

WERKSTATTBÜCHER
HERAUSGEBER H.HAAKE

HEFT 8

P. KLOSTERMANN

**DIE PRAXIS DER
WARMBEHANDLUNG
DES STAHLÉS**

FÜNFTE AUFLAGE



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER

HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. H. HAAKE VDI

Jedes Heft 50—70 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen

Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)

Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50

Die Werkstattbücher behandeln das Gesamtgebiet der Werkstatttechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen. Die Werkstattbücher stehen wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe, sind dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich, so daß alle im Betrieb und auch im Büro Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können. Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten

	Heft
I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren	
Das Gußeisen. 2. Aufl. Von Chr. Gilles	19
Einwandfreier Formguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	30
Stahl- und Temperguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	24
Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Von K. Krekeler	75
Die Werkzeugstähle. Von H. Herbers	50
Nichteisenmetalle I (Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	45
Nichteisenmetalle II (Leichtmetalle). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	53
Härten und Vergüten des Stahles. 5. Aufl. Von H. Herbers. (Im Druck)	7
Die Praxis der Warmbehandlung des Stahles. 5. Aufl. Von P. Klostermann	8
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Brennhärten. 2. Aufl. Von H. W. Grönegreß. (Im Druck)	89
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. 2. Aufl. Von K. Krekeler	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 4. Aufl. Von F. Spitzer	9
Furniere — Sperrholz — Schichtholz I. Von J. Bittner	76
Furniere — Sperrholz — Schichtholz II. Von L. Klotz	77
II. Spangebende Formung	
Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe. 2. Aufl. Von K. Krekeler	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 3. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselräderberechnung für Drehbänke. 5. Aufl. Von E. Mayer	4
Bohren. 3. Aufl. Von J. Dinnebier	15
Senken und Reiben. 3. Aufl. Von J. Dinnebier	16
Innenräumen. 2. Aufl. Von L. Knoll	26
Außenräumen. Von A. Schatz	80
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 3. Aufl. Von E. Brödner	22
Das Fräsen. Von Dipl.-Ing. H. H. Klein	88
Das Einrichten von Automaten I (Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe). Von K. Sachse. (Vergriffen)	21
Das Einrichten von Automaten II (Die Automaten System Gridley [Einspindel] und Cleveland und die Offenbacher Automaten). Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil	23
Das Einrichten von Automaten III (Die Mehrspindel-Automaten, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe). Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil	27
Das Einrichten von Halbautomaten. Von J. v. Himbergen, A. Bleckmann, A. Wassmuth	36
Die wirtschaftliche Verwendung von Einspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	81
Die wirtschaftliche Verwendung von Mehrspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	71
Werkzeugeinrichtungen auf Einspindelautomaten. Von F. Petzoldt	83
Maschinen und Werkzeuge für die spangebende Holzbearbeitung. Von H. Wichmann	78
III. Spanlose Formung	
Freiformschmiede I (Grundlagen, Werkstoff der Schmiede, Technologie des Schmiedens). 3. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt. (Im Druck)	11
Freiformschmiede II (Schmiedebeispiele). 2. Aufl. Von B. Preuss und A. Stodt	12
Freiformschmiede III (Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede). 2. Aufl. Von A. Stodt	56

(Fortsetzung 3. Umschlagseite)

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE UND FACH-
ARBEITER. HERAUSGEBER DR.-ING. H. HAAKE VDI

HEFT 8

Die Praxis der Warmbehandlung des Stahles

Von

Paul Klostermann

Hagen i. W.

Fünfte Auflage

(31. bis 36. Tausend)

Mit 117 Abbildungen
und 7 Tabellen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1943

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort	3
I. Allgemeine Mittel und Einrichtungen zur Warmbehandlung	3
A. Öfen zum Erhitzen	3
1. Anforderungen S. 3. — 2. Die Heizmittel S. 4. — 3. Wirtschaftlichkeit S. 6. — 4. Wärmeübertragung und flammenlose Verbrennung S. 7. — 5. Einteilung der Öfen S. 8. — 6. Typische Ofenkonstruktionen S. 8. — 7. Öfen mit Schmelzbädern S. 15. — 8. Verbundene Öfen S. 17. — 9. Dunstabsaugung S. 18.	
B. Einrichtungen zum Abkühlen	18
10. Flüssigkeitsbäder S. 19. — 11. Abkühlung in Luft S. 22.	
C. Öfen zum Anlassen	23
12. Anlaßöfen S. 23. — 13. Anlaßflüssigkeiten S. 24.	
D. Mittel zur Temperaturmessung	24
14. Glühfarben S. 24. — 15. Meßgeräte S. 25. — 16. Selbsttätige Temperaturregler und Haltepunktanzeiger S. 26. — 17. Behelfsmäßige Mittel S. 27.	
II. Das Erhitzen	27
A. Übersicht	27
18. Ausglühen, Härten und Vergüten S. 27. — 19. Gründe für die Warmbehandlung S. 27.	
B. Betrieb der Öfen	28
20. Auswahl des Ofens S. 28. — 21. Temperatur der Erhitzung S. 28. — 22. Besondere Rücksicht auf Werkzeugstahl S. 30. — 23. Maßnahmen zur Verhütung von Glühspan und Eisenhaut S. 31. — 24. Glühdauer S. 34.	
C. Mittel zum Halten und Befördern	34
25. Mittel für Einzelbehandlung S. 34. — 26. Mittel für Reihenbehandlung S. 36.	
D. Öfen für fließende Fertigung	38
27. Bedeutung der fließenden Fertigung S. 38. — 28. Konstruktion und Betriebsbedingungen der Fließöfen S. 38. — 29. Ausgeführte Konstruktionen S. 38.	
III. Das Abkühlen	40
A. Langsames Abkühlen zum Ausglühen	40
30. Art des Abkühlens S. 40.	
B. Das Abkühlen zum Härten	40
31. Übersicht S. 40. — 32. Wahl des Abschreckmittels S. 41. — 33. Menge und Einwirkungsdauer des Kühlmittels S. 42. — 34. Bewegung zwischen Werkstück und Flüssigkeit im allgemeinen S. 43. — 35. Bewegen des Werkstücks S. 43. — 36. Bewegung der Badflüssigkeit S. 45. — 37. Besondere Mittel für Schnellstahl S. 47. — 38. Teilweise Härtung S. 47. — 39. Verziehen und Mittel, es zu mildern S. 50.	
IV. Das Anlassen	52
40. Übersicht S. 52. — 41. Verschiedene Anlaßverfahren S. 53. — 42. Anlaßtemperatur S. 54.	
V. Das Einsatzhärten	55
A. Einsetzen	56
43. Einsatzmittel S. 56. — 44. Anforderungen und Auswahl S. 56. — 45. Das Einpacken in feste Mittel S. 57. — 46. Örtliche Kohlen S. 58. — 47. Das Glühen in festen Mitteln S. 59. — 48. Einsetzen in Zementbädern S. 59. — 49. Zementieren mit Leuchtgas S. 59. — 50. Nitrierverfahren (Stickstoffhärtung) S. 60. — 51. Brennhärten S. 61.	
B. Zwischenbehandlung und Härten	61
52. Warmbehandlung nach dem Einsetzen S. 61. — 53. Mechanische Behandlung S. 62.	
C. Besondere Arten des Einsatzhärtens	62
54. Abbrennen S. 62. — 55. Bunthärten S. 62. — 56. Einsetzen von Werkzeug- und Vergütungsstahl S. 63.	
VI. Reinigen und Richten	63
57. Reinigen S. 63. — 58. Richten S. 63.	
VII. Ursache und Vermeidung der Fehler. Kontrolle	64
59. Spannungen und Sprödigkeit S. 64. — 60. Ursache der Risse S. 65. — 61. Kontrolle der Risse S. 65. — 62. Ursache ungenügender Härte S. 65. — 63. Beseitigen und Vermeiden ungenügender Härte S. 66. — 64. Kontrolle der Härte S. 66. — 65. Bedeutung der Härteprüfung S. 66. — 66. Häufige Fehler beim Härten und Anlassen von Werkzeugstählen und Schnellstählen (Tabelle) S. 67.	

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

ISBN 978-3-662-41675-4

ISBN 978-3-662-41812-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-41812-3

Vorwort.

Im ersten Teil dieser Arbeit¹ sind die für die Warmbehandlung wichtigen Eigenschaften und das Verhalten des Stahles eingehend beschrieben und nach dem Stand der Wissenschaft erklärt worden.

In vorliegendem Heft² werden die Mittel und Verfahren beschrieben, die sich im Laufe der Zeit in segensreicher Verbindung von Wissenschaft und Praxis ausgebildet haben.

Gelegentliche Wiederholungen aus dem ersten Teil waren hierbei nicht ganz zu vermeiden, doch wurden sie meist in erweiterter Form gegeben.

Die Teilung des Stoffes konnte nicht streng durchgeführt werden; daher wird man manches im ersten Teil finden, das man im zweiten Teil sucht und umgekehrt.

I. Allgemeine Mittel und Einrichtungen zur Warmbehandlung.

Eine erfolgreiche und wirtschaftliche Warmbehandlung ist nur möglich, wenn für das zur Warmbehandlung vorliegende Werkstück die erforderliche Einrichtung vorhanden ist. Ein einfach gebautes Werkstück läßt sich ohne Gefahr mit einfachen Hilfsmitteln härten und vergüten. Verwickelte und örtlich zu härtende Werkstücke erfordern meist eine Sondereinrichtung. Voraussetzung ist aber in jedem Falle, daß der betreffende „Mann am Feuer“ mit Sachkenntnis und Verantwortungsbewußtsein arbeitet.

Erfreulicherweise ist man in den letzten Jahren dazu übergegangen, der Härtereie einen geräumigen und ihr gebührenden Platz im Betriebe einzuräumen. Helle, große und luftige Räume sind an Stelle dunkler für sonst nichts zu verwendender Ecken und Winkel getreten. Der Fortschritt der Technik hat einwandfreie Öfen für jeden Verwendungszweck entwickelt.

Zum Abschrecken müssen ausreichende Öl- und Wasserbehälter zur Verfügung stehen, ferner für Sonderstähle Warmbäder und Preßluft. Besondere Aufmerksamkeit ist dem Vorhandensein geeigneter Zangen zu schenken.

Zum Anlassen müssen Öl- und Salzbadier bzw. elektrisch geheizte und geregelte Luftumwälzöfen vorhanden sein, ferner noch als besondere Hilfsmittel: Werkzeuge zum Richten und Reinigen, Geräte zur Temperaturmessung und Härteprüfung.

Es ist im Rahmen dieses Heftes nicht möglich, alle diese Einrichtungen oder gar die für die verschiedenen Arten von Betrieben zweckmäßigen Anlagen von Härtereien und Vergütereien ausführlich zu behandeln, weil dies der Verschiedenartigkeit wegen ins Unermeßliche gehen würde. Dagegen sollen die wichtigsten Öfen, Bäder, Hilfsmittel und Härteverfahren näher beschrieben werden.

A. Öfen zum Erhitzen.

Die Öfen, in denen zum Ausglühen, Härten, Zementieren oder Anlassen erhitzt wird, sind nach Größe und Aufbau sehr verschieden.

1. Die Anforderungen, die sich ganz nach dem Verwendungszweck richten, sind kurz folgende:

¹ Werkstattbuch Heft 7 „Härten und Vergüten des Stahles“.

² Bis zur dritten Auflage (1931) hieß der Titel „Härten und Vergüten, Zweiter Teil“. Die vierte Auflage mit dem neuen Titel erschien 1940.

- a) Der Ofen muß betriebssicher und zuverlässig sein, er muß leicht und schnell instand zu setzen und zu halten sein.
- b) Er muß wirtschaftlich arbeiten.
- c) Die gewünschte Temperatur muß schnell und zuverlässig auf die gewünschte Höhe zu bringen und regelbar sein.
- d) Die Temperatur muß unbedingt im gesamten Glühraum gleichmäßig sein.
- e) Die Oberfläche des Glüh- bzw. Härtegutes darf von der Ofenatmosphäre nicht angegriffen werden.
- f) Der Betrieb soll bequem, sauber und ruhig sein.

2. Die Heizmittel (Brennstoffe). Als Heizmittel werden feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe¹ und der elektrische Strom verwendet.

Feste Brennstoffe (Kohle, Koks, Brikett) ergeben die niedrigsten Heizmittelkosten. In letzter Zeit werden diese Öfen selbsttätig auf $\pm 5^{\circ}\text{C}$ regelbar und auch bis $\sim 500^{\circ}\text{C}$ selbsttätig abkühlbar gebaut. Die hierfür notwendige Apparatur, wie Regelanlage und selbsttätige Beschickung, lohnt sich aber nur bei mittleren bis größten Öfen für Dauerleistung.

Flüssige Brennstoffe. Die Heizkosten sind durch den Ölpreis bedingt. Diese Öfen sind gut regelbar bis zu den höchsten Temperaturen. Dabei wird das Öl in besonderen Brennern durch Preßluft sehr fein zerstäubt und so verbrannt. Wenn auch die Temperatur der Öfen bei Ölheizung vielleicht nicht ganz so gleichmäßig zu halten und so leicht regelbar ist wie bei Gas, so ist der Ölbetrieb dafür unabhängig von einer Zentrale, und die Ölflamme ist heißer als die Gasflamme, so daß der Ölofen schnell hochkommt. Der Ölbetrieb dürfte meist billiger sein als der mit Leuchtgas, teurer als der mit Generatorgas. Schwierigkeiten im Ölbetrieb, wie Verschmutzen (Verkoken) der Brenner, starkes Schwelen (Rußabscheidung) usw. haben ihre Ursache meist in ungenügend gleichmäßigem und gutem Öl und unzuverlässiger Konstruktion oder Anordnung der Brenner; bei bestem Öl, wie z. B. Gasöl, und richtig angeordneten Niederdruckbrennern treten sie nicht auf.

Da aber im Inlande alle Arten Öle nicht in so reichlichem Maße zur Verfügung stehen wie Gas und Strom, ist es angebracht, letzteren Feuerungsarten den Vorzug zu geben.

Generatorgas arbeitet nur bei großen Gasmengen wirtschaftlich. Es kommt auch für kleine Härtereien in Betracht, wenn etwa zugleich große Schmiedeöfen zu beheizen sind. Große einzelne Öfen verbindet man wohl unmittelbar mit einer Art Generator: „Halbgasöfen“, die etwa in der Mitte stehen zwischen kohle- und gasgefeuerten Öfen.

Ferngas (Leuchtgas) ist heute der wichtigste Brennstoff für alle Ofenarten wegen Bequemlichkeit und Sauberkeit, die nur durch elektrische Heizung übertroffen wird. Gas und Elektrizität sind daher heute die wichtigsten Heizstoffe für Glüh-, Härte-, Zementier- und Anlaßöfen. Unter Berücksichtigung tragbarer Gas- und Strompreise dürfte diese Erhitzungsart auch die wirtschaftlichste sein, zumal im Hinblick auf folgende Vorteile:

1. Saubere, einfache Anschlußmöglichkeiten und Arbeitsweise,
2. jederzeitige schnelle Bereitschaft bei Dauer- und unterbrochenem Betrieb,
3. nicht unwesentliche Herabdrückung des Härteausfalles infolge der Möglichkeit einwandfreier Temperaturführung und -haltung.

Während die Öfen für feste Brennstoffe meist mit „natürlichem Zug“ durch den Schornstein arbeiten, ist das für Gasöfen, überhaupt die eigentlichen Härteöfen, unzulässig: einmal ist der Schornsteinzug ungeeignet, weil er Luft nicht nur

¹ Näheres s. Werkstattbuch Heft 32 „Die Brennstoffe“.

durch die Brenner ansaugt, sondern auch durch Ritzen, Spalten und besonders offene Türen, so daß örtliche Abkühlungen und ungleiche Temperaturen im Glühraum entstehen, sodann aber genügt er bei weitem nicht und wäre für Brenner- und Mischerkonstruktion unzureichend. Er darf nur zur Beförderung der Abgase benutzt werden.

Gasöfen arbeiten stets mit Überdruck; es werden drei verschiedene Arten der Luftzufuhr und Mischung verwandt:

1. Pressen der Luft: die Verbrennungsluft wird durch Kapselgebläse oder Ventilator angesaugt und unter Druck (250···1500 mm WS.) mit dem Gas gemischt. Gas und Luft sind getrennt regelbar.

2. Pressen des Gases: das Gas, das durch ein Kapselgebläse auf 3000···8000 mm WS. gepreßt wird, saugt sich beim Ausströmen aus der Düse die nötige Verbrennungsluft selbst an. Besonders wichtig ist dies Verfahren für Ferngas, da es bereits mit hohem Druck geliefert wird. In diesem Falle führt nur ein einziger Rohrstrang zum Ofen.

3. Gas und ein Teil der Luft werden in einer Maschine gemischt und gepreßt; beim Ausströmen aus der Düse saugt das Gemisch die noch fehlende Luft an (Selas-Verfahren).

Wärmewirtschaftlich ist die Heizung mit Gas der mit festen Brennstoffen außerordentlich überlegen, weil Gas nicht nur vollständig, sondern auch mit nur wenig mehr als der rechnerisch nötigen Luftmenge verbrannt werden kann. Es brauchen also nicht, wie bei den festen Brennstoffen, große Mengen überschüssiger Luft mit erwärmt zu werden, so daß sehr hohe Verbrennungstemperaturen erzielt werden können. Neuerdings verwendet man viel Einrichtungen, die das einmal eingestellte Gas-Luft-Gemisch selbsttätig, das ist ohne Zutun des Arbeiters, unverändert erhalten, trotz wechselnden Verbrauchs und schwankenden Drucks. Dabei läßt sich das Gas-Luft-Verhältnis nach Wunsch einstellen: für völlige Verbrennung (4···5 Teile Luft auf 1 Teil Gas), so daß im Ofen eine „neutrale“ Atmosphäre herrscht, für Luftüberschuß, so daß die Gase „oxydierend“ wirken (Sauerstoff abgeben), für Gasüberschuß, so daß die Verbrennungsgase „reduzierend“ wirken (Sauerstoff an sich reißen).

Elektrischer Strom zur Ofenheizung hat alle Vorzüge des Gases (gleichmäßige Ofentemperatur, gute Regelbarkeit und Anpassungsfähigkeit, sauberer, einfacher, bequemer Betrieb) in erhöhtem Maß. Dazu kommt, daß die stofflose Elektrizität weder natürlichen noch künstlichen Zuges bedarf, ebensowenig wie sie Rauch oder Ruß verursacht. Ein gewisser Nachteil ist es, daß im elektrischen Glühofen kein Überdruck herrscht und daher Luftsauerstoff zum Glühgut Zutritt hat. Elektrische Salzbadöfen werden sehr viel gebraucht und in langsam steigendem Maß auch elektrische Glühöfen, sogar in ganz großen Abmessungen, zum Vergüten und Einsatzhärten.

Der elektrische Strom kann auf verschiedene Art als Heizmittel verwandt werden:

1. Man leitet ihn durch Widerstandsheizkörper (Heizdrähte usw.), die in den Wandungen des Glühraumes untergebracht sind und ihre Wärme durch Strahlung oder durch die umgewälzte Heißluft auf das Glühgut übertragen. Diese Anordnung ist die gebräuchlichste.

2. Das Werkstück selbst wird als Heizleiter verwandt; man leitet den elektrischen Strom unmittelbar hindurch, so daß es sich infolge des ihm innewohnenden Ohmschen Widerstandes erhitzt (z. B. Erwärmung von Nieten).

3. Man erzeugt durch Induktion, mittels Strom von hoher Wechselzahl, der durch eine dem Werkstück benachbarte Spule geleitet wird, in dem zu erhitzenden

Werkstoff Wirbelströme, die eine Erwärmung des Stückes hervorrufen (Hochfrequenzheizung). Dieses Verfahren ist für Härteöfen noch in der Entwicklung begriffen, für Schmelzöfen jedoch schon vielfach in Anwendung¹.

3. Wirtschaftlichkeit. Unter den gemeinschaftlichen Forderungen wird in Abschnitt 1 auch die nach „wirtschaftlichem“ Betrieb gestellt. Es ist wohl selbstverständlich, daß dafür nicht etwa der wärmetechnische Wirkungsgrad der Feuerung allein ausschlaggebend ist; auch die Kosten für die Heizung und selbst die gesamten Betriebskosten, einschließlich Abschreibung, Verzinsung und Instand-

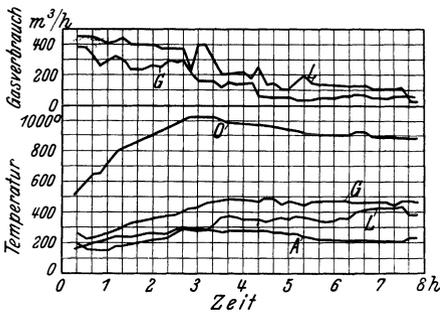


Abb. 1. Ofenlinien. (Nach BÖHM.)

haltung des Ofens, sind nicht ohne weiteres ein brauchbarer Maßstab für die Wirtschaftlichkeit. Denn Leistungsfähigkeit des Ofens, Güte der Arbeit und Einfachheit und Sauberkeit des Betriebs, die für die Härterei von größter Bedeutung sind, müssen ebenso, wie die unmittelbaren Kosten, für die Beurteilung herangezogen werden.

