Punkte (Umwandlungspunkte). Düsseldorf 1913.

Sachverzeichnis.

Abbrennen 76, 122.
Abgestandener Stahl 72, 93, 195.
Abgestufte Härtung 137.
Abkühlungskurve 28.
Abstechen des Stahls 223.
Abstechstähle 239.
Ahlen 18.
Alterung, künstliche 45.
Allings Härtungsprobe 99, 166.
Ambosse 143.
Analyse, chemische 3
— mikroskopische 2.
— thermische 23.
Anlassen 118.
Anlaßfarben 119.
Anlaßhärte 118.
Anlauffarben 119.
Anstählen 18.
Ardometer 293.
Ärztliche Messer 19.
Ätzfiguren 7.
Auflöten 240.
Aufschweißen 234.
Aufstreupulver 75.
Ausgangsheiztemperatur 189.
Ausglühen 85.
Ausrichten 125.
Austenit 28, 40.
Austenitische Grundmasse 40.
Automobilstähle 120.
Äxte 25, 123.

Bandagen 172.
Bandsägen 109.
Beile 79, 154.
Berggezähe 18.
Bessemerstahl 3.
Blasenräume 56.
Blaubrenner 126.
Blaubruch 79, 155.
Blauwärme 79.
Blei zum Anlassen 121.
Blei zum Härten 260.
Bohrer 17, 18, 46, 122, 163, 172, 239, 260.
Bohrgeräte 123.
Bohrerschäfte 121.
Brinellhärte 96, 123, 129, 229.
Bruchfläche, Aussehen der 66.
Bruchkorn 1.

Chirurgische Instrumente 18, 123.
Chromstahl 69, 101, 164, 169.

Differentialthermoelement 305.
Doppelglühraumöfen 238, 253.
Doppelkarbidstähle 197.
Doppelspiegelgalvanometer 28, 300.
Döpper 18, 134.
Dorne 18.
Drahtseile 162.
Drahtzieheisen 123.
Drehmeißel 18, 172, 241.
Drehmesser 18, 169, 192, 209.
Drehstähle 122, 123, 150, 239, 276.
Dreikantstähle 203.
Durchschläge 123, 168, 181.

Eichen der Galvanometer 309.
— — Thermoelemente 290.
Einbrennen 76.
Einsatzhärtung 76, 267.
Eisen, schmiedbares 3.
Elektrostahl 3.
Endmasse 45.
Entkohlung 70.

Erhitzungskurve 28.
Eutektikum 7, 22, 42.
Eutektisches Gemenge 7, 189.
— Gemisch 7, 22.
Eutektische Gerade 44.
— Legierung 7.
— Linie 44.
— Mischung 7.
Eutektischer Punkt 44.
Eutektische Stähle 11.

Falten 66.
Federhärte 109, 122.
Federmesser 123, 141.
Federn 17, 18, 107, 124.
Feilen 18, 72, 88, 101, 106, 126, 260, 261, 271.
Feilenangeln 121.
Feilenstahl 128.
Feilhauermeißel 19.
Feinmeßwerkzeuge 44, 46.
Ferrit 7.
Flußeisen 3.
Flußstahl 3.
Feste Lösung 23.
Flachbohrer 123.
Flammofen 134, 251.
Fräsdorne 136.
Fräser 18, 46, 73, 117, 123, 137, 162, 172, 181, 183, 192, 199, 208, 261, 275.
Fräsköpfe 203.
Funkenprobe 164.

Galvanometer 287.
Gasmuffelofen 236, 253.
Gefügelehre 3.
Generatorgas 251.
Gesenke 18, 123.
Geschosse 172.
Gesteinsbohrer 18.
Gewehrläufe 169.
Gewehrspiralbohrer 18.
Gewindebohrer 18, 44, 73, 122, 123, 136, 137, 172, 192, 248.
Gewindeschneidbacken 18.
Gewindeschneidwerkzeuge 181.
Gewindestrehler 123.
Glühspan 63, 92.
Glyzerin 106.
Graveurwerkzeuge 19.
Grobgefüge 1.
Großgefüge 1.
Grubenbohrer 18.
Grünes Feuer 68.
Gummimesser 18.
Gußnähte 63.
Gußstahl 3, 17, 106.