Eine gute Vergleichsmöglichkeit der Kosten für Brennstoff, Preßluft usw. und der zum Hochfeuern und Umstellen der Temperatur nötigen Zeit geben die Ofenschaubilder nach BÖHM² (Abb. 1). Ähnlich

geben die Schaubilder nach Abb. 2, die mit den Öfen mitgeliefert werden, den für bestimmte Leistungen nötigen Gasverbrauch an.

In Abb. 1 sind für einen mit Generatorgas geheizten Härteofen im unteren Teil des Schaubilds die Temperaturen des Ofens (Linie O), die Temperaturen des Heizgases (Linie G), der Luft (Linie L) und des Abgases (Linie A) angegeben, und zwar in Abhängigkeit von der Zeit, die auf der Waagerechten in Stunden (h) aufgetragen ist. Im oberen Teil des Bildes ist der Verbrauch an Heizgas (Linie G) und Preßluft (Linie L) in Kubikmetern für die

Stunde (m³/h) angegeben, der in jedem Augenblick nötig ist, um die Temperaturen des Ofens (Linie O) zu erreichen.

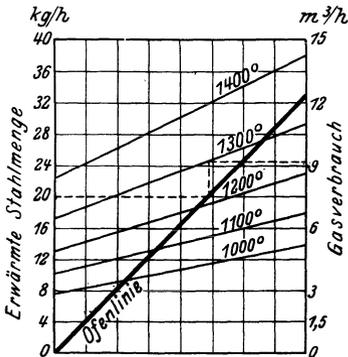


Abb. 2. Ofenlinien.
(Benno Schilde, Hersfeld.)

Aus Abb. 2 ist der Verbrauch an Preßgas für eine bestimmte Leistung folgendermaßen zu ermitteln: auf der Senkrechten links sind die zu erwärmenden Stahlmengen in kg/h aufgetragen, auf der Senkrechten rechts der Gasverbrauch in m³/h. Die dicke Linie ist die „Ofenlinie“, die dünnen geben die Temperaturen für die Glühung. Sollen nun im Ofen z. B. in der Stunde 20 kg Stahl auf 1300° erwärmt werden, so findet man die dazu nötige Menge Gas, indem man von „20“ links (siehe den gestrichelten Linienzug) waagrecht hinübergeht bis zur „Ofenlinie“, dann senkrecht nach oben (oder nach unten)

bis zur Temperaturlinie und dann wieder waagrecht bis zur Senkrechten rechts, auf der der Gasverbrauch abzulesen ist, in diesem Fall etwas über 9 (m³/h).

Unersetzlich für Betriebseignung und Wirtschaftlichkeit der Öfen ist gute Regelbarkeit der Wärmezufuhr. Denn sie hat sich nicht nur mit der Glüh-

¹ Vgl. Werkstattbuch Heft 69 „Elektrowärme“.

² Wärmetechnik im Schmiede-, Glüh- und Härtebetrieb (Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft bei der Deutschen Reichsbahn).

peratur zu ändern, sondern muß auch abnehmen, wenn nach dem Einbringen der Werkstücke in den Ofen sich deren Temperatur allmählich der des Ofens nähert, und muß schließlich, wenn beide die vorgeschriebene Höhe haben, nur noch die Verluste des Ofens decken.

Nicht minder wichtig sind richtige Baustoffe für die Öfen: innen müssen die Öfen mit besten Schamotteformsteinen ausgemauert sein und um diese muß eine Schicht guter Isoliersteine — oder bei kleineren Öfen Asbestplatten — liegen, damit die Wärmestrahlung nach außen, die Verlust bedeutet, auf sehr geringem Maß gehalten wird. Dazu wird bei gemauerten Öfen der Raum über der gewölbten Decke noch mit Asche oder einer Stroh-Lehm-Schicht ausgefüllt. Das Ganze muß dann durch eiserne Platten, Anker u. dgl. oder durch einen vollständigen gußeisernen oder Blechmantel zusammengehalten werden.

4. Wärmeübertragung und flammenlose Verbrennung. Der größte Teil der zum Erhitzen nötigen Wärme wird durch Strahlung der Flamme und der glühenden Ofenwände auf das Werkstück übertragen. Je größer der Temperaturunterschied zwischen den wärmeausstrahlenden Flächen und dem aufnehmenden Werkstück ist, das heißt: je heißer der Ofen ist, um so schneller wird das Werkstück erhitzt, und zwar nimmt die zum Erhitzen nötige Zeit sehr viel schneller ab, als der Temperaturunterschied wächst. Soll daher die Erhitzungszeit recht kurz werden, so muß der Ofen erheblich heißer sein (100° und mehr) als die verlangte Endtemperatur des Glühguts. Abb. 3 (nach BÖHM) stellt diese Zusammenhänge in einem Schaubild dar: O_1 und O_2 sind die Temperaturlinien des Ofens (einmal bei 980° beginnend, einmal bei 820°) und G_1 , G_2 die des im Ofen erhitzten Glühguts, in Abhängigkeit von der Zeit, die auf der Waagerechten aufgetragen ist. Man sieht aus den G -Linien, daß anfänglich die Temperatur des Glühguts rasch steigt, bis sie ungefähr noch 200° von der Ofentemperatur entfernt ist; dann steigt sie zunehmend langsamer. Soll das Glühgut z. B. auf 780° erwärmt werden, so sind dazu bei dem anfänglich 820° warmen Ofen über 2 Stunden nötig, bei dem 980° warmen dagegen nur 45 Minuten.

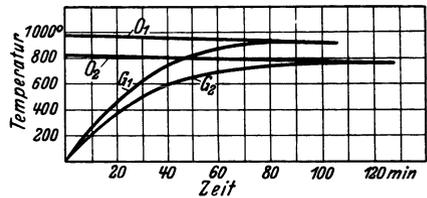


Abb. 3. Wärmeübertragung vom Ofen auf Glühgut.

Da aber andererseits die höhere Ofentemperatur die Gefahr der Überhitzung des Werkstückes mit sich bringt, verzichtet man bei empfindlichem Stahl besser auf sie und nimmt die längere Glühzeit mit in Kauf bzw. überhitzt den Ofen höchstens um so viel, wie er durch das kalt eingebrachte Glühgut abfällt.

Berührt die scharfe Flamme, die Stichflamme, das Glühgut, so ist ungleichmäßige Erwärmung und örtliche Überhitzung nicht zu vermeiden. Deshalb sucht man bei Härteöfen das Glühgut vor dieser Flamme zu bewahren, was sowohl durch die Konstruktion des Ofens oder des Brenners als auch durch die Art der Verbrennung möglich ist. Von den Ofenkonstruktionen wird im Abschn. 6 die Rede sein. Die Wirkung der Brennerkonstruktionen, die eine Flammenbildung verhindern, faßt man als „flammenlose Oberflächenverbrennung“ zusammen. Dabei verbrennt das Gas nicht unmittelbar an der Mündung des Brenners, sondern in einem anschließenden Kanal, in einer vorgelagerten körnigen oder porösen Masse und hier vollständig und mit sehr hoher Temperatur, so daß keine eigentliche Flamme entsteht. Wenn auch die Vorgänge bei dieser flammenlosen Verbrennung wissenschaftlich noch nicht völlig geklärt sind — die sog. „Katalysator

wirkung“ spielt jedenfalls eine große Rolle dabei — so wird das Verfahren doch von vielen Firmen mit Vorteil benutzt¹.

Aber auch ohne solche Konstruktionen läßt sich mit einfachen Brennern eine kurzflämmige und unsichtbare Verbrennung erzielen, wenn man mit Gas höherer Pressung arbeitet, wie es das Ferngas (Koksofengas mit 3····20 at) ist. Es verbrennt in geeigneteren Brennern mit einem nur einige Zentimeter hohen blauen Ring, so daß man auch sehr empfindliches Glühgut um weniger als 20 cm Entfernung an die Brennermündung heranbringen kann.

5. Einteilung der Öfen. Für Zwecke der Härtereie ordnet man die Öfen zweckmäßig nach der Beziehung des Glühguts zur Feuerung in:

1. Öfen, in denen das Glühgut mit dem festen glühenden Brennstoff oder der Stichflamme in Berührung kommt.

- a) Öfen ohne eigentlichen Glühraum,
- b) Öfen mit Glühraum.

2. Öfen, in denen das Glühgut nicht von der Flamme oder wenigstens nicht von der Stichflamme getroffen, wohl aber von den Heizgasen bespült wird.

- a) Öfen ohne besonderen Verbrennungsraum,
- b) Öfen mit besonderem Verbrennungsraum,
- c) Öfen mit flammenloser Oberflächenverbrennung.

3. Öfen, in denen das Glühgut weder von Flammen noch Verbrennungsgasen bespült wird.

- a) Öfen mit Muffel,
- b) Öfen mit elektrischer Heizung,
- c) Öfen mit Schmelzbädern.

6. Typische Ofenkonstruktionen. Gemäß der Einteilung im vorhergehenden Abschnitt sollen hier einige kennzeichnende Konstruktionen kurz beschrieben und ihre Eigenschaften für das Härten untersucht werden.

Öfen nach 1a: Schmiedefeuer. Ein geübter Härter ist auf Grund seiner jahrelangen praktischen Erfahrung in der Lage, im Schmiedefeuer Qualitätswaren herzustellen, die dem in neuzeitlichsten Öfen behandelten Härtegut gleichzustellen, wenn nicht gar überlegen sind. In der Solinger Industrie z. B. werden wie vor Hunderten von Jahren auch heute noch Qualitätsschneidwaren fast ausschließlich im Schmiedefeuer erwärmt.

Besonders hervorzuheben ist hier das Härten von Rasiermessern. Die geübte Hand des Härters erzeugt hier eine Ware, die in bezug auf Schneidfähigkeit und Schneidhaltigkeit einem Messer, welches bei gleicher Stahlqualität in einem neuzeitlichen Ofen gehärtet wurde, zweifellos überlegen ist.

Eine Erklärung hierfür liegt vermutlich in der Größenordnung des Kristallkorns oder in der Oberflächenbeeinflussung der Feuergase.

Auf diese praktischen Erfahrungen der besonderen Erhitzungsart im Schmiedefeuer — es wird den beanspruchten Stellen und Flächen besondere Aufmerksamkeit geschenkt — dürfte es zurückzuführen sein, daß auch andere Werkzeuge, wie Meißel, kleine hochbeanspruchte Matrizen und Stempel, im Schmiedefeuer von einem geübten Härter gehärtet, den in neuesten Öfen gehärteten in der Leistung sehr oft überlegen sind. Die Temperatur ist allerdings nicht zu messen und kann nur nach der Glühfarbe beurteilt werden. Es ist aber einem geübten Auge auch ohne Meßgeräte möglich, Temperaturänderungen von $\pm 5 \cdot \cdot \cdot 10^0$ C zu erkennen.

¹ Aufschlag- oder Kanalbrenner von Benno Schilde, Steinstrahlöfen von Fried. Krupp, Lamellengatter von Schuchardt & Schütte usw.

Um eine gleichmäßige Temperatur beim Härten größerer Mengen von Werkstücken einhalten zu können, empfiehlt sich eine Übermauerung des Schmiedefeuers mit einem Schamotteaufsatz nach Abb. 4.

Bei Verwendung von Schmiedekohle muß die Kohle zwecks Austreibung schädlicher, überschüssiger Gase vor dem Härten gut ausgebrannt werden. Kohle enthält in nicht unbeträchtlichen Mengen Schwefel, welcher von dem glühenden Werkstück aufgenommen wird und zur Weichfleckigkeit führt. Als bestes Heizmittel wird Holzkohle angewendet. Von der Verwendung von Koks sollte man beim Härten im Schmiedefeuer Abstand nehmen, da das Feuer infolge der bei Koks erforderlichen starken Gebläseluft meistens zu grell brennt und das Werkstück leicht überhitzt wird.

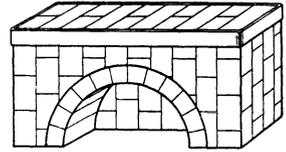


Abb. 4. Schamotteaufsatz.

Beim Anlassen von Werkstücken im Schmiedefeuer ist Koks gut geeignet, da Koks vollkommen frei ist von schwelenden Gasen und die blanken Stellen, die zum Erkennen der Anlauffarbe erforderlich sind, nicht beschmutzt werden.

Sehr wesentlich ist zu beachten, daß zwischen Luftdüse und Werkstück immer genügend Brennstoff vorhanden ist, da andernfalls die Luft das Werkstück trifft und es an der Oberfläche entkohlt (Weichhaut).

Zu dieser Gruppe von Öfen gehört auch der einfache Blau- oder Bunsenbrenner. Er ist aber nur geeignet zum Erwärmen kleiner Werkzeuge, wie z. B. Reißnadeln, Stemmer und Punzen. Daß seine Temperatur im oberen Teil der Flamme (Oxydationsbereich) erheblich höher ist als die Härte-temperatur, zeigt Abb. 5. Man muß also beim Gebrauch dieser Brenner sehr vorsichtig sein, um eine Überhitzung zu vermeiden. Mit größerem Erfolg werden sie zum Anlassen begrenzter Stellen an Werkzeugen verwandt.

Viel heißer (bis zu 4000°) und auch für größere Teile anwendbar sind die Flammen der Gasschweißbrenner (Azetylen-Sauerstoff und Wasserstoff-Sauerstoff) und des elektrischen Lichtbogens. Man kann mit ihnen Stellen dicker Werkstücke schnell erhitzen — aber auch leicht verbrennen.

Mit gutem Erfolg benutzt man den Schweißbrenner zum Härten von Zähnen an Werkzeugen, örtlichen Erhöhungen an Nockenwellen, einseitig gezahnten Räum- und Stoßnadeln. Bei Verwendung lufthärtender Stähle (Schnelldrehstähle und hochlegierte Cr-Stähle) genügt es, die Zähne einzeln mit dem Brenner auf Härtetemperatur zu erhitzen und dann zur einwandfreien Härtung an der Luft auf Zimmertemperatur erkalten zu lassen. Von großem Vorteil ist hierbei die große Zähigkeit des ungehärteten Hauptteiles des Werkstückes, sein geringerer Verzug, seine leichte Richtbarkeit und der dadurch bedingte geringere Härteausfall.

Ferner wird der Schweißbrenner noch zum Härten der Schneidkanten an Stanz- und Schnittwerkzeugen benutzt, desgleichen zum Auftragen (Auftropfen) einer dünnen Schicht von harten Legierungen auf Flächen und Schneidkanten, die stark auf Verschleiß beansprucht werden. Da eine Härtung des eigentlichen Werkzeuges hierbei nicht erforderlich ist, demnach Härteausfall völlig ausscheidet, ist dieses Verfahren für einzelne Sonderfälle von ausschlaggebender Bedeutung.

Das kleine Tischgasfeuer Abb. 6 mit verstellbarer Werkstückauflage und klappbarem Deckel stellt einen Übergang zu den Öfen mit Glühraum dar, da der Raum oben durch den Deckel und hinten durch einen Stein abgeschlossen werden kann.

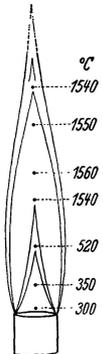


Abb. 5. Temperaturen einer Blaubrennerflamme.

Auch werden die Werkstücke — Schneidstähle, Meißel u. dgl. — nicht mehr ausschließlich durch die Flamme erhitzt, und die atmosphärische Luft kann nicht mehr ungehindert Zutreten und die erhitzte Oberfläche verzernern.

Öfen nach 1b und 2a: Zwischen diesen beiden Gruppen ist in der Konstruktion insofern grundsätzlich kein Unterschied, als sie beide keinen besonderen

Verbrennungsraum haben. Die Verschiedenheit liegt darin, daß bei 2a die Flammen weniger oder gar nicht und daß besonders keine Stichflammen an das Glühgut kommen.

Mehr zur Gruppe 1b gehört der senkrechte Zylinderofen Abb. 7, der zum Erhitzen langer Teile, wie Achsen, Wellen, Geschützrohre, Flaschen, Scherenmesser, Stehbolzenbohrer, Räumnadeln u. dgl. sich vorzüglich eignet. Die Teile hängen von oben frei in den Ofen, so daß sie gleichmäßig erwärmt werden und sich nicht verbiegen können. Der Ofen wird durch Gas geheizt, indem rings



Abb. 6. Tisch-Gasfeuer.

um den Mantel in Schraubengängen von unten bis oben Brenner liegen, und zwar tangential. Infolgedessen werden die Werkstücke nicht von den Stichflammen getroffen, sondern es bildet sich eine umlaufende Flammenglut, die die Werkstücke gleichmäßig erwärmt. Der Ofen ist im übrigen aus Schamotte- und Isoliersteinen aufgebaut und außen mit Stahlblech umkleidet, in dem die Brenner befestigt sind. Solche Öfen sind schon bis 12 m Höhe und 2,5 m Durchmesser ausgeführt worden. Große Werkstücke können mit dem Kran leicht ein- und ausgebracht werden.

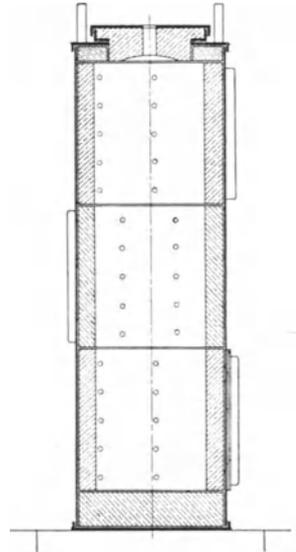


Abb. 7. Senkrechter Zylinderofen.

Zur Gruppe 2a gehört der Kammerofen, von dem Abb. 8A ein Schema, Abb. 9 eine Ausführung für Selasgas zeigt: die Flammen entwickeln sich oben unter der Decke, so daß sie das Glühgut (wenn es nicht zu hoch ist) nicht berühren. Die Brenner, einzeln abstell-

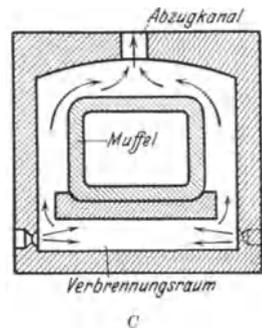
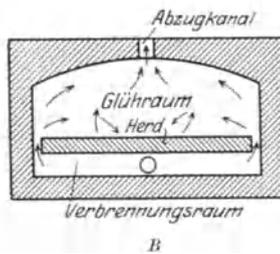
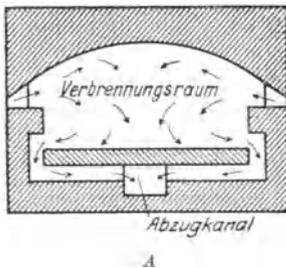


Abb. 8. Schematische Skizzen der Hauptbauformen der Glühöfen für Gas- und Ölfuehrung.

A = Kammerofen (Oberfuehrung); B = Plattenglühofen (Unterfuehrung); C = Muffelofen (Außenfuehrung).

bar, liegen auf beiden Seiten gegeneinander versetzt oben in der Kammer. Die Verbrennungsgase treten durch die langen schmalen Öffnungen C unter den

Herd, streichen durch den Sammelkanal *D* und verlassen den Ofen durch die senkrechten Kanäle *E*.

Öfen nach 2b: In diese Gruppe gehören vor allem die Öfen mit Unterfeuerung, die sog. Plattenglühöfen, die, gas- oder ölgefeuert, den größten Teil der Härteöfen ausmachen (Abb. 8B). Die Brenner liegen in einem Raum unter der Herdplatte, so daß nicht die Flammen, nur die Abgase durch lange schmale Öffnungen zu beiden Seiten der Herdplatte in den Glühraum kommen. Abb. 10 zeigt links einen kleinen Härteofen dieser Bauart mit Luftvorwärmung, eingerichtet für Abgasverwertung oder unmittelbare Befuehrung, Abb. 11 einen großen gemauerten Einsatz- und Glühofen für Öl- oder Gasfeuerung: nachdem die Verbrennungsgase gemäß den eingezeichneten Pfeilen den Herd von allen Seiten umzogen haben, streichen sie in einen Sammelkanal, durch Abzuglöcher in den Vorwärmer und von da in den senkrechten Sturzkanal, der mit einem unterirdischen Kanal und dem Schornstein verbunden ist.

Für Temperaturen über $1100 \cdots 1200^\circ$, wie sie zum Härten von Schnellstahl nötig sind, ist der Plattenglühofen mit ausschließlicher Verbrennung unter der Herdplatte nicht sehr geeignet, weil die Platte leicht weich wird. Da andererseits beim Kammerofen der Herd nicht leicht heiß genug wird, empfehlen sich am meisten Öfen mit Heizung über und unter dem Herd, also vereinigte Kammer- und Plattenglühöfen. Abb. 12 zeigt einen derartigen Ofen, und zwar mit flammenloser Oberflächenverbrennung durch Kanalbrenner (s. Abschn. 4).

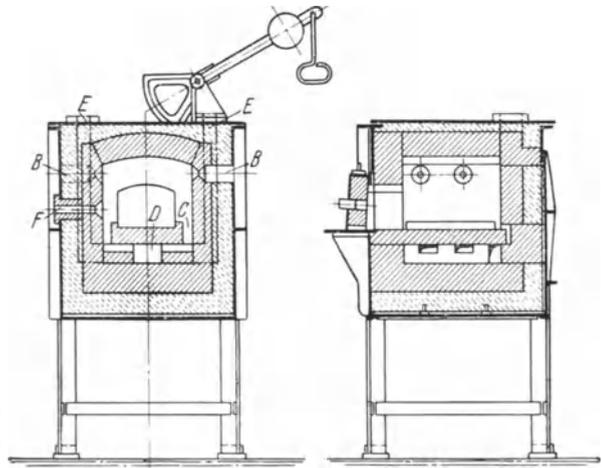


Abb. 9. Kammerofen. (Selas AG., Berlin.)

B = Brenner; *C* = Abgasöffnungen; *D* = Sammelkanal; *E* = senkrechte Abgaskanäle; *F* = Öffnung für Pyrometer; *////* = Schamottesteine; *-----* = Isoliersteine.

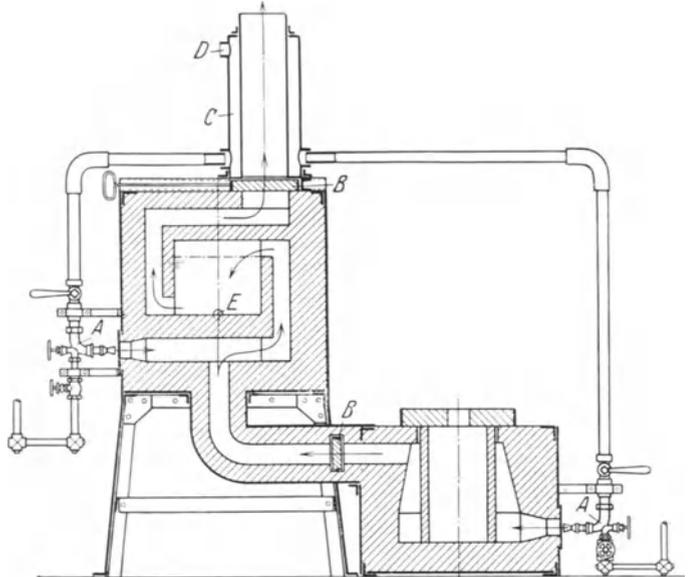


Abb. 10. Vereinigter Muffel- (rechts) und Plattenglühofen (links). (Gebrüder Pierburg, Berlin.)

A = Brenner; *B* = Absperrschieber; *C* = Luftvorwärmer; *D* = Luft-eintritt; *E* = Öffnung für Pyrometer.

Einen Ofen, der auch zur Gruppe 2b gehört, weil er einen besonderen Verbrennungsraum hat, und weil zum mindesten keine Stichflammen in den Glüh-

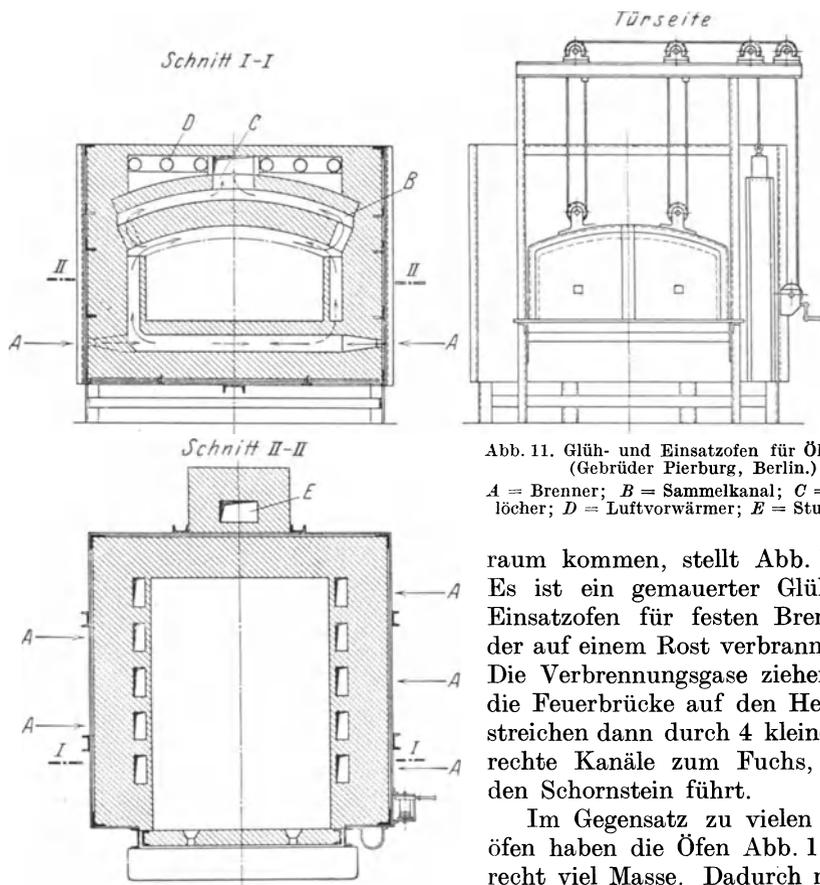


Abb. 11. Glüh- und Einsatzofen für Ölfuerung. (Gebrüder Pierburg, Berlin.)

A = Brenner; B = Sammelkanal; C = Abzugslöcher; D = Luftvorwärmer; E = Sturzkanal.

raum kommen, stellt Abb. 13 dar. Es ist ein gemauerter Glüh- und Einsatzofen für festen Brennstoff, der auf einem Rost verbrannt wird. Die Verbrennungsgase ziehen über die Feuerbrücke auf den Herd und streichen dann durch 4 kleine senkrechte Kanäle zum Fuchs, der in den Schornstein führt.

Im Gegensatz zu vielen Härteöfen haben die Öfen Abb. 11 u. 13 recht viel Masse. Dadurch nehmen sie zwar zunächst auch viel Wärme

auf, erleichtern es aber, die Temperatur lange Zeit einigermaßen auf gleicher Höhe zu halten, wie es zum Einsetzen nötig ist. Je öfter und schneller bei einem Ofen die Temperatur geändert werden muß, um so weniger Wärme darf er aufspeichern.

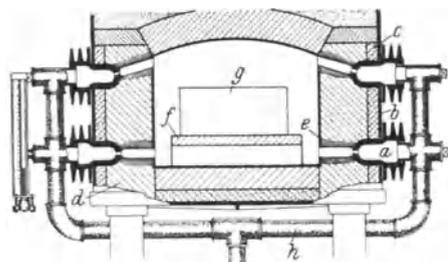


Abb. 12. Ofen mit Ober- und Unterfuerung durch Kanalbrenner. (Schilde, Hersfeld.)

a = Brenner; b = Ummantelung; c = Isolierung; d = Ausmauerung; e = Katalysator; f = Herdplatte; g = Werkstück; h = Verteilungsleitung.

Öfen nach 3a: Abb. 8C zeigt ein Schema der Anordnung: die Muffel wird von außen geheizt, meist durch Gas oder Öl; weder Flamme noch Verbrennungsgase kommen in die Muffel, in die das Glühgut gelegt wird. Trotz dieses Vorzuges wird der Muffelofen nicht sehr viel benutzt: die Betriebskosten sind höher, da die Muffel ab und zu ersetzt werden

muß und der Brennstoffverbrauch größer ist, auch ist die Temperatur in der Muffel weniger gleichmäßig als im Kammer- und Plattenglühofen. Vor allem

aber schützt die Muffel die Stahloberfläche doch nicht völlig. Während nämlich im offenen Glühraum, in den die Verbrennungsgase eintreten, ein Überdruck herrscht, so daß durch Risse, Spalten usw., die nie ganz fehlen, nur etwas verbranntes Gas nach außen tritt, gleicht sich bei der Muffel der Druck innen und außen ständig aus, indem die erhitzte leichtere Luft durch Risse usw. oben im Ofen und durch den oberen Teil der geöffneten Tür austritt und von unten kalte atmosphärische Luft nachströmt.

Diese Strömungen sind nie ganz zu vermeiden; man sucht sie aber durch seltenes Öffnen der Tür, Ausbessern der Ausmauerung usw. gering zu halten, so daß Verzundern und Entkohlen als Folge der Luftbewegungen erst bei höheren Temperaturen oder längeren Glühzeiten erheblich zu werden pflügen.

Abb. 10 zeigt rechts einen kleinen senkrechten Muffelofen für Schaftwerkzeuge u. dgl.

Öfen nach 3b: Die Erzeugung von Wärme ist die einzige Aufgabe des elektrischen Stromes in den elektrisch geheizten Öfen. Abgesehen von den unmittelbar geheizten Salzbadern (s. Abschn. 7) wird der Strom stets in besonderen Heizwiderständen in Wärme umgewandelt: mittelbare Widerstandsheizung. Die Heizwiderstände bestehen aus hoch feuerfesten Stoffen, und zwar für Temperaturen bis 1000 oder auch bis etwa 1100°, aus Chromnickel (etwa 80% Ni und 20% Cr), über 1100° aus Silit (keramische Masse). Für Temperaturen bis 1200° C werden vorteilhaft auch Chrom-Aluminium-Heizdrähte verwendet (etwa 6...30% Cr und 3...6% Al, Rest Fe). Chromnickel wird in Drahtspiralen oder Bändern verwandt, Silit in Stäben. Silit ist schwer herzustellen und empfindlich gegen mechanische Beanspruchung (Erschütterungen, Stöße u. dgl.), so daß es nur für kleinere und mittlere Öfen und auch da nur mit Vorsicht benutzt werden kann. Chromnickelwiderstände dagegen können bequem jedem Zweck angepaßt werden. Meist werden sie in Nischen der Schamotteauskleidung verlegt, so daß sie ihre Wärme frei auf das Glühgut ausstrahlen können. Bei waagerechten Glühkammern liegen sie mindestens auf 2 Seiten, oft auf allen 4 und außerdem unter der Bodenplatte und auch wohl unter der Decke. Bei senkrechten Schachtöfen liegen sie im Kreise in der Innenwand.

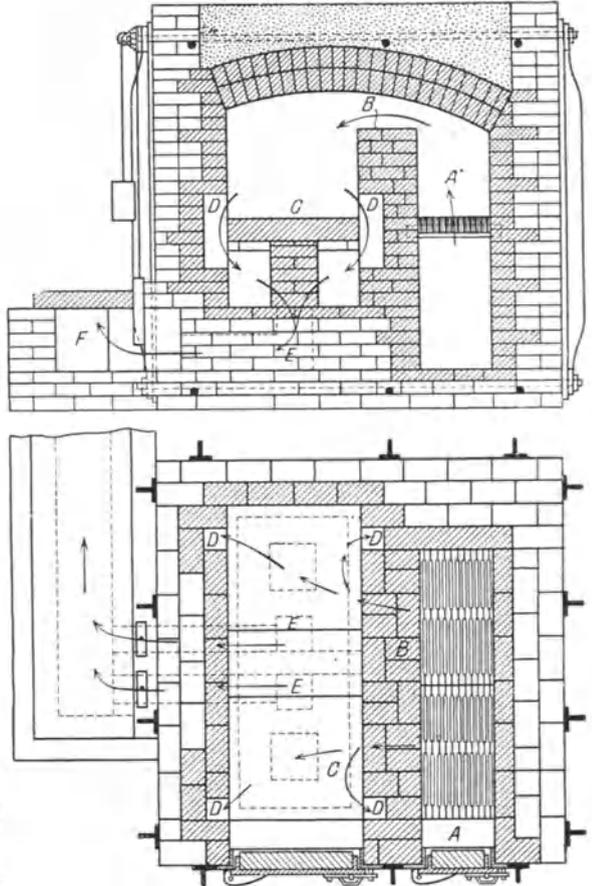


Abb. 13. Einsatzöfen für festen Brennstoff.

A = Rost; B = Feuerbrücke; C = Herd; D = senkrechte Kanäle; E = waagerechte Kanäle; F = Fuchs.

Die Schamotteschicht ist, wie bei Gas- und Ölöfen, von Isoliersteinen umgeben, die auch wieder durch Blechmäntel usw. zusammengehalten werden.

Die Stromzufuhr muß sehr gut regelbar sein, da sie ja die Wärme gibt und

daher das gilt, was in Abschn. 3 über deren Regelbarkeit gesagt ist.

In bezug auf die Wirkung auf die Oberfläche des Glühguts gleicht der elektrische Glühofen dem Muffelofen: Luftbewegungen sind nicht völlig zu verhindern, so daß bei hohen Glühtemperaturen (von vielleicht $900 \cdots 1000^\circ$ an) oder langer Glühzeit die Oberfläche merkbar zundet und entkohlt.

Ein elektrischer Ofen, der selbsttätig den Umwandlungspunkt des zu härtenden Werkstückes anzeigt, ist der Haltepunktoven Abb. 14. Über den Haltepunkt (Umwandlung) ist im ersten Teil (Heft 7) Näheres gesagt worden. Es ist die Temperatur, auf die der Stahl erhitzt werden muß, um beim nachfolgenden

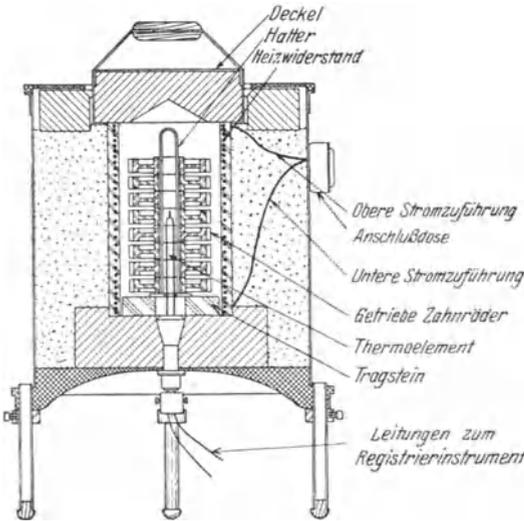


Abb. 14. Haltepunktoven. (M.E.C.J., Düsseldorf.)

Abschrecken Härte anzunehmen. In der Praxis muß diese Temperatur aber $20 \cdots 40^\circ \text{C}$ höher gewählt werden, da durch Verkleinerung der kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit bei großen Abmessungen und infolge Dampf- bildung

(LEIDENFROSTSCHE Phänomen) die Abkühlung verzögert wird (Abschn. 16). Das Abkühlen muß mit einer Mindestgeschwindigkeit stattfinden, die „kritische Abkühlungsgeschwindigkeit“ genannt wird. Sie beträgt für unlegierten Werkzeugstahl mit rund $0,9\%$ C etwa $100 \cdots 150^\circ \text{C}$ in der Sekunde, d. h. die Temperatur des Stahles muß innerhalb einer Zeit von etwa 6 Sekunden von der Härtetemperatur, z. B. 760°C auf unter 250°C gebracht werden. Abb. 15 zeigt eine mit dem Haltepunktoven aufgenommene Temperatur-Zeit-Kurve.

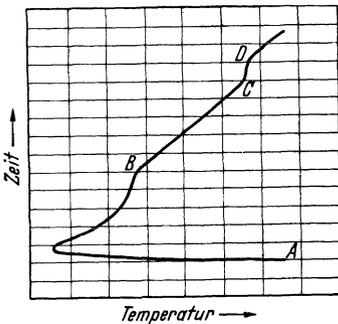


Abb. 15. Temperatur-Zeit-Schaubild des Haltepunktovens.

A = Werkstück eingesetzt, Ofentemperatur fällt plötzlich ab, steigt dann wieder bis B infolge der in den Wänden gespeicherten Wärme; B = Ausgleichspunkt, Ofen und Werkstück haben gleiche Temperatur; Heizstrom wird eingeschaltet; C...D = Gefügeumwandlung unter Wärmebindung, deshalb Unterbrechung im Temperaturanstieg (Haltepunkt), bis die Umwandlung bei D beendet ist.

Dieser Ofen ist ein Schachtoven. Der Heizwiderstand, eingebettet in keramischer Masse, bildet den inneren Ofenraum. Außen ist er mit einer starken Isolierschicht, welche durch einen Blechmantel gehalten wird, eingefaßt.

Elektrische Schachtöfen werden, wie gasbeheizte, für jede verlangte Tiefe ausgeführt (s. Abb. 41 S. 35: elektrisch geheizter Schachtoven zum Vergüten von langen Geschützrohren).

Das in neuerer Zeit zum Stahlschmelzen angewandte Hochfrequenz-Induktionsverfahren hat nach seiner Ausarbeitung für die Wärmebehandlung zum Härten Aussicht auf guten Erfolg.

Das zum Härten zu erwärmende Werkstück wird in das elektromagnetische Feld einer Spule gebracht. Das durch den Strom erzeugte Kraftfeld dringt in

das Werkstück ein, wird geschwächt und die Energie, die beim Eindringen verlorengeht, in Wärme umgesetzt.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß die Erwärmung der Außenzone und des Kerns gleichzeitig und gleichmäßig verläuft. Eine Voreilung durch Wärmestrahlungen der Außenteile und vor allen Dingen dünner und spitzer vorstoßender Kanten wird vollkommen vermieden. Die sonst bei jeder anderen Erwärmungsart auftretenden Wärmespannungen sind bei diesem Verfahren weitgehendst ausgeschaltet.

Ein Nachteil sind die hierfür ziemlich hohen Stromkosten und, wie bei allen Öfen elektrischer Art, das Oxydieren des Härtegutes, was jedoch durch Schutzgase¹ vermieden werden kann.

Öfen nach 3c sollen wegen ihrer Wichtigkeit im folgenden Abschnitt gesondert behandelt werden.

7. Öfen mit Schmelzbädern. In diesen Öfen wird das Glühgut ausschließlich durch Berührung erwärmt, und zwar durch Eintauchen in eine hochoerhitzte Flüssigkeit aus Salz oder Metall (Blei), die sich in einem Tiegel befindet, der von außen durch Gas oder Öl, aber auch wohl durch Koks oder Elektrizität erhitzt wird.

Vorzüge der Schmelzbäder. Die Bäder haben vor den Öfen mit Glühraum folgende Vorzüge: 1. Die Temperatur ist im Bad erheblich gleichmäßiger als im Glühraum. 2. Das Bad wärmt (ausgenommen den elektrisch beheizten Luftumwälzofen) die Werkstücke sehr schnell durch, so daß gar kein Anlaß besteht, es heißer zu halten als das Werkstück werden soll. Es werden daher auch dünne Teile, vorspringende Stellen und Kanten der Werkstücke nicht überhitzt. 3. Das Bad ist oben völlig frei und offen, so daß man bequem herankommt und leicht Werkstücke auch stellenweise durch Eintauchen nur des einen Endes erhitzen kann. So erhitzt man alle Schaftwerkzeuge, Köpfe oder Enden von Schrauben, Bolzen usw. 4. Dünne Teile haben keine Gelegenheit sich zu verbiegen, da sie im Bad senkrecht hängen. 5. Entkohlen und Verzundern der Oberfläche ist durch Abschluß der Werkstücke von der Luft und den Verbrennungsgasen ausgeschlossen oder kann — bei gewissen Salzen — durch zweckmäßige Mischung verhindert werden.

Die Tiegel oder Wannen. Für Behälter bis etwa 950° C Badtemperatur verwendet man gußeiserne oder aber aus Flußeisen gezogene Tiegel. Bei Temperaturen bis etwa 1050° C sind Tiegel aus hitzebeständigen Chromnickelstählen vorteilhafter. Wird mit zyanhaltigen Salzen gearbeitet, so empfiehlt sich die Verwendung von weichem Flußeisen oder, noch besser, Tiegeln aus sonderlegierten, hitzebeständigen Werkstoffen. Für die Salzbad zur Schnellstahlhärtung mit sehr hohen Temperaturen (1150···1350° C) verwendet man am besten mit Schamotte oder Korund ausgemauerte Behälter. Es empfiehlt sich aber in allen Fällen, den Rat von Sonderfirmen einzuholen.

Die Badflüssigkeit. Es sollen hier zunächst nur die Flüssigkeiten zum Erwärmen über 700° (für das Härten) besprochen werden. Folgende Anforderungen sind an sie zu stellen:

1. die Badflüssigkeit darf die Stahloberfläche nicht beschädigen (durch Zundern, Entkohlen, Zufuhr von Schwefel usw.),
2. sie darf bei der Gebrauchstemperatur nicht stark verdampfen,
3. sie darf sich an das Werkstück nicht so ansetzen, daß sie das Abkühlen erschwert,

¹ AEG-Mitt. Heft 9, September 1939.

4. sie soll möglichst unschädlich für den Härter sein,
5. sie soll wirtschaftlich sein.

Für Temperaturen bis etwa 900° werden Salze oder Blei benutzt, für höhere Temperaturen nur Salze.