Haarrisse 209.
Halbrundbohrer 123.
Haltepunkte 27, 188.
— Bestimmung der 300.
Haltepunktskurve 28.
Hämmer 16, 18.
Hammerbahnen 123.
Hammerschlag 92.
Handhämmer 142.
Handhobeleisen 123.
Handmeißel 18, 133, 134, 172.
Handpyrometer 248.
Handsägen 124.
Handstempel 168.
Härte 17.
Härteadern 55.
Harte Adern 53.
— Schicht 53.
Härtebottich 274.
Härtegrad, natürlicher 18.
Härtegrenze 27.
Härten bei fallender Hitze 97.
Härterisse 40, 209.
Härtestreifungen 113.
Hartgußwalzen 168.
Härtezahl, Brinellsche 96, 123, 129, 229.
Härtung, abgestufte 136.
— überhitzte 37, 161.
— unterbrochene 136.
Härtungshärte 110.
Härtungstemperatur, niedrigste 36.
Heißlötstelle 289.
Hobeleisen 79, 154, 161.
Hobelmeißel 172.
Hobelmesser 19.
Hobelstähle 239, 241.
Hobelwerkzeuge 19, 123.
Hohleisen 123.

Hohlräume 57.
Holzbearbeitungswerkzeuge 18, 181.
Holzbohrer 123.
Holzkohle für Härteöfen 250.
Holzfaser 63.
Holzfaserbruch 63.
Holzmeißel 124.
Holzsägen 18, 124.
Holzschneiderwerkzeuge 123.
Hornschneiderwerkzeuge 123.
Hysteresis 26.

Initialtemperatur 189.

Kaleszenspunkt 26.
Kali, zum Härten 76, 213.
Kaliberbolzen 49, 147.
Kaltbearbeitung 172.
Kaltlötstelle 289.
Kaltmatrizen 18.
Kaltsägen 18.
Kaltwalzen 172.
Karborundum 260.
Kerbwerkzeuge 18.
Kleingefüge 2.
Klingen 157.
Kobaltstahl 186.
Kohäsion 5.
Koks für Härteöfen 248.
Kompaß beim Härten 298.
Kompensationsleitungen 283, 289.
Konstanten 279.
Korkmesser 18.
Korn des Stahls 1.
Körner 18.
Kreissägen 18.
Kritische Grenztemperatur 231.
— Temperatur 26.
Kritischer Punkt 26.
Kronhämmer 19.
Küferwerkzeuge 123.
Kugellager 141, 171, 172.
Kugeln 172.
Künstliche Alterung 45.

Laufringe 141.
Ledeburit 42, 168.
Ledermesser 18.
Lederschneidmesser 123.
Legierte Stähle 1, 3.
Lehren 44.
Leinöl als Härtemittel 107.
Leuchtgas 251.
Lochdorne 172.
Lochhämmer 123.
Luftgehärtete Stähle 173.
Lufthärtegerät 275.
Lunker 50.

Magnete 169.
Magnetstahl 101.
Mangansulfid 63.
Marquardtsche Masse 280, 304.
Martensit 29.
Martensitischer Zustand 29.
Maschinenteile 18.
Maßkörper 46.
Matrizen 18, 185.
Meißel 17, 25, 52, 79, 114, 154, 161, 172.
Messei 113.
Messer 17, 126, 161.
Messerklingen 141.
Messerpicken 18.
Metallkreissägen 18.
Metallsägen 126.
Metallographie 3.
Metcalfs Härtungsprobe 98.
Mineralöle als Härtemittel 107.
Mischkristalle 23, 203, 240.
Molybdänschnellstahl 177.
Molybdänstähle 185, 190.
Muffeln 251.
Muffelfeuer 256.
Muffelöfen 253.
Mühlpicken 18, 25, 133, 173.
Mushetstahl 173.

Nachlassen 118.
Nadeln 18, 124.
Nagelbohrer 124.
Naturhärte 18.
Natürliche Härte 18.
Naturharte Stähle 173.
Netzwerkgefüge 11.
Nietenzieher 18.
Niethämmer 68.
Nickelstahl 64, 150, 177.

Nuteisen 123, 124.
Nutenstahl 241.

Oberflächenfehler 63.
Öl, Anlassen in 121.
— Härten in 105.
Ölhärtung 106.
Ölöfen 254.
Optisches Pyrometer 277.
Osmondit 128, 157, 163.