Blei, das bei 327° schmilzt, kann über etwa 900° nicht gut benutzt werden, weil es zu stark verdampft (Bleidämpfe sind sehr giftig!). Es hat vor Salz den Vorzug, daß es die Stahltiegel weniger angreift: mit Blei hält der Tiegel 5 bis 8 Wochen, mit Salz dagegen nur 8...10 Tage. Daß Blei viel schneller zu erhitzen

ist als Salz, ist oft erwünscht, zuweilen aber auch nicht. Ein Nachteil des Bleies ist es, daß infolge seines hohen spezifischen Gewichtes die Werkstücke auf ihm schwimmen¹, wenn sie nicht hineingehalten werden, daß sich leicht kleine Klümpchen am Werkstück festsetzen und daß seine Dämpfe giftig sind. Auf der Oberfläche verschmutzt das flüssige Blei leicht, weil sich durch Berührung mit der Luft Bleioxyd bildet (was jedoch dadurch vermieden werden kann, daß man die Badoberfläche mit kleinen Holzkohlenstückchen oder leicht schmelzenden Salzmischungen bedeckt).

Für Temperaturen von 1100 bis über 1300° wird hauptsächlich reines Chlorbarium (Bariumchlorid) benutzt. Nach längerem Gebrauch beginnt es jedoch die Werkstücke oberflächlich zu entkohlen, vermutlich, weil sich im Bad etwas Bariumoxyd (BaO) bildet, dessen Sauerstoff aus aufgelöster atmosphärischer Luft

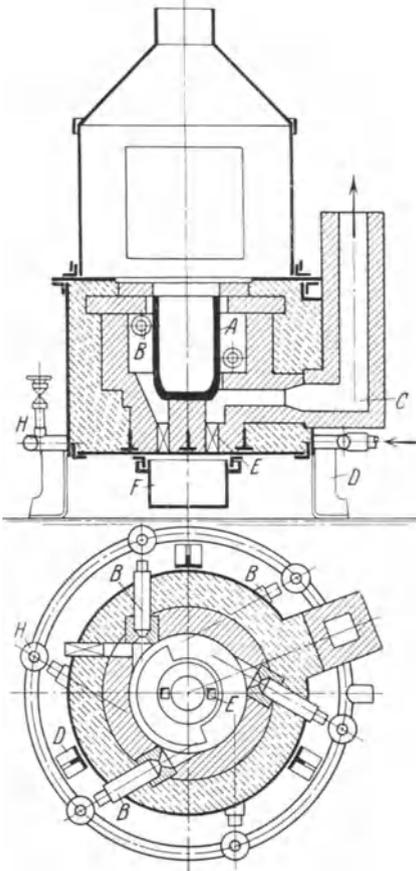


Abb. 16. Tiegelofen mit Selasgasheizung.

A = Tiegel; B = Brenner; C = Abgaskanal;
D = Füße; E = Kanäle; F = Auffangschale
(für Badflüssigkeit bei Tiegelbruch); H =
Gasverteilungsleitung mit Absperrventilen.

Tabelle 1. Härte- und Anlaßsalze.

Salz	Schmelzpunkt °C	Gebrauchstemp. °C
Houghton Schnellstahlsalz	950	980...1350
Glühsalz 635 CN	635	700...950
Glüh- und Anlaßsalz 465	465	500...850
Anlaßsalz 275	135	180...500
Durferrit-Schnellstahl- Härtesalz-Carboneutral .	—	1150...1350
Glühsalz	—	750...900
Schnellstahl-Anlaßsalz (GS ₁ + C ₂)	—	580...650
Anlaßsalz (AS 300)	etwa 300	} 150...350
Anlaßsalz (AS 200)	etwa 220	
Anlaßsalz (AS 140)	etwa 140	

stammt. Um das zu verhindern, setzt man dem Bad einige Prozent Borax oder Ferrosilizium zu.

In neuerer Zeit sind auch hier Salze entwickelt worden, welche obige Nachteile mit Sicherheit vermeiden. In Tabelle 1 sind einige Salze, die sich in der Praxis gut bewährt haben, zusammengestellt.

¹ Das gilt nicht für kleine Teile mit verhältnismäßig großer Oberfläche: dünne Spiralbohrer z. B. „stehen“ im Blei, wenn man sie an die Tiegelwand oder an ein quer über den Tiegel gelegtes Eisen anlehnt.

Fast allen Salzen gemeinsam ist die Eigenschaft, das Werkstück mit einer dünnen Kruste zu überziehen, die beim Abschrecken in Wasser, Öl od. dgl. abspringt, so die Härtung nicht hindert, wohl aber auf dem Wege vom Ofen zum Abkühlbad die Luft vom Werkstück fernhält.

Die Badöfen werden zweckmäßig mit Gas oder Öl geheizt, Kohle oder Koks sind weniger zu empfehlen. Dagegen spielen für Schnellstahl auch die unmittelbar geheizten elektrischen Bäder eine große Rolle.

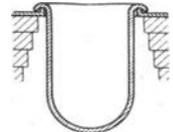


Abb. 17.

Abb. 16 zeigt einen Salzbadofen für hohe Temperaturen mit Selasgasheizung. Der Tiegel wird durch 2×3 tangential liegende Brenner erhitzt; die Abgase verlassen den Ofen durch einen seitlichen Kanal. Ein Mantel mit Arbeitstür schützt den Härter.

Eine zweckmäßige Aufhängung von Tiegeln, die es unbedingt verhindert, daß beim Überlaufen Salz in den Verbrennungsraum kommt und hier die Schamottesteine zerstört, zeigt Abb. 17.

Abb. 18 zeigt einen neuzeitlichen elektrisch geheizten Salzbadhärteofen zum Härten von Schnellstählen, vornehmlich von Werkzeugen in Form von Bohrern, Fräsern, Drehstählen und Reibahlen.

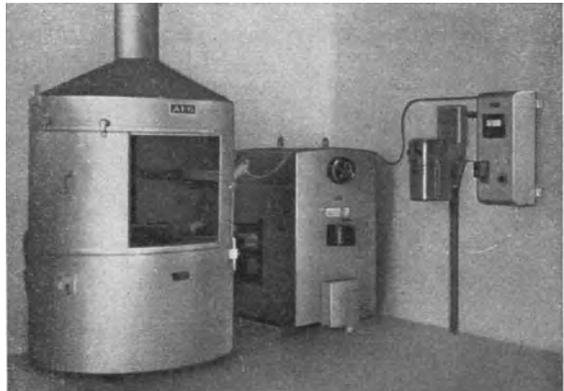


Abb. 18. Elektrisch geheizter Elektroden-Salzbadhärteofen mit optisch-elektrischer Temperaturregelungseinrichtung. (AEG.)

8. Verbundene Öfen. Der Wärmegehalt der Brennstoffe wird im Härteofen schlecht ausgenutzt, zum Teil deshalb, weil die Abgase noch recht viel Wärme fortführen. Man läßt daher bei manchen Öfen wohl die Verbrennungsluft durch die Abgase vorwärmen (s. Abb. 10 u. 11); besser wird die Abwärme jedoch ausgenutzt, wenn man durch sie einen zweiten Ofen heizt, der dann zum Vorwärmen des Glühgutes dienen kann.

So zeigt Abb. 19 einen Doppelkammergasofen, bei dem das Gas in der unteren Kammer verbrennt, während die obere Kammer von den Abgasen vorgewärmt wird und in Abb. 10 (S. 11) heizen die Abgase des senkrechten Muffelofens den Plattenglühofen (links), der allerdings auch unmittelbar geheizt werden kann. An Stelle des Muffelofens kann natürlich auch ein Salzbadofen od. dgl. treten.

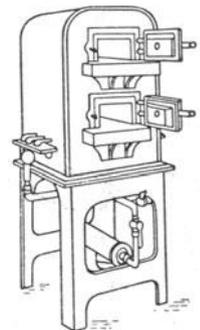


Abb. 19. Doppelkammerofen.

Der Abgasofen ist immer $300 \cdots 400^\circ$ weniger warm als der Hauptofen. Deshalb lohnt sich solche Vereinigung nur, wenn der Hauptofen mindestens über 800° warm sein muß.

Der in der Abb. 20 gezeigte Doppeltiegelofen bewährt sich in der Praxis ausgezeichnet zum Härten von Schnellstahlwerkzeugen wie Fräsern und feinstgezahnten Gewindebohrern usw. Der Vorwärmtiegel wird durch die abziehende Heizflamme erhitzt. Die kreisende Flammenführung innerhalb des Strahlungszyklinders, in dem sich das Härtegut befindet, gestattet eine absolut gleichmäßige Erwärmung. Da die Erhitzung unter vollständigem Luftabschluß erfolgt, ist die zunderfreie

Beschaffenheit der Werkzeugoberflächen gewährleistet. Die unangenehmen Nebenerscheinungen bei der Salzbadhärtung, wie Entwicklung von Dämpfen, Ein- und Ausfüllen des Salzes, Reinigen der Werkzeuge usw., kommt bei dieser Härtung in Fortfall.

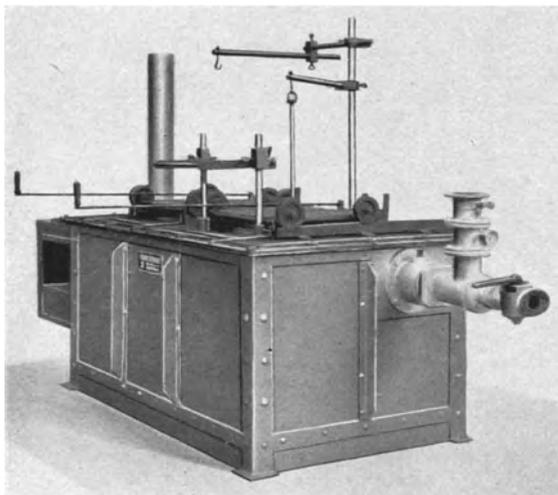


Abb. 20. Vulkan-Schnellstahl-Härteofen, öl- oder gasbeheizt. (Wilhelm Ruppmann, Stuttgart.)

9. Dunstabsaugung. Während Öfen für feste Brennstoffe an einen Schornstein angeschlossen werden müssen, ist das für Gas- und Ölöfen nur bei den großen ortsfesten Ausführungen üblich, und nur zum Fortleiten der Abgase (s. Abschn. 2). Für Glühöfen genügen einfache Dunsthauben (Abb. 21A), die an eine Absaugleitung angeschlossen sind, für Blei- und Salzbadhärtungen sind dagegen völlig umschließende Mäntel mit Arbeitsöffnung (Abb. 21B) um so nötiger, je stärker die Bäder verdampfen und je giftiger sie sind.

Auch Abkühlbäder aus Talg und Öl brauchen derartige Mäntel, wenn die Luft in der Härterei rein bleiben soll. Abb. 22 zeigt eine Werkzeughärterei, bei der die Absaugleitungen unterirdisch geführt werden.

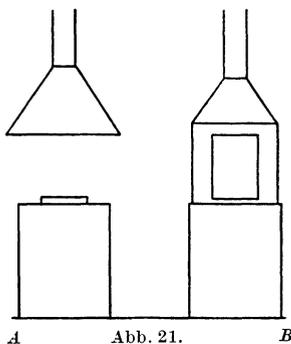


Abb. 21.



Abb. 22. Spiralbohrerhärterei. (R. Stock & Co.)

B. Einrichtungen zum Abkühlen.

Rasch abgekühlt (abgeschreckt) wird meist in kühlen Flüssigkeiten, manchmal an kühlen festen Körpern; langsamer abgekühlt in warmen Flüssigkeiten oder in bewegter Luft. Doch hängt die Geschwindigkeit der Abkühlung nicht nur von dem Kühlmittel ab, sondern auch von den Abmessungen des Werkstücks und dem Zustand seiner Oberfläche.

10. Flüssigkeitsbäder bestehen aus Behältern verschiedener Art und Größe mit einer Flüssigkeit.

a) Die Flüssigkeiten¹ härten verschieden stark, je nach ihren physikalischen Eigenschaften, und zwar ist ihre Abschreckwirkung um so stärker, je schneller die Flüssigkeit die Wärme vom Werkstück aufnimmt (Wärmeleitung), je mehr Wärme sie für eine Temperaturerhöhung von 1° aufnehmen kann (spezifische Wärme), je mehr Wärme sie zum Verdampfen nötig hat (Verdampfungswärme) und je dünnflüssiger sie ist (Zähigkeit oder Viskosität).

Aber auch chemische Wirkungen der Flüssigkeit können eine Rolle spielen: die Flüssigkeit kann einen Niederschlag absetzen, der die Härtung hemmt, oder sie kann solchen Niederschlag, wenn er vorhanden ist, auflösen. Sie kann ferner die Werkstückoberfläche „angreifen“, z. B. entkohlen oder verzundern, sie kann ihr aber auch, das Hartwerden fördernd, Kohlenstoff oder Stickstoff (bzw. beides) zuführen.

Drei Hauptgruppen von Flüssigkeiten werden zum Abschrecken benutzt: Wasser und wäßrige Lösungen, Öle und Fette, geschmolzene Salze und Metalle. Die erste Gruppe wirkt am stärksten, die letzte am schwächsten, wobei es aber in jeder Gruppe große Unterschiede in der Abschreckwirkung gibt.

Wasser: Gewöhnliches Wasser enthält stets größere oder kleinere Mengen von Salzen, besonders Kalksalze, von denen die „Härte“ des Wassers herrührt; diese Salze stören die Härtung wahrscheinlich dadurch, daß sie einen feinen Niederschlag (von Kalziumkarbonat) auf der Oberfläche der glühenden Werkstücke bilden. Daher härten weiches Wasser, wie Regen- und Kondenswasser und altes gebrauchtes Wasser, die alle wenig von diesen Salzen enthalten, besser als frisches Leitungswasser. Jedes Wasser kann aber die Härtung noch dadurch beeinträchtigen, daß es unmittelbar am glühenden Werkstück zersetzt wird und der frei werdende Sauerstoff die Werkstückoberfläche oxydiert.

Durch Zusatz von Kalk, Seife, Alaun, Glycerin od. dgl. wird die Abschreckwirkung des Wassers herabgesetzt, weil alle diese Zusätze die obenerwähnten physikalischen Eigenschaften des Wassers vermindern und manche auch noch einen feinen Niederschlag absetzen. Sehr gemildert wird die Wirkung des Wassers auch durch eine Ölschicht, die man auf das Wasser gibt und die das Werkstück mit einer Haut überzieht.

Es gibt auch Zusätze, die die Abschreckwirkung des Wassers erhöhen und auch von denen wird häufig Gebrauch gemacht: Natronlauge oder Säure (Schwefelsäure, Ameisensäure usw.). Da auch diese Zusätze sämtlich die Wärmeleitung, spezifische Wärme usw. des Wassers herabsetzen, kann ihre Wirkung nur darin bestehen, daß sie einen Niederschlag oder eine Oxydschicht der Werkstückoberfläche auflösen.

Vielfach wird von Natur geeignetes oder durch Zusätze geeignet gemachtes Wasser nicht fortgegossen, sondern immer weiter benutzt und nur das, was verdunstet, durch Zugießen ersetzt.

Stark angesäuertes Wasser hat den Nachteil, daß die Werkstücke hinterher rosten, wenn sie nicht in heißem Sodawasser abgespült werden. Eine starke Kochsalzlösung mit Zusatz von Schwefelsäure gibt den Teilen eine silbergraue Oberfläche.

Abschrecköle wirken um so stärker, je geringer ihre „Viskosität“ oder Zähigkeit ist, d. h. je dünnflüssiger sie sind. Auch hier sind die seither üblichen Öle (wie Rüböl, Leinöl, Tran, Talg usw.) durch neuzeitlich erforschte Abschrecköle ersetzt worden.

¹ Mitt. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseld. Bd. 21 (1939), Lief. 11, Abh. 377.

Die oben aufgeführten Öle, tierischen oder pflanzlichen Ursprungs, neigen durch den Einfluß des Luftsauerstoffes, sowie durch die ständige Berührung mit glühendem Härtegut, zur Ausscheidung der Fette und vollkommenen Zersetzung und Verdickung. Die Viskosität steigt stark an, ungenügende Härte und Weichfleckigkeit der Werkstücke sind die unausbleibliche Folge.

Tabelle 2.

Rüböl	ungebraucht	gebraucht
Viskosität nach ENGLER		
bei 20° C	12,8	—
bei 50° C	4,20	23,9
Spezifisches Gewicht . .	0,915	0,941

Nebenstehende Tabelle 2, entnommen aus dem Archiv für das Eisenhüttenwesen, zeigt die Veränderung des Rüböles im Betrieb.

Ähnlich ungünstig wie die organischen Abschrecköle verhalten sich auch die gewöhnlichen Mineralöle. Das Nachlassen der Härtefähigkeit von Mineralölen gegenüber einem neuzeitlichen Abschrecköl zeigt Abb. 23, die die Meßergebnisse an vier gleichen Stahlzylindern angibt. Es handelt sich

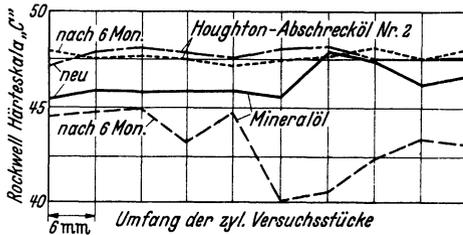


Abb. 23. Vergleichende Prüfung von Mineralöl- und Houghton-Abschrecköl Nr. 2.

bei den Kurven um neun je 6 mm auf einem Kreis voneinander entfernt liegende Meßpunkte. Sie wurden vergleichsweise in neuem und altem Mineralöl, sowie neuem und altem Houghton-Abschrecköl Nr. 2 gehärtet. Die Kurven zeigen einerseits die gleichmäßige Härtung von neuem und altem Houghton-Abschrecköl, andererseits die sehr starken Streuungen der Rockwell-Härten in gebrauchtem Mineralöl.

Hieraus geht zweifellos hervor, daß gerade bei der Massenfertigung der Wahl des Abschreckmittels große Beachtung geschenkt werden muß, da ein gleichmäßiges Leistungsergebnis anderenfalls sehr in Frage gestellt ist. Es ist ratsam, um unliebsame Verärgerungen und unnötiges Ausschußwerden von Werkzeugen zu vermeiden, bei der Anschaffung von Abschreckölen den Rat der Sonderfirmen¹ einzuziehen. Es empfiehlt sich zur einwandfreien Härteannahme, nie in kaltem Öl abzuschrecken, sondern dieses auf 40···60° C anzuwärmen.

Außer allen bislang besprochenen Stoffen werden vielfach Lösungen, Mischungen, Legierungen geheim gehaltener Zusammensetzung zum Abkühlen angeboten, und für sie besonders günstige Eigenschaften beansprucht. In vielen Fällen werden sie diese vielleicht auch haben, doch ist es immer schwierig festzustellen, ob die höheren Kosten sich bezahlt machen. Es ist aber ratsam, die im allgemeinen Handel angebotenen Abschreckmittel mit gewisser Vorsicht in Betrieb zu nehmen, da sie in den allerwenigsten Fällen das halten, was zugesagt wird. Manche werden sich dadurch auszeichnen, daß sie die Wärme mit günstiger Geschwindigkeit abführen und so Verziehen und Reißen mindern, andere, daß sie die Werkstückoberfläche in keiner Weise angreifen, wieder andere, daß sie ihr sogar ein klein wenig Kohlenstoff oder Stickstoff zuführen und damit die Härte erhöhen.

Im übrigen müssen alle Flüssigkeiten rein sein. Sie dürfen weder Schmutz noch andere Fremdkörper enthalten, die sich an die Werkstücke ansetzen und die Härtung stellenweise hindern oder gar die Oberfläche schädigen könnten.

¹ Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt (Degussa), Abteilung Durferrit Glüh- und Härtetechnik Frankfurt a. M.; Deutsche Houghton KG., Magdeburg-Buckau. Auch angesehene Ölfirmen, wie z. B. die Rhenania-Ossag AG., Hamburg, beschäftigen sich seit Jahren mit der Entwicklung geeigneter Abschrecköle.

Außer von der Art der Flüssigkeit hängt die Schnelligkeit der Abkühlung noch von der Temperatur der Flüssigkeit ab. Die Abkühlung ist um so schroffer, je niedriger die Temperatur ist, ohne daß jedoch die Abschreckwirkung gleichmäßig mit wachsender Temperatur abnehme. Wasser und wäßrige Lösungen hält man meist auf Raumtemperatur (etwa 20°), doch machen geringe Unterschiede nichts aus. Bei Wasser ist z. B. bis etwa 30 oder 35° eine Änderung kaum zu bemerken; bei 80...100° allerdings wirkt es ganz wesentlich schwächer, so daß man für mildes Abschrecken an Stelle von Öl wohl heißes Wasser nimmt. Die beiden können einander jedoch nicht völlig ersetzen: anfänglich kühlt heißes Wasser etwa ebenso schnell oder auch langsamer als Öl, dann aber viel schneller. Für sehr mildes Abschrecken werden die oben besprochenen höher erhitzten Bäder benutzt.

b) Die Behälter. Für gelegentliches Abschrecken von kleinen Teilen genügt irgendein Topf mit Flüssigkeit. Zweckmäßiger ist ein Gefäß auf einem Ständer, bequem in der Nähe des Härteofens, mit einem Sieb, damit man die hineingeworfenen Teile leicht herausholen kann.

Für dauerndes Arbeiten genügt jedoch solche Einrichtung nicht, denn die Flüssigkeit würde schnell warm werden und dann immer milder wirken. Man muß also dafür sorgen, daß die Temperatur der Flüssigkeit sich nicht wesentlich erhöht und möglichst überall gleich ist. Die einfachste Einrichtung dazu ist ein Gefäß wie Abb. 24, in das fortwährend Wasser aus- und ein-

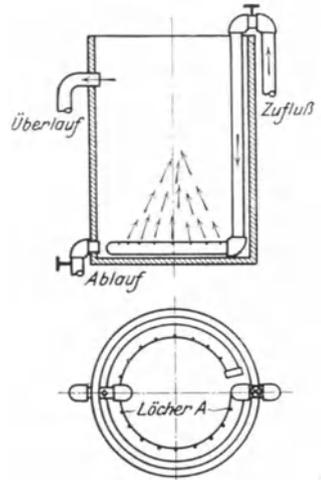


Abb. 24. Kühlbad mit unmittelbar zufließendem Wasser.

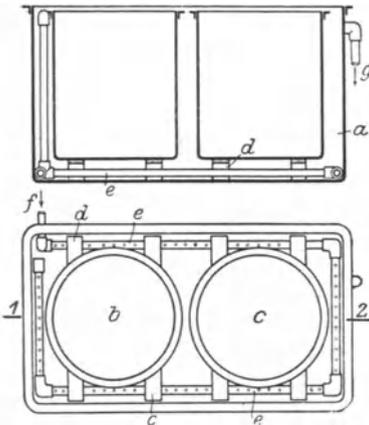


Abb. 25. Kühlbad mit mittelbarer Wasserkühlung.

a = Behälter für die Wasserkühlung; b und c = Gefäße für die Kühlflüssigkeiten (Wasser und Öl); d = Aufnahmeisen; e = Rohrleitung; f = Wasserzuluß; g = Überlauf.

immer frisches Wasser zum Härten benutzt wird. Das vermeidet das Wasser- und Ölbad Abb. 25: Zwei Gefäße, eins für Wasser, eins für Öl, stehen in einem Behälter, in dem Kühlwasser umläuft.

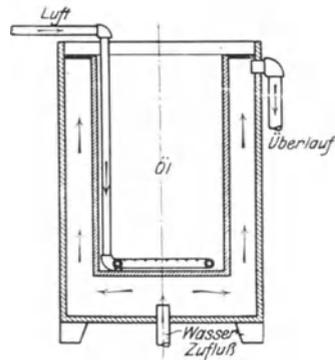


Abb. 26. Wassergekühltes Ölbad mit Bewegung durch Luft.

fließt. Das Wasser tritt durch Löcher in einem Rohrring, der unten liegt, ein, durchströmt das ganze Gefäß und tritt oben aus dem Überlauf wieder aus. Das hat zugleich den Vorteil, daß die Temperatur im Bad durch die andauernde Strömung sich gut ausgleicht, den Nachteil, daß

Um gleichmäßige Temperatur im ganzen Bad zu haben und das Werkstück gleichmäßig abzukühlen, leitet man vielfach Preßluft in das Bad. Abb. 26 zeigt die Anordnung für ein durch laufendes Wasser gekühltes Ölbad. Auch das gut durchgebildete Wasser-Öl-Bad Abb. 27 hat eine solche „Aufquellvorrichtung“. Die Kühlflüssigkeiten können nicht nur gekühlt, sondern auch durch die vorne sichtbare Vorrichtung erwärmt werden.

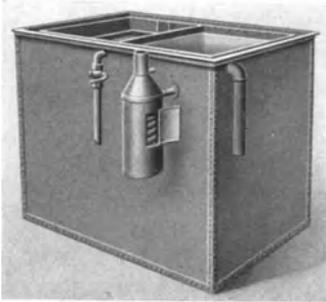


Abb. 27. Kühlbad mit Heiz- und Kühlvorrichtung.

Für große Anlagen, besonders in Vergütereien, genügt das Kühlen durch Wasser im Bad selbst nicht, das Öl muß umlaufen: vom Bad durch Reiniger und Kühler zurück ins Bad. Das Schema einer derartigen, ganz neuzeitlichen „Rückkühlanlage“ zeigt Abb. 28: das warme Öl fließt durch eine Überlauf tasse und

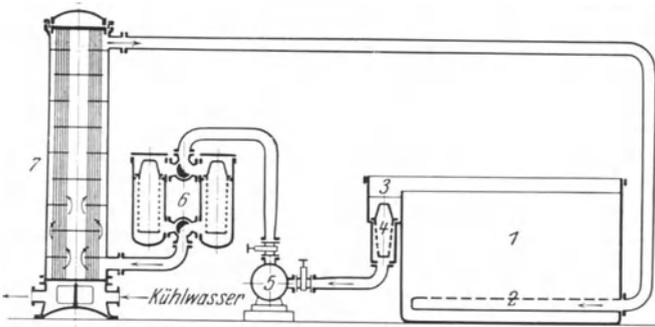


Abb. 28. Schema einer Öl-Rückkühlanlage. (Zimmermann & Co., Ludwigshafen.)

1 = Bad; 2 = Ölverteilerrohr; 3 = Überlauf tasse; 4 = Grobfilter;
5 = Ölpumpe; 6 = Feinfilter (umschaltbar); 7 = Kühler.

bei fließender Fertigung ausreichend kühl zu halten, und die starke Strömung sorgt für gleichmäßige Kühlung der Werkstücke und verhindert, daß sich Öldampfblasen an ihnen ansetzen.

Die Behälter für Öl zum Abkühlen sehr großer Werkstücke (Vergüten von Achsen, Geschützrohren u. dgl.) werden aus Beton gemauert und sind oft viele Meter tief.

Zum Abkühlen in flüssigen Salzen und Metallen werden die früher beschriebenen Schmelzöfen benutzt.

11. Abkühlung in Luft. Hineinstellen bzw. -hängen des glühenden Stücks in die Luft genügt nicht immer; man wünscht oft größere Bewegung. Früher erzeugte man sie wohl durch Bewegungen des Werkstückes (Schwenken oder Drehen mit einer Scheibe), heute läßt man das Werkstück meist ruhig stehen und bläst es mit Gebläseluft ab, die trocken sein muß, weil die Teile sonst leicht reißen. Ein Überdruck von 1 at genügt durchaus, wenn die Luftmenge groß genug ist. (Sondervorrichtungen für bestimmte Zwecke, s. Abschn. 37.)

ein Grobfilter in eine Pumpe, die es durch ein Feinfilter und anschließend durch den Kühler drückt. Das gekühlte Öl tritt durch ein Rohrsystem am Boden des Bades aus und steigt, sich langsam erwärmend, in starkem Fluß nach oben.

So gelingt es, das Öl auch bei sehr großen Werkstücken und

C. Öfen zum Anlassen.

Für das Anlassen zwischen Temperaturen von rund $100 \cdots 700^{\circ} \text{C}$ werden meist Flüssigkeitsbäder und elektrisch beheizte Luftumwälzöfen verwendet. Für besondere Zwecke verwendet man erhitzte Platten, Sandbäder, Bunsenbrenner usw. (s. Abschn. 41).

12. Anlaßöfen. Abb. 29 zeigt einen Ofen zum Anlassen kleinerer Teile, besonders Werkzeuge, in Öl, Talg oder auch Salz bei niedrigen Temperaturen bis

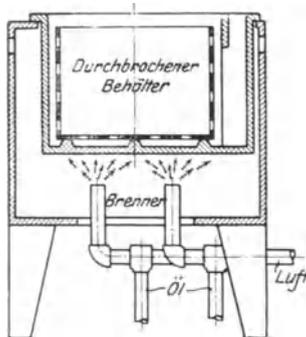


Abb. 29. Anlaßofen, rund.

wiedergibt. Es handelt sich um einen elektrisch geheizten und geregelten Luftumwälzofen. Diese Ofenart zeichnet sich aus durch ihre hohe Gleichmäßigkeit, Sauberkeit und praktische Handhabung. Ungleichmäßige und einseitige Erwärmung des Beschickungsgutes wird vollkommen vermieden, da es lediglich durch Heißluft erhitzt wird. Die im Ofen befindliche Luft wird durch einen oder mehrere Luftflügel in kreisende Bewegung versetzt, sie erwärmt sich an den erhitzten Widerständen, streicht anschließend über das Beschickungsgut, geht dann wieder zur neuen Erwärmung an die Widerstände zurück usw. Gebaut werden diese Öfen in mannigfaltigen Formen und Abmessungen und jedem Verwendungszweck angepaßt. Näheres hierüber teilen die Ofenbaufirmen¹ mit.

Die zu diesem Ofen gehörigen Temperaturmeß- und Temperaturregelgeräte ermöglichen ein einwandfreies Einhalten der Anlaßtemperatur für beliebig lange Zeiten auf $\pm 3^{\circ} \text{C}$. Ein Öl-Anlaßbad, durch die rechteckige Form besser für längliche Teile geeignet, zeigt Abb. 31. Man sieht auch den Siebkorb, der viel benutzt wird, die Teile bequem ins Bad und wieder heraus zu bringen. Größere Siebe werden mit einem Flaschenzug verbunden oder durch eine kleine Winde gehoben, kleinere Siebe richtet man wohl auch schwenkbar ein.

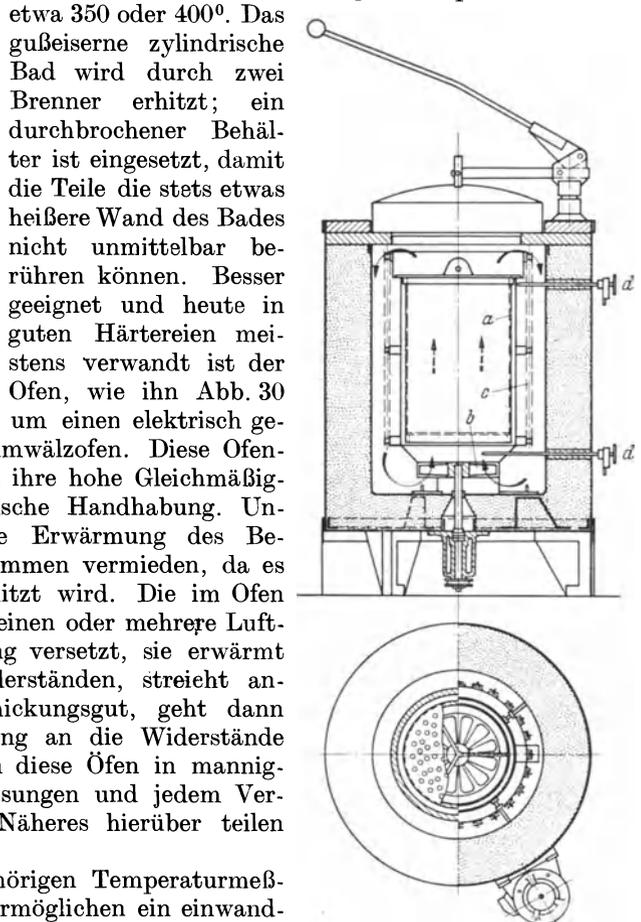


Abb. 30. Elektrischer Anlaßofen mit Luftumwälzung. (Max Uhlenhoff, Berlin.)
a = Einhängkorb; *b* = Lüfterflügel;
c = Heizdrähte; *d* = Temperaturmeß- und -regelgeräte.

¹ G. Siebert G. m. b. H., Hanau. Max Uhlenhoff, Berlin. Dr. Schmitz & Apelt, W.-Langerfeld. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin. Pharos Feuerstätten G. m. b. H., Hamburg.

13. Anlaßflüssigkeiten. a) Anlaßöle. Von den Anlaßölen muß, wie von den Abschreckölen, verlangt werden, daß sie einigermaßen rein sind, nicht übel riechen und nicht ranzig werden; dann aber ganz besonders, daß ihr Flamm- und Brennpunkt genügend höher liegt als die Temperatur, auf die sie erwärmt werden. Sonst wäre diese Temperatur überhaupt nicht oder nicht ohne Gefahr zu erreichen. Der Flamm- und Brennpunkt, das ist die Temperatur, bei der die aus den Ölen entweichenden Gase entzündbar sind, schwankt bei Mineralölen zwischen 110° bei leichten „Spindelölen“ und 320° bei schweren „Zylinderölen“; bei fetten Ölen liegt er zwischen 300° und 320° . Der Brennpunkt, das heißt die Temperatur, bei der das Öl selbst entzündbar ist, liegt bei allen Ölen $30 \cdots 50^{\circ}$ höher als ihr Flamm- und Brennpunkt.

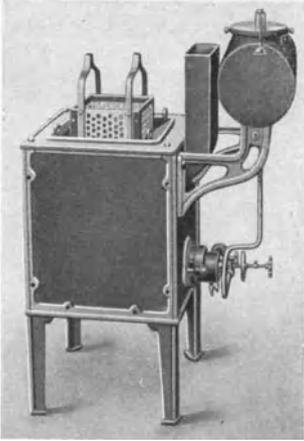


Abb. 31. Anlaß-Ölbath mit Ölfuehrung.

b) Für Temperaturen, die über 300°C liegen, werden vorteilhafter Anlaßsalze verwendet, wie z. B. das Anlaßsalz 275 (s. Tabelle 1 S. 16).

D. Mittel zur Temperaturmessung.

14. Glühfarben. Bekanntlich glühen alle Körper, die erhitzt werden, von einer bestimmten Temperatur an, erst kaum sichtbar, dunkelrot, dann, mit steigender Temperatur, immer stärker und heller bis zum leuchtenden Weiß.

Die Glühfarben treten stets in derselben Reihenfolge auf, so daß zu jeder Glühfarbe eine ganz bestimmte Temperatur gehört und man also aus der Glüh-

Tabelle 3. Glüh- und Anlaßfarben.

Glühfarben	Temperatur in $^{\circ}$	Anlaßfarbe	Temperatur in $^{\circ}$
beginnendes Rot	625	mattes Hellgelb	220
Dunkelrot	700	Hellgelb	225
beginnendes Kirschrot	800	Strohgelb	235
Kirschrot		Dunkelgelb	245
helles Kirschrot	900	Gelbbraun	255
Dunkelorange	1000	beginnendes Rotbraun	265
Hellorange	1100	Rotbraun	
Weiß	1200	Purpurrot	275
Weißglut	1300	starkes Purpur	285
blendende Weißglut	1500 \cdots 1600	dunkelblau	295
		Hellblau	310
		Grau	325

farbe auf die Temperatur schließen kann. Tabelle 3 gibt die Glühfarben mit zugehörigen Temperaturen an.

In früheren Zeiten bestimmte man die Glüh-temperatur ausschließlich nach der Glühfarbe, und es ist nicht zu leugnen, daß erfahrene und gewissenhafte Härter damit sicher und gleichmäßig arbeiten können. Die Aufgabe besteht darin, nach der Erinnerung eine bestimmte Glühfarbe

genau zu treffen. Da die Außenbeleuchtung die Beurteilung der Glühfarben beeinflusst, so hat man vielfach, um vom wechselnden Einfluß der Beleuchtung frei zu bleiben, die Härtereien in einen dunklen Raum verlegt oder die Fenster abgedunkelt. Richtiger ist es aber, ihr einen hellen nach Norden gelegenen Raum zu geben und die Fenster blau zu verglasen. So erhält man das für neuzeitliche Härtereien unentbehrliche, möglichst gleichmäßige Licht, das zugleich die Glühfarbe sehr gut erkennen läßt.

Je mehr verschiedene Stahlsorten zu behandeln sind und je genauer die Glüh-temperaturen eingehalten werden sollen, um so mehr ist es üblich geworden, dem Härter die richtige Temperatur in Celsiusgraden ($^{\circ}$) vorzuschreiben und ihm zu-

gleich in geeigneten Meßgeräten die Mittel zu geben, diese Temperatur objektiv messen zu können. Ganz unabhängig von der Glühfarbe ist man aber auch mit diesen Meßgeräten nicht: vor allem messen die meistbenutzten Geräte nur die Temperatur des das Werkstück umgebenden Raumes, und man muß meist nach der Glühfarbe bestimmen, ob das Werkstück diese Temperatur angenommen hat. Weiter benutzt eine Gruppe von Geräten die Glühfarbe selbst für ihre Messung, und schließlich dient die Glühfarbe immer als Gegenkontrolle zur Sicherheit gegen gröbliche Fehler, sei es des Geräts, sei es der Ablesung.

Der Härter soll das Meßgerät (Pyrometer) nicht als Kontrolle über sich, sondern als Helfer und Berater für sich empfinden; dann wird es den größten Nutzen bringen.

15. Meßgeräte. Für niedrige Temperaturen, wie sie beim Anlassen vorkommen, dienen Thermometer, für höhere Temperaturen die sog. Pyrometer. Es ist nicht möglich, hier auf die Konstruktion dieser Geräte näher einzugehen; die Firmen, die sie herstellen, schicken auf Wunsch Druckschriften. Die Zusammenstellung Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die in Frage kommenden Geräte mit Angabe der Höchsttemperatur und der Hersteller.

Tabelle 4. Verzeichnis der Temperatur-Meßgeräte und ihrer Hersteller.

Grundlage der Messung	Art und Bezeichnung	Ausführung	für Temperaturen bis °	Hersteller (alphabetisch geordnet)
Ausdehnung flüssiger und fester Körper	Quecksilberglasthermometer in Metallfassung	gewöhnlich	300	Eydam & Krieger, Ilmenau Arthur J. Förster, Chemnitz-Schönau
		mit Stickstofffüllung (bis 20 at)	550	
	Quecksilbermetallrohrthermometer	Quecksilber unter hohem Druck in festem oder biegsamem Metallrohr	600	Arthur J. Förster, Chemnitz-Schönau Steinle & Hartung, Quedlinburg
	Stabausdehnungsthermometer	Stab (oder Rohr) aus Stahl	800	
		Stab (oder Rohr) aus Nickelstahl oder Graphit	1100	
Thermoelektrischer Strom	Thermoelement	Elemente aus: Kupfer-Konstantan	400	Bopp & Reuther, Mannheim Hartmann & Braun, Frankfurt a. M. W. C. Heraeus, Hanau Keiser & Schmidt, Charlottenburg Pyrowerk, Hannover Siemens & Halske, Berlin
		Eisen-Konstantan	700	
		Chromnickel-Konstantan	900	
		Nickel-Chromnickel	1100	
		Platin-Platinrhodium	1500	
Thermostrom durch Strahlung	Ganzstrahlungs-pyrometer	mit Fernrohr	2000	
Glühfarben	Teilstrahlungs(optisches) Pyrometer	mit Fernrohr	1800	

Dazu ist noch zu bemerken: Die Quecksilberglastthermometer können mit Zeichengeber für bestimmte Temperatur, alle übrigen Thermometer und Pyrometer mit Selbstschreibern verbunden werden, die bei elektrischer Temperaturanzeige an beliebig entfernter Stelle aufgestellt werden können.

Thermometer und Thermoelemente messen den das Glühgut umgebenden Raum, in den sie mit ihrem wirksamen Teil hineinreichen müssen. Bei hohen Temperaturen leidet dieser Teil sehr, am meisten in Salzbadern, so daß er öfters nachgeprüft und erneuert werden muß, trotz Schutzrohr. Die Ganz- und Teilstrahlungs-pyrometer bleiben dagegen außerhalb des Ofens — man visiert durch das Fernrohr den Glühraum nur an — so daß sie durch die Hitze nicht leiden. Man kann mit ihnen wohl jede Stelle des Glühraums messen, dagegen nicht das Innere von Bädern und Kästen, wohl aber wieder die Temperatur des Werkstücks im Ofen, auch wenn sie niedriger ist als die des umgebenden Glühraums, was mit den Thermoelementen nicht möglich ist.

Beim Ganzstrahlungs-pyrometer wird nach dem Anvisieren die Temperatur an einer Skala unabhängig vom Beobachter angezeigt und kann auch aufgezeichnet werden; beim Teilstrahlungs- (optischen) Pyrometer muß der Beobachter dagegen die Leuchtfarbe eines Drahtes od. dgl. mit derjenigen der anvisierten Stelle vergleichen; erst dann kann er die Temperatur ablesen. Dafür aber kann man mit dem Teilstrahlpyrometer die Temperatur von Werkstücken auch dann messen — und mit einer Korrekturtabelle sogar genau —, wenn sie in einem offenen Feuer liegen oder ganz außerhalb des Ofens, was mit dem Ganzstrahlungs-pyrometer nicht möglich ist.

Die Segerkegel, kleine keramische Schmelzkörper, und die Sentinel-Pyrometer, kleine Schmelzkörper aus Salzgemischen, können die Temperaturen nicht mit der Verlässlichkeit angeben wie die oben besprochenen Instrumente. Sie sind auch ihrer ganzen Art nach nur für gelegentliche Kontrolle der Temperatur geeignet, nicht für ununterbrochene Überwachung.