Papiermesser 18, 123.
Perlit 7.
— körniger 131.
— lamellarer 7.
Perlitpunkt 11, 44.
Petroleum als Härtemittel 106.
Pflanzenöle als Härtemittel 107.
Plattenglühofen 258.
Platin-Platiniridium-Element 279.
Platin-Rhodium-Element 279.
Polierhämmer 18.
Polyederstruktur 38, 208.
Porzellankompensationsstück 304.
Prägeform 117.
Prägestempel 18, 143.
Prägewerkzeuge 18.
Presse zum Härten 108.
Preßluftmeißel 172.
Preßmatrizen 18, 169.
Profilhobelmesser 123.
Punkte, kritische 26.
Pyrometer von Holborn-Kurlbaum 277.

Qualität des Stahls 18.
Quaternärstähle 164, 187.
Quecksilber als Härtemittel 104.

Rachenlehren 45.
Rapidstähle 174.
Rasierklingen 109.
Rasiermesser 19, 141, 172.
Räumahlen 137.
Räumnadeln 137.
Regenerieren 92.
Registrierendes Pyrometer 287.
Reibahlen 18, 46, 49, 73, 85, 123, 126, 127, 136, 137, 179, 181, 183, 192, 199, 239.
Rekaleszenspunkt 26.
Ritzel 87.
Ritzhärte 229.
Rotglühhitze 78.
Rotgluthärte 182.
Rotwarmhärte 182.
Rundsägen 124.

Säbelklingen 125.
Sägeblätter 109, 126, 172.
Sägefeilen 18, 172.
Sägen 17, 124.
Sägezähne, eingesetzte 123.
Salzbadhärteöfen 258, 261.
Salzwasser als Härtemittel 104.
Säurelöslichkeit 132.
Schaber 18, 123.
Schärfmesser 123.
Scheibenfräser 162, 167.
Schellhämmer 134.
Schermesser 18.
Schieferbruch 63.
Schiffswellen 147.
Schirmstangen 109.
Schlackeneinschlüsse 61.
Schlagarbeit 68.
Schlägel 142.
Schleifrisse 158, 232.
Schlichtarbeiten 168.
Schlichtstähle 241.
Schliffe 2.
Schmeißen des Stahls 125.
Schmiedefeuer 247.
Schmiedehämmer 18.
Schmiedbares Eisen 3.
Schneidwerkzeuge für Elfenbein 123.
Schnellarbeitsstähle 174.
Schnellaufstähle 174.
Schnellbetriebsstähle 174.
Schnelldrehstähle 42, 53, 57, 61, 83, 174.
Schnellschneidstähle 174.
Schnellschnittstähle 174.
Schnellstähle 174.
Schnitte 18, 172, 181, 192, 201.
Schraubenköpfe, Härten der 76.

Schraubenschneidbacken 123.
Schraubenzieher 124.
Schrotmeißel 18, 133.
Schrupper 197.
Schruppstähle 181, 241.
Schwarzbruch 55.
Schwefelantimon 114.
Schwefelmangan 63.
Schweißeisen 3.
Schweißstahl 3.
Schwertklingen 126.
Schwinden 50.
Segerkegel 297.
Seigerungen 150.
Selbsthärtende Stähle 173.
Selbsthärter 93, 173.
Sensen 18.
Sentinelpaste 297.
Sentinelpyrometer 297.
Siemens-Martinstahl 3.
Silberstahl 58, 73.
Siliziumkarbid 260.
Sinter 63, 92.
Skalengasmesser 253.
Sonderstähle 1, 3.
Sorbit 128.
Spaltwerkzeuge 19.
Spannungsrisse 118.
Spezialstähle 1, 3.
Spezifisches Gewicht 44, 186.
Spezifische Wärme 103.
Spiralbohrer 18, 127, 136, 169, 172, 179, 183, 192, 248.
Spurpfannen 18.
Spurzapfen 18.
Stahlbandhärtung 109.
Stahlblätter 126.
Stahlbleche 126.
Stahldraht 141.
Stahlguß 2, 70.
Stahlkugeln 72.
Stahlstecherwerkzeuge 123.
Stahlstempel 74.
Stahlwalzen 49, 171.
Stanzen 18, 172, 181.
Stanzwerkzeuge 18.
Stechbeitel 18, 124, 260.
Stehbolzengewindebohrer 127.
Steinbohrer 18, 123.
Steinbearbeitungswerkzeuge 18.
Steinschneidewerkzeuge 123.
Stellit 187.
Stempel 18, 163, 172, 185, 192.
Stoßmeißel 18.
Stoßstähle 241.
Strahlungspyrometer 293.
Struktur 2.