16. Selbsttätige Temperaturregler und Haltepunktanzeiger. In Verbindung mit Thermoelementen oder dem Ganzstrahlungs-pyrometer hat man elektrische Einrichtungen geschaffen, die die Temperatur des Ofens selbsttätig regeln, indem sie beim Erreichen der eingestellten Temperatur ein Zeichen geben (Aufleuchten einer Lampe) und auch das Überschreiten der Temperatur verhindern, dadurch, daß sie die Wärmezufuhr entsprechend drosseln. In erster Linie dienen diese Einrichtungen für elektrische Öfen, können aber auch für gas- und ölgefeuerte Öfen verwendet werden. Sie können natürlich nur nach derjenigen Temperatur arbeiten, die die unmittelbar vom Pyrometer gemessene Stelle hat, können also nicht verhindern, daß andere Stellen nahe der Flamme oder die elektrischen Widerstände selbst höhere Temperatur haben. Besonders beim Anheizen ist das unvermeidlich.

Haltepunktanzeiger. Die Überwachung des Erhitzens zum Härten durch Pyrometer hat zur Voraussetzung, daß die zum Abschrecken richtige Temperatur bekannt ist, die ihrerseits durch die Gefügeumwandlung des Stahles bzw. seinen „Haltepunkt“ bestimmt wird (s. Werkstattbuch Heft 7: Gefügebau). Anders der Haltepunktschreiber: er ist für jeden, auch den unbekanntem Stahl zu gebrauchen (sofern er nicht hochlegiert ist), da er unmittelbar den Haltepunkt selbst anzeigt in Abhängigkeit von der Temperatur. Indem er dadurch auch gestattet, eine bestimmte Anzahl Grad (meist 20...30) über die Umwandlungstemperatur hinauszugehen, ermöglicht er es, die Abschrecktemperatur genau dem Werkstoff, den Abmessungen des Werkstücks und dem Verwendungszweck gemäß zu wählen. Diese Einrichtung kann aber nur in Verbindung mit dem besonders für sie konstruierten Ofen (Abb. 14 u. 15, S. 14) gebraucht werden.

17. Behelfsmäßige Mittel. Erhitzt man Werkstücke in der Einpackung im Kasten, so muß man die Übereinstimmung ihrer Temperatur mit der des Glühraums durch besondere Mittel feststellen. Das geschieht meist dadurch, daß man einige Stifte oder Haken *aa* (Abb. 32) mit einpackt, die bis zur Mitte des Kastens reichen. Zieht man nun einen Stift, so sieht man an seiner Glühfarbe, ob die Temperatur innerhalb und außerhalb des Kastens dieselbe ist. Ganz andere Hilfsmittel braucht man, wenn z. B. Teile, wie große Federn, Schraubenzieher usw., zwischen 300 und 500° in einem Glühofen angelassen werden, der selbst eine höhere Temperatur hat, damit das Anlassen nicht zu lange dauert. Es nützen weder Thermometer noch optische Pyrometer: die Thermometer nicht, weil sie doch nur die Temperatur des Glühraums anzeigen würden, die Pyrometer nicht, weil die Teile noch keine deutlichen Glühfarben haben. Man kann sich in diesem Fall helfen durch „Anreiben“ der Teile mit Stäbchen aus Linden- oder Buchenholz oder durch Aufstreuen von Holzkohlenpulver. Aus der Rauch- und Funkenbildung erkennt der Geübte die Temperatur der Teile ziemlich genau.

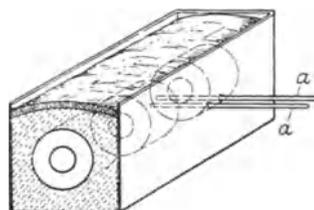


Abb. 32. Eingepackte Teile mit Kontrollstiften.

Ein anderes Mittel, die Temperatur zu bestimmen, besteht darin, daß man zum Erwärmen (Anlassen) Metallegierungen oder Salzgemische benutzt, die bei bestimmter bekannter Temperatur schmelzen. Blei-Zinn-Legierungen sind zwischen 180 und 327° geeignet, Gemische von Salzen bis herunter zu 140°.

II. Das Erhitzen.

A. Übersicht.

18. Ausglühen, Härten und Vergüten. Abgesehen vom Warmverformen durch Schmieden und Pressen erhitzt man in der verarbeitenden Industrie den Stahl entweder zum Ausglühen oder zum Härten und Vergüten. Während beim Ausglühen dem Erhitzen immer ein langsames Abkühlen folgt, wird zum Härten oder Vergüten der Stahl mehr oder weniger rasch abgekühlt (abgeschreckt), dann allerdings oft wiedererwärmt (angelassen) und meist langsam abgekühlt.

19. Gründe für die Warmbehandlung¹. Ausgeglüht werden in der Maschinenfabrik zunächst fast alle — alle größeren — Werkstücke nach dem Schmieden oder Pressen und dieselben Werkstücke oft ein zweites Mal nach dem Ausschuppen, besonders Teile wie Läufer (für Turbinen und elektrische Maschinen), Kolbenstangen, Achsen, Zahnräder, die hohe Geschwindigkeit haben oder überhaupt stark beansprucht werden. Weiter werden Teile ohne vorhergegangene bildsame Verformung (meist Abstechteile) nach der Schruppbearbeitung ausgeglüht, wenn sie gehärtet oder vergütet werden sollen und schließlich auch wohl vor der Bearbeitung, um den Stahl möglichst weich und leicht bearbeitbar zu machen (weichglühen). In allen anderen Fällen glüht man aus, um die durch die bildsame Verformung und das Schruppen im Gefüge hervorgerufenen Ungleichheiten und Verzerrungen wieder zu beseitigen und um den Werkstoff völlig zu entspannen.

Dazu kommt noch eins: Nickelstahl erhält durch Glühen erheblich bessere Festigkeitsgütwerte, besonders höhere Streckgrenze und Zähigkeit. Hat man nun größere Werkstücke aus Nickelstahl, die man aus Furcht vor Spannungen

¹ Vgl. hierzu auch Werkstattbuch Heft 75 „Baustähle“.

nicht vergüten will (wie z. B. schnellaufende Läufer), so glüht man sie zur Verbesserung ihrer Werkstoffeigenschaften nur aus.

Vergütet werden Werkstücke zur Erhöhung ihrer Festigkeit, Streckgrenze und Zähigkeit, wobei man je nach der Behandlung, besonders dem Anlassen, verschiedene Güterwerte erhalten kann. Vergütet werden vorwiegend Werkstücke aus Nickel-, Chromnickel-, Chrommolybdän- und Chrommanganstähle, da bei diesen legierten Stählen die Vergütewirkung tiefer eindringt als bei unlegiertem Stahl. Nachteilig beim Vergüten, abgesehen von den Kosten, sind die Spannungen, die mit dem raschen Abkühlen untrennbar verbunden sind.

Vergütet werden aber auch Werkstücke öfters vor der spanabhebenden Bearbeitung, um diese zu erleichtern. Tatsächlich werden viele Stähle durch das Vergüten (Abschrecken für SM-Stahl, Abschrecken und Anlassen für legierten Stahl) erheblich gleichmäßiger, besonders verschwinden harte Stellen, die Stähle schmieren weniger, sind nicht filzig usw., so daß die Zerspanung weniger Arbeitsaufwand verlangt, die Schneide länger steht und die Arbeitsfläche sauberer wird.

Gehärtet werden alle Werkstücke (vornehmlich Werkzeuge), die hohe Härte brauchen, um den Verschleiß herabzusetzen.

B. Betrieb der Öfen.

20. Auswahl des Ofens. Für große Werkstücke, meist Konstruktionsteile, werden vielfach noch Öfen mit festen Brennstoffen, besonders die „Halbgasöfen“ benutzt, obwohl die gas- und ölgefeuerten ihnen in vieler Hinsicht überlegen sind. Für lange Werkstücke, wie Wellen, Kurbelwellen, Achsen, Läufer, Geschützrohre, Flaschen, und für kurze, wenn man sie zu mehreren vereinigt, wie z. B. Zahnräder, sind die Zylinderöfen allen anderen vorzuziehen, da sie mit dem Kran außerordentlich bequem zu beschicken sind.

Für kleine und mittlere Teile, besonders Werkzeuge, werden vorwiegend die gas- oder ölgefeuerten Kammer- und Plattenöfen benutzt; Muffelöfen sind meist unnötig.

Sind ständig größere Mengen Werkzeuge zu härten, so sind Schmelzbäder unentbehrlich. Dabei werden größere und vielgestaltige Stücke wohl in dem langsamer erwärmenden Gasofen vorgewärmt und im Bad dann schnell auf die richtige Temperatur gebracht, die hier besonders leicht und genau eingehalten werden kann.

Für Schnellstahl werden zum Härten neben dem Glühofen besonders viel die Salzbadöfen benutzt, vorwiegend die elektrische geheizten. Seit es gelungen ist (s. auch Abschn. 23), die oberflächliche Entkohlung so gut wie völlig in ihnen zu verhindern, sind sie zweifellos besonders für Massenfertigung ausgezeichnet. Allerdings sind ihre Betriebskosten sehr hoch, weshalb doch wohl oft der Glühofen vorgezogen wird. Es wird auch wohl geltend gemacht, daß Schneidwerkzeuge in ihm härter würden als im Salzbad, doch trifft das wohl kaum zu, wenn das Bad nicht entkohlt, und ob der stärkere Temperaturabfall des Glühofens beim Einbringen der Werkstücke ein Vorteil ist, ist noch nicht erwiesen.

Jedenfalls muß für das Salzbad das Werkstück vorgewärmt werden, weshalb man viel die Verbundöfen nach Abschn. 8 S. 17 benutzt.

21. Temperatur des Erhitzens. Will man das Werkstück nur entspannen, so genügen für alle Stähle Temperaturen zwischen 600 und 700°, ja man bleibt sogar auch unter 600°. Will man dagegen weichglühen oder härten, so benutzt man die Temperaturen der Tabelle 5.

Zum Härten, besonders von unlegiertem und niedriglegiertem Werkzeugstahl, muß sich die Glühtemperatur genau nach der Stahlsorte (dem Kohlenstoffgehalt)

richten, doch erwärmt man dicke Stücke von derselben Sorte wohl ein wenig höher als dünnere, damit sie besser durchhärten.

Tabelle 5. Glüh- und Härtetemperaturen.

	Kohlenstoff %	Glühtemperatur °	Härtetemperatur °
Baustahl unlegiert	~0,25	700...720 ¹	870...900
	~0,35		830...860
	~0,45		800...830
	~0,6		790...820
Werkzeugstahl unlegiert	~0,7	680...720 ²	780...810
	~0,85		760...790
	~1		750...780
	über 1		740...770
Nickel- und Chromnickel- Vergütungsstahl	0,25...0,4 (bis 5 Ni, bis 1 Cr)	600...650 ¹	780...850
Werkzeugstahl legiert	Wolfram- und Chromwolframstahl	700...740 ²	780...1100 ³
	Chromstahl	700...800 ³	760...1000 ³
	Schnellstahl	800...850 ²	1100...1350

Als allgemeiner Grundsatz sollte gelten: Für Kohlenstoffstahl die niedrigste Temperatur wählen, bei der gerade noch die richtige Glashärte erzielt wird, für Schnellstahl dagegen die höchste Temperatur, bei der der Stahl noch nicht überhitzt wird.

Für jede Stahlsorte wird die günstigste Härtetemperatur von den Stahlwerken angegeben, doch wird sie manchmal genauer noch, besonders für Schnellstähle, von jeder guten Härterei für sich bestimmt. Nur an Ort und Stelle kann die Wärmebehandlung der Werkzeuge aus Schnellstahl dem gegebenen Verwendungszweck angepaßt werden. Es ist wichtig, streng auseinanderzuhalten, ob die Beanspruchung der Werkzeugschneide rein thermischer oder mechanischer Art ist. Bei thermischer Beanspruchung (große Spanquerschnitte ohne Kühlung) ist hohe Aushärtung, d. h. Härtung bei höchster Temperatur und wieder hohem Anlassen bei 580...590° C unerlässlich zur Höchstausnutzung der Stähle. Für ausgesprochene mechanische Beanspruchung (kleine Spanabnahme bei guter Kühlung) wird sehr oft bei Temperaturen von 1100...1200° C gehärtet und nur bei 200...260° C entspannt (Schneideisen, hinterdrehte Gewindefräser, Profilfräser usw.).

Ist die Härtetemperatur bei Kohlenstoffstahl auch nicht ungefähr bekannt, und besitzt man keinen Haltepunktofen, so kann man sich in folgender Weise helfen: man schneidet von der Stange einige schmale Stückchen ab, kerbt sie ein und härtet sie bei Temperaturen zwischen 750° und 850°, die immer um etwa 10° auseinander liegen. Die günstigste Temperatur erkennt man dann entweder am feinsten Bruch, wenn man die Stückchen auseinanderschlägt oder an der höchsten Härte, wenn man sie am Skleroskop oder nach Rockwell „C“ prüft.

Bei unlegiertem und niedriglegiertem Stahl soll man die Härtungstemperatur (Umwandlungstemperatur) am „Abschütten“ des Stahls erkennen können, d. i. an dem Erscheinen kleiner heller leuchtender Bläschen auf der Oberfläche.

¹ Oft, besonders nach dem Schmieden, werden die gleichen Temperaturen wie zum Härten genommen.

² Nur zum Entspannen nach Kaltverformung genügen um etwa 50° niedrigere Temperaturen.

³ Je nach der Zusammensetzung (vgl. Heft 7).

Ein anderes Mittel für Stahl über 0,9% Kohlenstoff ist, festzustellen, wann der Stahl unmagnetisch wird; denn fast genau mit dem Erreichen der günstigsten Härtetemperatur hört der Magnetismus auf. Nimmt man also während des Erwärmens den Stahl ab und zu aus dem Ofen und führt ihn an einer Magnetonadel vorbei, so ist die richtige Härtetemperatur dann erreicht, wenn die Nadel nicht mehr abgelenkt wird.

Für Schnellstahl liegt die Sache nicht so einfach. Auch hier gibt die Härte nach dem Abschrecken wohl einen Anhalt, aber sie ist für die Schneidhaltigkeit nicht so bestimmend wie bei gewöhnlichem Werkzeugstahl. Nach der chemischen Zusammensetzung, wenn sie bekannt ist, wird der erfahrene Härter ungefähr die günstigste Härtetemperatur bestimmen können, das beste Mittel sie zu finden ist es aber, Drehstähle, Hobelstähle oder andere Werkzeuge bei verschiedenen Temperaturen zu härten und festzustellen, wann die Schneiden unter sonst gleichen Bedingungen am längsten arbeiten. Derartige Versuche sind übrigens auch für Kohlenstoffstähle sehr wertvoll.

Verkehrt und schädlich ist es in allen Fällen, erst höher als nötig zu erwärmen und dann bis zur richtigen Temperatur abkühlen zu lassen und abzuschrecken. Das gibt stets weniger feines Korn und geringere Zähigkeit, da beide von der höchst erreichten Temperatur bestimmt werden. Richtiger ist es in solchem Fall, erst langsam abkühlen zu lassen bis auf höchstens einige hundert Grad und dann nochmals zu erhitzen, genau bis zur richtigen Temperatur.

Sehr zu beachten ist bei der Wärmebehandlung der in neuester Zeit entwickelten Sparstoffstähle, daß die von den Stahlwerken angegebenen Härtetemperaturen streng und mit äußerster Sorgfalt eingehalten werden. Infolge der Absenkung der Legierungsbestandteile, insbesondere des Wolframgehaltes bei Schnell- und Warmpreßstählen, liegt die Härtetemperatur, da dieselben gegen Überhitzung empfindlicher sind, etwa 50·100° C tiefer als bei den Stählen alter Zusammensetzung. Die Haltezeiten (Durchziehzeit) auf der Härtetemperatur sind nur so kurz zu bemessen, wie unbedingt für die durchgreifende Erwärmung erforderlich.

Bei Nichtbeachtung dieser neuen Erkenntnisse muß infolge Grobkornbildung mit ungleichmäßiger Härte und Minderleistung der Werkzeuge gerechnet werden.

22. Besondere Rücksicht auf Werkzeugstahl. Legierter wie unlegierter Werkzeugstahl, überhaupt empfindlicher Stahl, verlangt besondere Vorsicht: vor allem ist beim Erhitzen zum Abschrecken jede Überhitzung zu vermeiden, die immer dann leicht vorkommt, wenn der Ofen (Glühofen) heiß gehalten wird als die vorgeschriebene Glühtemperatur. Dann werden besonders dünne und vorspringende Teile der Werkstücke leicht zu heiß. Aber auch sonst ist eine stellenweise Überhitzung nicht ausgeschlossen: so ist beim Plattenglühofen die Herdplatte immer heißer als der freie Raum, und im Salz- und Bleibad, die besonders gleichmäßig erhitzen, ist die Tiegelwand heißer als das Bad. Ja sogar im elektrisch geheizten und regulierten Glühofen können sich erhebliche Temperaturunterschiede einstellen: wird in den heißen Ofen eine verhältnismäßig große Masse Stahl gebracht, so sinkt die Temperatur erheblich, und die Widerstände fangen mächtig an zu arbeiten und werden sehr viel heißer als die eingestellte Temperatur, bis diese wieder überall erreicht ist.

Aber auch bei ganz gleichmäßiger Ofentemperatur können dünne Stellen, Kanten u. dgl. geschädigt werden, nämlich dadurch, daß sie zu schnell und zu lange der höchsten Temperatur ausgesetzt werden. Mit dem Erreichen der Härtetemperatur (Umwandlung) wächst das Kristallkorn, auch bei strengem Einhalten der Härtetemperatur, stetig. Durch diese Grobkornbildung wird die Sprödigkeit

stark erhöht und Härteausfall bzw. starke Leistungsverminderung ist unausbleiblich. Viele Mißerfolge in der Praxis dürften auf diesen Umstand zurückzuführen sein und nicht auf Überhitzung, wie sehr oft aus dem abgestandenen Bruchgefüge mit Unrecht geschlossen wird. Zu empfehlen ist ferner für manche Werkstücke, besonders wieder für Schnellstahl, das Werkstück aus dem erhitzenden Bad einige Male kurz herauszuziehen. Dabei kühlen sich dünne und vorspringende Teile, die sich am ehesten erwärmen, auch am schnellsten ab, so daß es auf diese Weise gelingt, eine ziemlich gleichmäßig nach innen voranschreitende Temperatur zu erzielen. Beim Erhitzen im offenen Feuer ist es dabei gut, das Werkstück jedesmal zu wenden.

Werkstücke, die nur an einem Ende gehärtet werden sollen, lassen sich in Flüssigkeitsbädern besonders gut erhitzen. Man muß aber durch leichtes Auf- und Abbewegen dafür sorgen, daß ein allmählicher Übergang zwischen erhitztem und nichterhitztem Teil geschaffen wird, da eine scharfe Grenze Veranlassung zu starken Spannungen und Rissen gibt.

Lange Werkzeuge, besonders wenn sie dünn oder flach sind, sollen im Ofen hängen oder doch so liegen, daß sie sich nicht verbiegen können. Dabei ist zu bedenken, daß die Herdplatten der Glühöfen selbst nicht gerade sind, sondern sich in der Hitze geworfen haben. Ein Verbiegen der Werkzeuge tritt um so leichter ein, je höher sie erhitzt werden, weil die Warmfestigkeit des Stahls mit wachsender Temperatur stark abnimmt.

Beim Schmiedefeuer ist Steinkohle wegen ihres oft nicht unbedeutenden Gehalts an Schwefel zu vermeiden, besser Koks oder Holzkohle zu benutzen; auch soll man die Werkstücke nicht in den frisch aufgegebenen Brennstoff geben, sondern ihn erst ausflammen lassen.

Die wichtigsten Vorsichtsmaßnahmen betreffen jedoch die Verhütung einer Beschädigung der Oberfläche durch chemische Veränderung; sie sollen daher im folgenden Abschnitt besonders behandelt werden.

23. Maßnahmen zur Verhütung von Glühspan (Verzunderung) und Eisenhaut (Entkohlung). Über die chemische Veränderung der Stahloberfläche beim Glühen ist im Werkstattbuch Heft 7 grundsätzlich gesprochen. Im allgemeinen wächst die Einwirkung mit der Höhe der Glüh Temperatur und der Länge der Glühzeit, doch ist sie auch sehr stark von der Art des Stahles abhängig; gewisse legierte Stähle sind ungemein widerstandsfähig. Eine dünne entkohlte Schicht schadet dann nicht, wenn die Flächen, auf deren Härte und Genauigkeit es ankommt, nach dem Härten geschliffen werden. Das ist der Fall bei sehr vielen Schneidwerkzeugen (wie Schneidstähle, Spiralbohrer, Senker, manche Gewindebohrer, feingezahnte und auch einige hinterdrehte Fräser), bei fast allen Lehren, bei Kugeln, Lauf ringen u. dgl. Dagegen muß ein Entkohlen durchaus vermieden werden bei Werkzeugen, die nur an der Span- (Brust-) Fläche geschliffen werden können, wie vielgestaltige Schnitte, die meisten hinterdrehten Fräser, Formstähle, viele Gewindebohrer, Schneideisen usw. Denn die entkohlte Schicht wird nicht ordentlich hart und nutzt sich infolgedessen schnell ab, oder die Schneide legt sich um und reißt oder drückt.

Kammer- und Plattenglühöfen. In der Atmosphäre des Glühr aums fehlen kaum jemals Gase, die auf die Stahloberfläche einwirken: In erster Linie der Sauerstoff der Verbrennungsgase und der Luft, der zündert und entkohlt, dann aber auch der Wasserstoff, der entkohlt (nicht zündert) und auch der Stickstoff, der härter, aber auch spröder machen kann. Auch Schwefel kann vorkommen. Einschränkung kann man die Menge der wirksamen Gase durch eine „reduzierende Atmosphäre“ (s. Abschn. 2). Es bildet sich dann neben Kohlensäure auch Kohlenoxyd, das die Neigung hat, Sauerstoff an sich zu reißen (den Stahl zu reduzieren).

Aber abgesehen davon, daß solche Atmosphäre nicht immer leicht und nur durch höheren Brennstoffaufwand herzustellen ist, schützt sie den Stahl auch nicht vollkommen: einmal kann doch durch Zersetzung von Kohlensäure und Wasserdampf leicht Sauerstoff entstehen, sodann bildet sich unvermeidlich feuchter Wasserstoff, der bei höheren Temperaturen den Stahl entkohlen kann.

Sicherer, aber auch umständlicher ist das Einpacken: man umgibt das Glühgut in einem Kasten, Rohr od. dgl. mit einem neutralen Stoff und verschließt den Deckel luftdicht mit Lehm. Die Schwierigkeit liegt darin, einen Stoff zu finden, der auch bei höheren Temperaturen wirklich neutral bleibt und auch sonst (Preis!) geeignet ist. Reine Holzkohle eignet sich nicht, da sie entweder aufkohlt oder entkohlt, je nach der Temperatur, nach ihrer Zusammensetzung und dem C-Gehalt des Stahls. Es empfiehlt sich zum Glühen, das Glühgut in möglichst luftdicht geschlossene Kästen oder Rohre einzupacken, unter Zugabe von einigen Stücken Holzkohle oder trockenem Buchenholzes, wodurch der mit eingeschlossene Luftsauerstoff verbrannt wird. Ein recht gutes Schutzmittel, z. B. zum Ausglühen von Schnellstahl (780···820°), sind auch saubere Graugußspäne. Mit Erfolg wird zum Härten von Schnellstahl selbst bis zu Temperaturen von 1200···1250° C feiner durchgesiebter, gut ausgebrannter Koksgrieß verwendet. Es empfiehlt sich aber, um ein Anbrennen einzelner Stückchen Koksgrieß mit Sicherheit zu vermeiden, die Zahnflächen der Fräser oder Bohrer mit dünnem Asbestpapier zu umwickeln. Mit gleichem Erfolg wird Papier verwendet, das vorher mit Öl getränkt wurde. Die Einführung eines Kontrollstiftes, wie in Abb. 32 gezeigt, sollte aber nicht unterlassen werden.

Das Einpacken hat noch den Vorteil, daß das Glühgut gleichmäßig erhitzt wird, während als Nachteil die höheren Kosten sowohl durch Kasten und Einpackstoff als auch durch den höheren Wärmeverbrauch und Lohn zu nennen sind.

Die Kästen aus Stahl (aus Blech gezogen oder geschweißt besser als Guß) verzundern bald, so daß man sie vielfach aus feuerfesteren Stoffen herstellt: alitierter Stahl, Chrom- bzw. Chromnickelstahl, Chromnickel usw., doch gilt wegen der höheren Anschaffungskosten das in Abschn. 7 über die Tiegel Gesagte.

In Muffel- und elektrischen Glühöfen sind die Werkzeuge naturgemäß am stärksten der Verzunderung ausgesetzt, weil ausschließlich Luft im Ofenraum vorhanden ist und jegliche schützende Gasatmosphäre fehlt. Bei hoher Anforderung an die Oberflächenbeschaffenheit sind daher Schutzmaßnahmen, wie Einpacken oder Zuführung von Schutzgasen, unerlässlich.

Bei waagerechtem Glühraum sucht man die Einwirkung der Luft wohl dadurch abzuschwächen, daß man innen vor die Tür größere Stücke Holzkohle legt, durch die die eintretende Luft hindurchstreichen muß. Auch hilft man sich mit teilweisem Erfolg durch Einführen einer Leuchtgasflamme, noch besser durch Anbringen eines Gasschleiers vor der Ofentür. Zweifellos kann man so den Hauptteil des eintretenden Sauerstoffs zu Kohlensäure verbrennen, jedoch nicht eine Ofenatmosphäre schaffen, die zuverlässig und unter allen Umständen neutral ist.

Schmelzbäder sind am günstigsten. Oxyde im Bleibad oder Sauerstoff in manchen Salzbadern oder Verunreinigungen (Schwefel) oder Schmutz können die Stahloberfläche beschädigen. Es sind die Salze daher von vornherein rein zu beziehen und im Gebrauch möglichst rein zu halten. Für Temperaturen bis etwa 900 oder 1000° schützen durchaus zuverlässig gewisse Salzmischungen¹, die den Stahl eher etwas aufkohlen als entkohlen, wenn sie ihm auch — bei der niedrigen

¹ Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt (Degussa), Abteilung Durferrit Glüh- und Härtetechnik, Frankfurt a. M.

Glühtemperatur und kurzen Glühzeit — meist keine nennenswerten Mengen C zuführen, höchstens leicht entkohlte Stellen wieder beseitigen.

Schnellstahl auf 1200···1280° ohne Entkohlen zu erwärmen, ist allein das Chlorbariumbad imstande, weshalb es immer dann unentbehrlich ist, wenn man Schnellstahlwerkzeuge von höchster Leistungsfähigkeit (Anlaßhärte) braucht, die hinterher an den wirksamen Flächen nicht überall geschliffen werden können, wie besonders hinterdrehte Fräser und Formstähle. Für die unmittelbar elektrisch erhitzten Salzbaden sind Zusätze von Borax oder Ferrosilizium zu geben; für Salzbaden im Graphittiegel hat sich auch bewährt, die Werkzeuge vorher in geschmolzenem Borax zu wälzen, noch mit fein gemahlenem Borax einzupudern, sie dann in einem Blechkasten in einem Glühofen vorzuwärmen und dann erst ins Salzbad zu bringen. Das ist natürlich nur für Einzelfertigung durchführbar, für Massenfertigung zu umständlich.

Andere Maßnahmen: Statt das Werkstück ganz einzupacken, kann man auch nur den wichtigsten Teil schützen. So zeigt Abb. 33, wie ein schweres Gesenk mit dem oberen Teil, der „Schwalbe“, aus der Einpackung heraussteht. Hierbei ist aber zu beachten, um ein Werfen des Gesenkes zu vermeiden, daß dasselbe vorher ohne Packung mit dem Fuß nach unten auf 550···600° C vorgewärmt wird und dann erst, wie Abb. 33 zeigt, eingepackt wird. Bei Unterlassung dieser Vorwärmung ist ein Verziehen in den meisten Fällen unvermeidlich, da durch die freie Anstrahlung des Fußes und hierdurch bedingte Voreilung der Temperatur dieser sich früher ausdehnt als die geschützte Gravur und sich infolgedessen verzieht. Auch begnügt man sich wohl damit, die Fläche mit der „Figur“ nach oben zu legen, sie mit Holzkohlenlöschke zu bedecken und eine Eisenplatte darüber zu legen. — Auch ganz andere Mittel werden gebraucht:

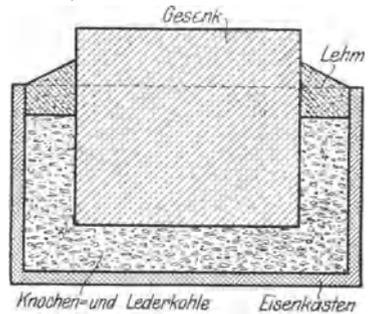


Abb. 33. Teilweise eingepacktes Gesenk.

Teile aus gewöhnlichem Werkzeugstahl, wie z. B. Feilen, wenn man sie unmittelbar im Kohlen- oder Koksfeuer erhitzt, schützt man wohl durch einen Überzug von Hufmehl mit Salz oder 1 Teil Lederkohlenpulver mit je 2 Teilen Mehl und Kochsalz, alles mit Wasser zu einem Brei angerührt. Im Gas- oder Öfen usw. kann man die Entkohlung auch verhindern, wenn man die Teile mit Borsäure bestreicht und sie dann gut trocknen läßt. Sicherer noch ist es, die Teile 2···3mal mit einem Überzug aus Lehm und gepulvertem Borax zu versehen, den man jedesmal an der Luft trocknen läßt; oder man bestreicht die Teile mit einer Schutzpaste aus in Öl geschmolzenem Wachs, vermischt mit etwas gelbem Blutlaugensalz. Gravierte Schriftplatten werden mit einem Brei aus Zyankali und Petroleum bedeckt.

Alle diese Überzüge schützen die Teile nicht nur vor Zunderung während des Erhitzens, sondern auch in dem Augenblick, wo sie rotglühend vom Ofen ins Abschreckbad gebracht werden. Man kann daher auch mit ihrer Hilfe eine reine, blanke Oberfläche am Werkstück erzielen (blankhärten). Die dicken Überzüge verhüten auch, daß in einem Ofen, der heißer ist, als das Werkstück werden darf, vorstehende Kanten, Ecken und dünne Querschnitte leicht überhitzt werden.

Viel einfacher und mindestens ebenso sicher sind aber die obenerwähnten Sondersalzbaden.

Beim Erhitzen in Blei ist das Hängenbleiben von kleinen Klümpchen, besonders in einspringenden Flächen wie Gewinden, lästig. Es kann bis zu einem gewissen Grade dadurch vermieden werden, daß man die Teile vorher in eine starke Salzlösung oder in eine Lösung von 1 Teil Zyankali und 10 Teilen kalten Wassers taucht und dann vor dem Erwärmen trocknen läßt. Hat man dauernd große Mengen zu härten, so ist diese Vorbehandlung zu umständlich. Man erreicht auch fast das gleiche, wenn man das Blei sehr rein und seine Oberfläche stets mit den bereits früher erwähnten Mitteln bedeckt hält. Was sich an Blei dann noch ansetzt, wird später am einfachsten durch mechanische Mittel beseitigt.

Bei Teilen mit feinen Zähnen, wie z. B. gewissen Feilen, ist es allerdings nötig, die Beseitigung vor dem Abkühlen vorzunehmen, etwa durch schnelles Überbürsten, weil sonst die Stellen, an denen Blei hängt, nicht ordentlich hart würden.

24. Glühdauer. Gefüge und Eigenschaften sollen grundsätzlich durch richtige Glüh Temperatur bestimmt werden, während die Glühdauer meist nicht länger sein soll, als bis das Stück völlig durchgewärmt ist. Sieht man also von der Art des Ofens ab (Glühofen oder Schmelzbad), so hängt demnach die Glühdauer in der Hauptsache von der Masse und der Form des Werkstücks ab: je massiger die Stücke, je geringer ihre Oberfläche im Verhältnis zum Inhalt, um so länger die Zeit.

Zum Ausglühen wird es oft kaum schaden, wenn man die Glühdauer über die völlige Durchwärmung hinaus verlängert, ja manche Stähle, wie z. B. Schnellstähle, verlangen das: je nach der Dicke des Stücks hält man die Temperatur 1...3 Stunden. Hingegen soll zum Härten die Glühzeit so kurz wie möglich sein, da jede unnötige Verlängerung sich in weniger feinem Gefüge bzw. geringerer Härte oder Zähigkeit auswirkt.

Bei Reihen- und Massenfertigung ist es möglich, die Zeit erfahrungsgemäß genau anzugeben, und es wird in geeigneten Fällen sich in Zukunft immer mehr einbürgern, die Zeit mit der Uhr genau zu kontrollieren.

Am schnellsten erwärmen Flüssigkeitsbäder, weshalb man sie auch nie heißer hält, als die Werkstücke werden sollen (was man allerdings für empfindlichen Stahl auch bei Glühöfen nicht tut). In Abb. 34 ist die Zeit dargestellt, die nötig ist, um Werkstücke von verschiedenem Durchmesser im Salzbad völlig durchzuwärmen von 20° bis zur Badtemperatur, die mit 800, 900 und 1000° angenommen ist. Danach braucht z. B. ein Werkstück von 50 mm Durchmesser zum Erwärmen auf 800° etwa 4 min, auf 900° etwa 4,7 min, auf 1000° etwa 6 min.

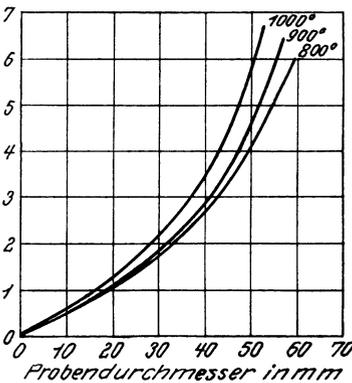


Abb. 34. Zeit zum Durchwärmen (min).

C. Mittel zum Halten und Befördern.

25. Mittel für Einzelbehandlung. Sehr wichtig ist, daß in der Härterei einwandfreie Greifwerkzeuge, wie Zangen und Haken, in ausreichender Art und Anzahl zur Verfügung stehen. Unsachgemäßes Anfassen oder sogar Lösen der Werkzeuge während des Abschreckprozesses haben schon sehr oft zu Ausschuß geführt.

Von den vielen Formen von Zangen, die jede Härterei für kleine und mittlere Teile nötig hat, zeigt Abb. 35 drei Stück: a) für runde Teile verschiedener Größe, b) mit abgebogenem Schenkel (bis zu 90°) für senkrecht zu haltende Teile, c) mit

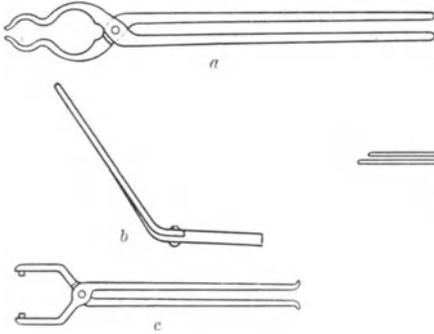


Abb. 35. Härtezangen.

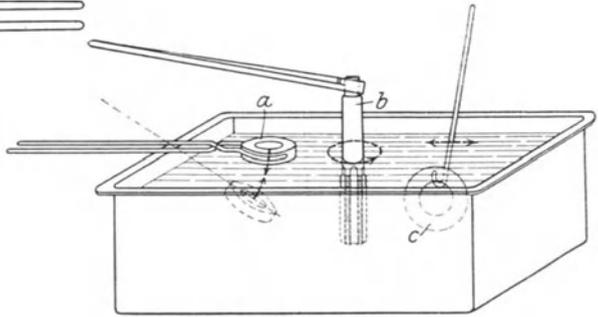


Abb. 36. Werkzeuge beim Abkühlen.

den kleinen Zapfen, um möglichst kleine Stellen des Werkstücks zu berühren. Doch vermeidet man es fast immer, Werkstücke dort mit der Zange zu fassen, wo sie hart werden sollen. Möglichst faßt man nur Flächen, die gar nicht oder

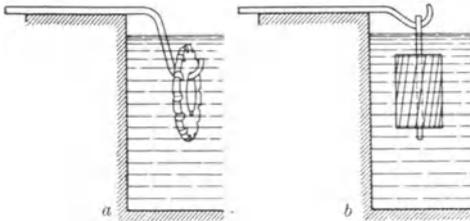


Abb. 37. Härten von Fräsern.

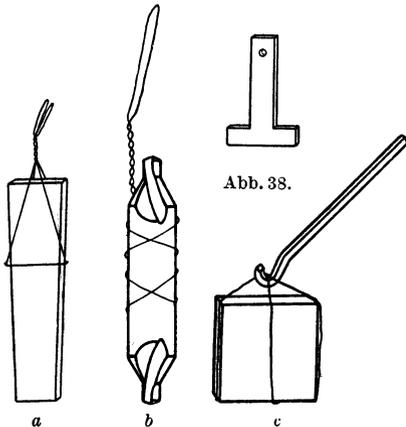


Abb. 38.

Abb. 39. Werkzeuge, vorbereitet zum Härten.



Abb. 40. Gesenkblock in Scherenzange.

doch nicht in erster Linie hart werden sollen, z. B. die Außenfläche von Kaliberringen, Zieheisen, Schneideisen u. dgl. (Abb. 36a), den Schaft von Schaftwerkzeugen, überhaupt das eine Ende der Teile, wenn nur das andere abgeschreckt werden soll (Abb. 36b).

Umgekehrt dienen Haken für hohle Werkstücke, wie Fräser, Senker, Ringe, die vorwiegend außen hart werden sollen (Abb.

36c und 37a), wobei man für längere Stücke zweckmäßig einen Steg (Abb. 38 u. 37b) zwischenschaltet.

Kleine Stücke ohne Bohrung, die an der ganzen Oberfläche möglichst gleichmäßig hart werden sollen, nimmt man am besten an Drähte, die man mit Zange oder Haken faßt. Abb. 39 zeigt mehrere derartig vorgerichtete Teile.

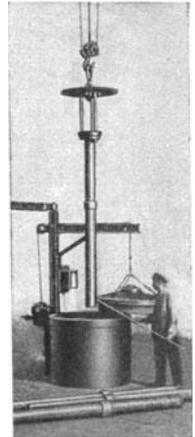


Abb. 41. Geschützrohr zum Erhitzen in elektrischem Tief-ofen. (Elektroofen G. m. b. H., Köln.)

Große Stücke werden mit der Laufkatze oder dem Kran in den Ofen wie in das Abschreckbad gebracht. Zum Fassen der Werkstücke dienen Zangen oder einfache, der Werkstückform angepaßte Halter (Abb. 40 u. 41). Die großen waagerechten Öfen haben ausfahrbaren Herd bzw. Beschickungswagen.

26. Mittel für Reihenbehandlung. Um die Arbeitszeit zu verkürzen, die Kosten zu verringern, erwärmt man im Ofen, besonders im Glühofen, meist mehrere, auch ganz ungleichartige Teile zugleich. Müssen die Teile einzeln abgekühlt werden, wie

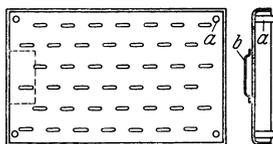


Abb. 42. Aufnahmeblock.
a = Aufлагestifte; b = Flach-eisen zum Befördern.

z. B. empfindliche Werkzeuge, so holt man sie auch einzeln aus dem Ofen. Dagegen werden andere Teile, besonders gleichartige, die zu mehreren erwärmt werden, zweckmäßig auch zusammen abgekühlt. Das ist meist mit recht einfachen Mitteln möglich. Aber auch weniger einfache Mittel, bis zu den stetig und selbsttätig arbeitenden (s. Abschn. 27 u. f.), machen sich immer dann bezahlt, wenn sie der Art und Menge des Glühguts richtig angepaßt sind.

Einfache kleine Teile, wie Rollen, Kettenbolzen, Laschen, Geschoßkerne, Federn, Schrauben, Backen, Zentrierbohrer werden in großen Mengen auf einem durchlochtem, aufgebogenen Blech (Abb. 42) oder in einer gegossenen Schale erhitzt

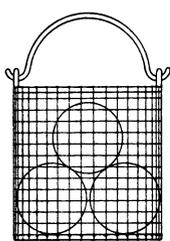


Abb. 43. Siebkorb mit Kugeln.

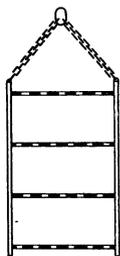


Abb. 44. Gestell mit Siebblechen.

und dann kopfüber ins Wasser gestürzt. Man kann auch mehrere Bleche übereinanderstellen, indem man in die Ecken je einen Stift bohrt (a Abb. 42) und darauf das obere Blech aufruhlen läßt.

Zum Erhitzen in Bädern legt man die Teile in Siebkörbe (Abb. 43) oder, besonders für senkrechte Glühöfen, auf übereinander angeordnete Siebbleche (Abb. 44).

Ringe für Wälzlager u. dgl. kann man einfach mit einem Draht zu 10, 20 oder mehr bündeln und so auf der Herdplatte oder, an einem Haken gehalten, im Bad erhitzen und auch zusammen abkühlen.

Für Teile, die zu mehreren, doch jeder in bestimmter Lage bzw. Richtung, gehalten werden sollen, dienen Halter wie in Abb. 45...48. Abb. 45 ist ein vierfacher Haken zum Halten von vier mit Drähten versehenen Werkzeugen, Abb. 46

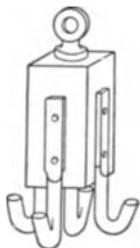


Abb. 45.