Tabakmesser 18.
Temperaturen, kritische 26.
Temperaturschreiber 287.
Temperungsverfahren 46.
Ternärstähle 164, 187.
Thermische Kurve 28.
Thermoelektrische Pyrometer 279.
Thomasstahl 3.
Tiegelgußstahl 4, 106.
Tiegelstahl 4, 136.
Tischmesser 101, 141.
Topfglühöfen 258.
Troostit 128.
Tuchmesser 18.

Übereutektische Stähle 11.
Überhitzung 88.
Überhitzte Härtung 161.
Überzogener Draht 58.
Überzogener Stahl 58.
Umkristallisation 22.
Umwandlungspunkte 26, 188.
Umwandlungstemperatur 188.
Umwandlungswärme 23.
Unterbrochene Härtung 136.
Untereutektische Stähle 11.
Unterkühlung 26.

Vanadinstahl 137, 185.
Verbrennen des Stahls 92.
Verdampfungsfähigkeit 103.
Verdampfungswärme, latente 103.
Verfaulen des Härtewassers 105.
Verglühter Stahl 88.
Verlorener Kopf 50.
Verstählen 18.
Verwerfen 125.
Verziehen 125.

Walzen 138.
Walzenfräser 57, 61, 199, 209.
Wanner-Pyrometer 277.
Wärme, spezifische 103.
Wärmeinhalt 23.
Wärmekurve 28.
Wärmeleitungsvermögen 103.
Wärmetönung 23.
Warmmatrizen 18.
Warmziehmatrizen 169.
Weiche Haut 208.
Weiche Schicht 208.
Weichflecken 133, 250.
Weichstellen 250.
Wellenzapfen 116.
Widerstandspyrometer 278.
Wolframstähle 164, 166.
Würfel, Verhalten beim Härten 46.

Zähflüssigkeit 103.
Zahnräder 29, 137, 150.
Zahnradfräser 197.
Zahnärztliche Instrumente 123.
Zeigergalvanometer 287.
Zellengefüge 11.
Zementit 14.
Zementstahl 14.
Zieheisen 44, 172.
Zwiebelhärtung 105.
Zunder 63.
Zustandsdiagramm 44.

Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl. Hand- und Hilfsbuch für Eisenhütten-Laboratorien. Von Prof. Dipl.-Ing. **O. Bauer** und Prof. Dipl.-Ing. **E. Deiß.** Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 176 Abbildungen und 140 Tabellen im Text. 1922. Gebunden Preis M. 118.—.

Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes. Kurze Anleitung für Ingenieure, insbesondere Betriebsbeamte. Von Dr.-Ing. **E. Preuß** †. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. **G. Berndt,** Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Charlottenburg, und **A. Cochius,** Ingenieur, Leiter der Materialprüfungsabteilung der Fritz Werner A.-G., Berlin-Marienfelde. Mit 153 Figuren im Text und auf 1 Tafel. 1921. Preis M. 14.—; gebunden M. 18.40.

Die Schneidstähle, ihre Mechanik, Konstruktion und Herstellung. Von Dipl.-Ing. **Eugen Simon.** Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 545 Textfiguren. 1919. Preis M. 6.—.

Lagermetalle und ihre technologische Bewertung. Von Oberingenieur **I. Czochralski** und Dr.-Ing. **G. Welter.** Ein Hand- und Hilfsbuch für den Betriebs-, Konstruktions- und Materialprüfungsingenieur. Mit 130 Textabbildungen. 1920. Preis M. 9.—; gebunden M. 12.—.

Die Verfestigung der Metalle durch mechanische Beanspruchung. Die bestehenden Hypothesen und ihre Diskussion. Von Prof. Dr. **H. W. Fraenkel** (Frankfurt a. M.). Mit 9 Figuren im Text und 2 Tafeln. 1920. Preis M. 6.—.

Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau. Von Professor Dr.-Ing. **A. Martens,** Direktor des Materialprüfungsamts in Großlichterfelde. In 2 Bänden.

Erster Band: **Materialprüfungswesen, Probiermaschinen und Meßinstrumente.** Zweite Auflage. In Vorbereitung.

Zweiter Band: **Die technisch wichtigen Eigenschaften der Metalle und Legierungen.** Von Prof. **E. Heyn.** Hälfte A: **Die wissenschaftlichen Grundlagen für das Studium der Metalle und Legierungen. Metallographie.** Mit 489 Abbildungen im Text und 19 Tafeln. Unveränderter Neudruck. 1919. Gebunden Preis M. 66.—.

Metallurgische Berechnungen. Praktische Anwendung thermochemischer Rechenweise für Zwecke der Feuerungskunde, der Metallurgie des Eisens und anderer Metalle. Von **Joseph W. Richards,** Professor der Metallurgie an der Lehigh-Universität. Autorisierte Übersetzung nach der zweiten Auflage von Prof. Dr. **Bernhard Neumann,** Darmstadt und Dr.-Ing. **Peter Brodal,** Christiania. Unveränderter Neudruck. 1920. Gebunden Preis M. 64.—.

Lehrgang der Härtetechnik. Von Dipl.-Ing. **Johann Schiefer** und Fachlehrer **E. Grün.** Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 192 Textfiguren. 1921. Preis M. 38.—; gebunden M. 44.—.

Hierzu Teuerungszuschläge.

Härte-Praxis. Von **Carl Scholz.** 1920. Preis M. 4.—.

Härten und Vergüten. Von **Eugen Simon.** Erster Teil: **Stahl und sein Verhalten.** Mit 52 Figuren und 6 Zahlentafeln im Text. (Heft 7 der „Werkstattbücher".) 1921. Preis M. 7.—.

Härten und Vergüten. Von **Eugen Simon.** Zweiter Teil: **Die Praxis der Warmbehandlung.** Mit 92 Figuren und 10 Zahlentafeln im Text. (Heft 8 der „Werkstattbücher".) 1921. Preis M. 6.60.

Automaten. Die konstruktive Durchbildung, die Werkzeuge, die Arbeitsweise und der Betrieb der selbsttätigen Drehbänke. Ein Lehr- und Nachschlagebuch von **Ph. Kelle,** Oberingenieur in Berlin. Mit 767 Figuren im Text und auf Tafeln, sowie 34 Arbeitsplänen. 1921. Gebunden Preis M. 144.—.

Wechselräderberechnung für Drehbänke unter Berücksichtigung der schwierigen Steigungen. Von Betriebsdirektor **Georg Knappe.** Mit 13 Textfiguren und 6 Zahlentafeln. (Heft 4 der „Werkstattbücher".) 1921. Preis M. 7.—.

Die Dreherei und ihre Werkzeuge in der neuzeitlichen Betriebsführung. Von Betriebs-Oberingenieur **W. Hippler.** Zweite, erweiterte Auflage. Mit 319 Textfiguren. 1919. Gebunden Preis M. 16.—.

Der Dreher als Rechner. Wechselräder-, Touren-, Zeit- und Konusberechnung in einfachster und anschaulichster Darstellung, darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von **E. Busch.** Mit 28 Textfiguren. 1919. Gebunden Preis M. 8.40.

Der Fräser als Rechner. Berechnungen an den Universal-Fräsmaschinen und -Teilköpfen in einfachster und anschaulichster Darstellung, darum zum Selbstunterricht wirklich geeignet. Von **E. Busch.** Mit 69 Textabbildungen und 14 Tabellen. Erscheint im Mai 1922.

Handbuch der Fräserei. Kurzgefaßtes Lehr- und Nachschlagebuch für den allgemeinen Gebrauch. Gemeinverständlich bearbeitet von **Emil Jurthe** und **Otto Mietzschke,** Ingenieure. Fünfte, durchgesehene und vermehrte Auflage. Mit 395 Abbildungen, Tabellen und einem Anhang über Konstruktion der gebräuchlichsten Zahnformen bei Stirn- und Kegelrädern sowie Schnecken- und Schraubenrädern. 1919. Gebunden Preis M. 18.—.

Werkstattstechnik. Zeitschrift für Fabrikbetrieb und Herstellungsverfahren. Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. **G. Schlesinger** (Charlottenburg). Jährlich 24 Hefte. Vierteljährlich Preis M. 20.—.

Hierzu Teuerungszuschläge.