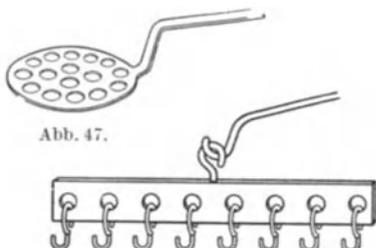


Abb. 47.

Abb. 46.

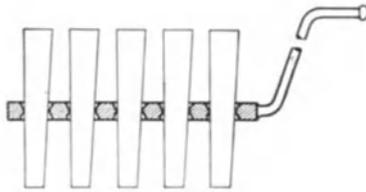


Abb. 48.

Abb. 45...48. Mehrfachhalter.

ein achtfacher Halter für Ringe, Scheiben od. dgl., Abb. 47 ein Halter zum Härten oder Ausglühen der Mitnehmerflächen von 16 Spiralbohrern, Schaftfräsern oder ähnlichen Werkzeugen, die mit ihrem Schaft durch die Löcher gesteckt werden. Abb. 48 ist ein Vielfachhalter für Messer (bemerkenswert die schmale Anlagefläche infolge der dachförmigen Abschrägung).

Eine Einrichtung, mit der man nicht nur eine Reihe von gleichen Werkstücken halten kann, sondern die den Halter auch gleich zu den Öfen und zum Abkühlbad befördert, zeigt Abb. 49. Sie ist besonders für Blei- und Salzbäder mit Schutzhaube konstruiert, da sie zum Herankommen an das Bad einen langen Halter besitzt. Sie besteht aus einer Tragkonstruktion und diesem Halter. Die Tragkonstruktion wird von einer Laufkatze, die sich an einem Träger entlang bewegen kann, und einem dreh- und schwenkbaren Arm gebildet. Der Halter, der sich nach der Form und Größe der Werkstücke richtet, wird in den Arm eingehakt. Sind mehrere Halter da, kann die Tragkonstruktion sie nacheinander schnell zum Vorwärmeofen, zum Hauptbad, zum Abkühlen bringen, und sie kann auch leicht mehrere Öfen in einer Reihe parallel zum Träger bedienen.

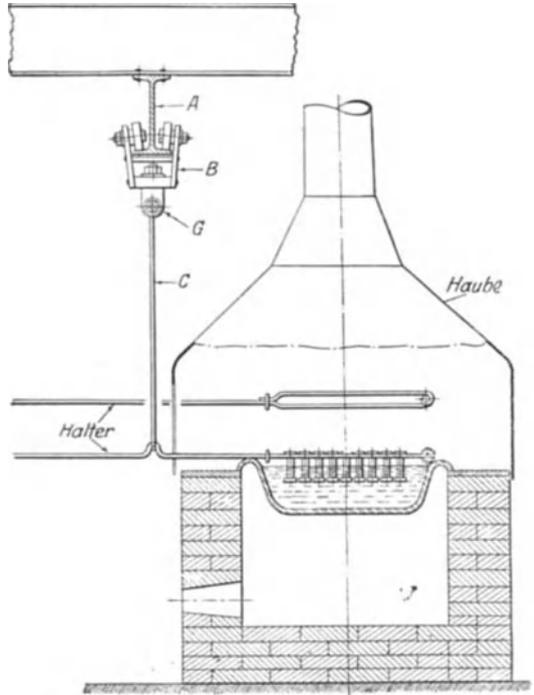


Abb. 49. Beförderungseinrichtung für Badöfen. A = Träger; B = Laufkatze; C = Schwenkarm; G = Gelenk.

Der Halter in Abb. 49 dient zur Aufnahme von 9 Bolzen mit Köpfen, während Abb. 50 einen Halter für winkelförmige, Abb. 51 einen für U-förmige Teile zeigt.

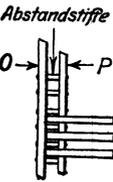
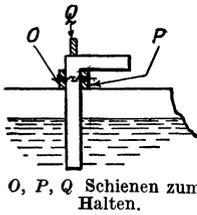


Abb. 50.

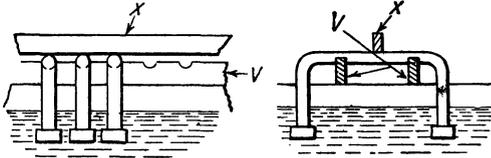


Abb. 51. V, X = Schienen zum Halten.

Abb. 50...51. Halter für Einrichtung Abb. 49.

Abb. 52...55 zeigen Aufnahmen für große Werkstücke zum Erhitzen im Zylinderofen (und zum nachfolgenden Abkühlen). In allen Fällen endet die Tragkonstruktion oben in einer Öse für den Kranhaken. In Abb. 52 stehen 12 Stahlflaschen auf der schweren quadratischen Grundplatte, die an dem senkrechten Tragbalken befestigt ist.

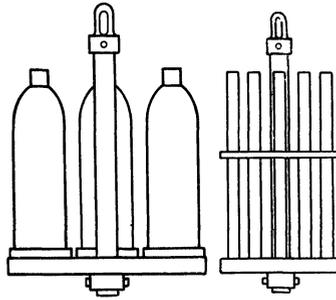


Abb. 52.

Abb. 53.

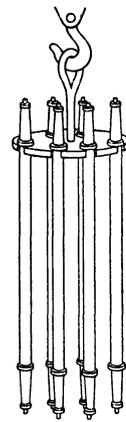


Abb. 54.



Abb. 55.

Abb. 52...55. Einrichtungen zur Warmbehandlung mehrerer Werkstücke zugleich.

Die 8 Achsen in Abb. 53 stehen gleichfalls auf der Grundplatte auf, werden aber weiter oben noch durch eine starke Platte gehalten. In Abb. 54 hängen 6 Achsen an einer Platte, während in Abb. 55 5 Zahnräder von einem Bolzen getragen werden. Entsprechende Konstruktionen können auch für kleine Teile, wie Spindeln, Bohrer usw., benutzt werden.

D. Öfen für fließende Fertigung (Fließöfen).

27. Bedeutung der fließenden Fertigung. Wie in den mechanischen Werkstätten, so sucht man auch bei Massenfertigung in der Glüherei und Härtereie durch Fließarbeit die Güte und Gleichmäßigkeit des Erzeugnisses zu erhöhen, die Gesteungskosten zu verringern. Trotz der großen Schwierigkeiten, die eine Behandlung bei hohen Temperaturen der Fließarbeit entgegenstellt, ist es gelungen, Einrichtungen zu schaffen, die wirtschaftlich arbeiten: ausglühen, erhitzen und abschrecken und auch anlassen. Voraussetzung ist immer: gleichmäßiges Glühgut in stets genügender Menge.

28. Konstruktions- und Betriebsbedingungen der Fließöfen. Die Schwierigkeiten, mit denen die Fließöfen zu kämpfen haben, rühren daher, daß die Mittel, die das Glühgut durch den Ofen befördern (Ketten, Bänder, Seile, Rollen, Wagen, Klötze auf Schienen) immer selbst durch den Ofen wandern und der Hitze und den Verbrennungsgasen ausgesetzt sind; selten, daß das Glühgut durch Eigengewicht, von außen oder durch Schüttelbewegung des Ofens, bewegt werden kann. Gutes Arbeiten des Ofens und ausreichende Lebensdauer hängen daher in erster Linie von der Konstruktion und dem Werkstoff des Beförderungsmittels ab.

Der Antrieb — meist Elektromotor — nebst Regulierung und Übersetzung liegt immer draußen. Die Konstruktion des unmittelbaren Beförderungsmittels hat vor allem die große Ausdehnung und den durch die hohe Temperatur verringerten Verschleißwiderstand zu berücksichtigen. Der Werkstoff muß sich nach der Höhe der Temperatur richten: bis 500° genügen Eisen und Stahl ohne besonderen Schutz, für höhere Temperaturen ist Wasserkühlung vorzusehen oder sind hitzebeständige Baustoffe zu verwenden (feuerfeste Steine, Stahl und Gußeisen mit Chrom legiert, Chromnickel u. dgl.). Außen am Ofen sind Wärmeschutzschichten anzubringen. Die Feuerung, die unbedingt sicher und störungsfrei arbeiten muß, wird meist mit Gas oder — gewöhnlich vorteilhafter — mit Öl betrieben. Der elektrische Strom eignet sich sehr gut, sofern er nicht zu teuer ist, dagegen sind feste Brennstoffe nicht zu empfehlen.

Der Fließofen muß sich wie eine Wärmemaschine gut steuern und regeln lassen, sowohl die Wärmezufuhr bzw. die Temperatur wie auch die Geschwindigkeit oder

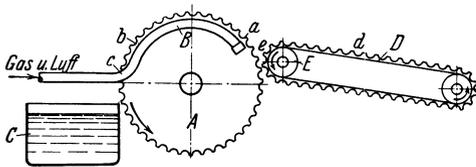


Abb. 56. Behelfsmäßige Einrichtung für ununterbrochenes Härten.

A = umlaufende Aufnahme; B = Gasrohr; C = Kühlbehälter; D = endloses Ladeband; E = angetriebene Scheibe; a-b = Erhitzungsbogen; c = Abfallstelle; d = Beladestelle von D, e = Beladestelle von A.

der Rhythmus der Glühgutbewegung. Dann wird der Ofen trotz hoher Anschaffungs- und Instandhaltungskosten wirtschaftlich arbeiten — sofern die obengenannte Bedingung erfüllt ist: genügende Menge gleichmäßiger Werkstücke.

Zum Härten wirft der Fließofen das Glühgut unmittelbar in den Abschreckbehälter, aus dem es mit verhältnismäßig sehr einfachen Einrich-

tungen (endloses Band, Kette od. dgl.) hinaus- und weiterbefördert werden kann.

29. Ausgeführte Konstruktionen. Abb. 56 zeigt eine kleine, behelfsmäßige Einrichtung, um gelegentlich ganz kleine Teile an einem Ende ununterbrochen zu

härten: in eine Scheibe, die, von einem kleinen Elektromotor über ein Schnecken- vorgelege getrieben, langsam umläuft, sind am Umfang kleine Aufnahmen für die Werkstücke eingearbeitet. Um die Werkstücke zu erhitzen, liegt vor der Scheibe, kreisförmig gebogen, ein Gasrohr mit Löchern nach der Scheibe hin, so daß die Werkstücke beim Durch- laufen des Rohrbogens von den Flammen ge- troffen werden. Nach dem Erhitzen fallen die Werkstücke aus der Scheibe ins Kühlbad. Die Scheibe wird durch ein endloses umlaufen- des Band beladen, auf das ein Arbeiter die Werkstücke auflegt.

Abb. 57 zeigt einen Drehofen als Fließofen von einfacher Konstruktion. Er ist für kleine nicht empfindliche Teile, wie Kugeln, Federringe, Kratzstifte geeignet, die er durch eine Förderschnecke durch den Ofen bewegt. Das Innengewinde der Retorte *A* bildet die Schnecke. Die Retorte selbst ist an den beiden Enden im Ofen drehbar gelagert und wird durch das Schaltrad *B* mit Hilfe eines (nicht sichtbaren) Klemmgesperres ruckweise gedreht. Die Retorte,

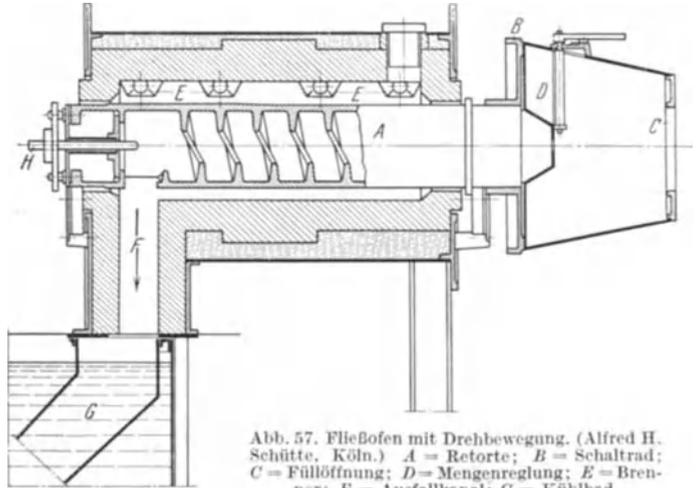


Abb. 57. Fließofen mit Drehbewegung. (Alfred H. Schütte, Kgl.) *A* = Retorte; *B* = Schaltrad; *C* = Füllöffnung; *D* = Mengenregler; *E* = Bren- ner; *F* = Ausfallkanal; *G* = Kühlbad.

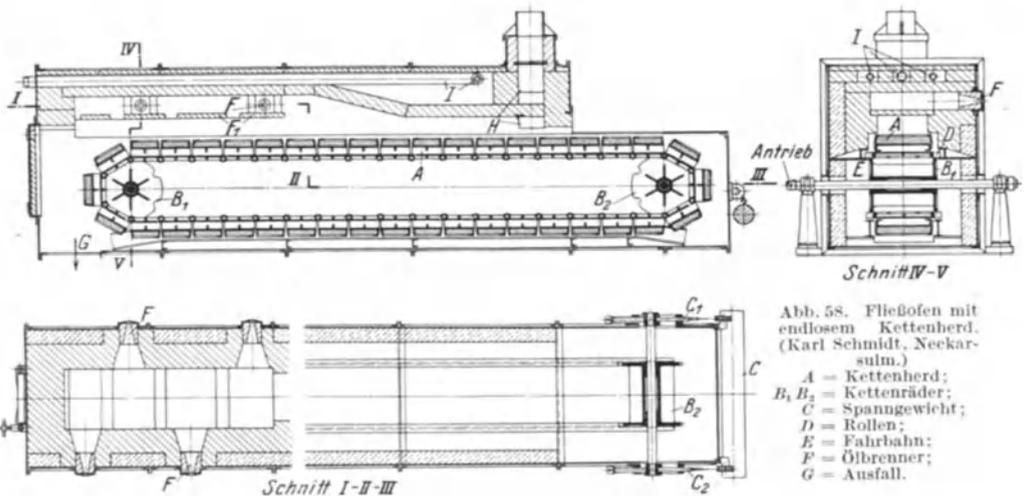


Abb. 58. Fließofen mit endlosem Kettenherd. (Karl Schmidt, Neekar- sultm.)
A = Kettenherd;
B₁, *B₂* = Kettenräder;
C = Spannungsgewicht;
D = Rollen;
E = Fahrbahn;
F = Öl-brenner;
G = Ausfall.

aus feuerfestem Gußeisen, wird von außen erhitzt. Am Ende des Weges fällt das Glühgut durch den senkrechten Kanal *F* in das Abschreckbad *G*.

Die Vorteile dieser Konstruktion sind: die Einfachheit der bewegten Teile, der Abschluß des Glühguts von den Verbrennungsgasen und die Gleichmäßigkeit seiner Erhitzung durch das andauernde Umkanten. Die Nachteile sind: gesteigerter Brennstoffverbrauch infolge der mittelbaren Erwärmung durch die Retorte und

die Abnutzung des Schneckengangs durch die durcheinander rutschenden Glüh-teile, wenn sein Werkstoff in der Hitze nicht sehr widerstandsfähig ist.

Einen sehr bewährten Fließofen für kleine und mittlere Teile jeder Form, wie Kugellageringe, Fahrradnaben u. dgl., bei dem das Glühgut auf einem Kettenherd durch den Ofen bewegt wird, zeigt Abb. 58. Der Kettenherd A ist zwischen den beiden Kettenrädern B_1 , B_2 gespannt, von denen B_1 von außen durch einen Elektromotor über ein Rädervorgelege angetrieben wird, während B_2 mit Hilfe von 2 Seilrollen und Seilen durch ein schweres Gewicht C nach außen gezogen wird. Die einzelnen Glieder des Herdes führen sich mit den Rollen D auf der Fahrbahn E . Erhitzt wird der Ofen durch die in beiden Seiten der Längswand versetzt zueinander bei F liegenden 4 Ölbrenner. Am Ende des Weges fällt das Glühgut bei G aus dem Ofen in das untergestellte Abkühlbad.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines solchen Ofens ist die Lebensdauer des Herdes. Bei der Ausführung Abb. 58 besteht jedes Glied des Herdes aus 3 Teilen: dem Unterteil aus Stahlguß, dem Mittelteil aus Temperguß und dem rahmenförmigen Oberteil, das den Stein zum Auflegen des Glühguts hält, aus feuerfestem Guß. Infolgedessen läuft der Herd bei jeder Temperatur ohne Klemmen und Sperren, und der Verschleiß ist so gering, daß in Jahren kein Glied ausgewechselt zu werden braucht.

III. Das Abkühlen.

Je nach dem Zweck der Warmbehandlung und der Natur des Stahles wird mit sehr verschiedener Geschwindigkeit abgekühlt.

A. Langsames Abkühlen zum Ausglühen.

30. Art des Abkühlens. Große Werkstücke aus niedrig gekohltem Stahl (Maschinenstahl, Baustahl) können unbedenklich aus dem heißen Ofen genommen und an irgendeinen trockenen Ort zum Abkühlen in ruhiger Luft gebracht werden. Will man bei Werkzeugstahl sehr langsam abkühlen, läßt man die Werkstücke mit dem Ofen erkalten. Das setzt allerdings voraus, daß der Glühräum keine höhere Temperatur hat, als das Werkstück haben soll, weil dieses sonst überhitzt würde. Aber auch, wenn das nicht der Fall ist, hat das Auskühlenlassen im Ofen den Nachteil, daß dadurch die Wärme des Ofens verlorengeht, und der Ofen für lange Zeit weiteren Glüharbeiten entzogen wird. Eingepackte Teile erkalten am besten im Kasten; kleinere, lose Stücke schiebt man zum Abkühlen wohl in trockene Asche oder trockenen Kalk und flache Teile zwischen eisernen Platten in einen Kasten mit trockener Asche. Dabei erhitzt man bei dünnen Teilen die Platten auf Kirschtrotglut.

B. Das Abkühlen zum Härten.

31. Übersicht. Gewöhnlicher (unlegierter) Kohlenstoffstahl wird fast immer schroff, in Wasser, abgeschreckt, es sei denn, daß man bei hohem Kohlenstoffgehalt nicht Glashärte, sondern nur Federhärte haben will. Niedrig mit Wolfram, Nickel oder Silizium legierte Stähle werden wie die unlegierten abgeschreckt, dagegen mit Chrom oder Mangan legierte milder, in Öl. Hochlegierte Stähle werden immer nur in Öl oder noch milder in Tran, Talg oder Luft abgekühlt.

Meistens wird aus der Hitze des Ofens so rasch wie möglich abgeschreckt, d. h. man bringt das glühende Stück auf dem kürzesten Weg und schnell in das Abschreckbad. Das hat den Vorzug, daß auch ohne besondere Maßnahmen die Oberfläche wenig Gelegenheit hat, in der Luft zu oxydieren, zu zundern. Der

geringe Temperaturverlust dabei schadet nichts. Manche Härter vergrößern ihn sogar absichtlich und kühlen z. B. empfindliche Werkzeuge aus Stahl mit mehr als 1% C, die auf 740···770° erwärmt wurden, aus Vorsicht erst bei 710···730° ab. Die Berechtigung dazu gibt die verschiedene Lage der für das Härten maßgebenden „Haltepunkte“ (vgl. S. 26).

Lange dünne Stücke dürfen beim Hinüberführen ins Bad nicht so angefaßt werden, daß sie durchbiegen.

32. Wahl des Abschreckmittels. Die wichtigste Regel ist: nicht schroffer abschrecken als für die verlangte Härte durchaus nötig ist. Denn je schroffer man abschreckt, um so größer ist die Gefahr, daß starke Spannungen und Härterisse entstehen. Für die Wahl des Abschreckmittels muß außer der Zusammensetzung des Stahls auch die Form und Größe des Werkstücks berücksichtigt werden, weil das gleiche Abschreckmittel um so stärker wirkt, je dünner das Stück, d. h. je größer seine Oberfläche im Verhältnis zu seinem Gewicht oder seinem Inhalt ist. Zum Beispiel kühlt eine Scheibe von 50 mm Durchmesser und 1 mm Stärke in derselben Flüssigkeit etwa 15mal so schnell ab wie eine Kugel von 50 mm Durchmesser. Deshalb wird ein dünnes, flaches Stück schon in Öl oder zwischen eisernen Platten sehr hart, während ein dickes Stück aus demselben Stahl für die gleiche Härte in kaltem Wasser abgeschreckt werden muß. Deshalb werden auch z. B. kleine Stahlkugeln in Öl, große dagegen in Salzwasser gehärtet.

Manchmal schreckt man weniger schroff ab, als erwünscht wäre, und verzichtet damit auf höhere Härte, um sicher zu sein, daß die Teile nicht reißen. Das geschieht wohl bei kostbaren Werkzeugen von verwickelter Form, wie Schnitten und Gesenken, die man etwa in Kalkwasser statt in reinem oder gar in angesäuertem Wasser härtet.

Während man Konstruktionsteile u. dgl. aus Maschinen- und Baustahl (mit Kohlenstoffgehalt bis etwa 0,6%) im Wasser völlig erkalten läßt, empfiehlt es sich, Teile aus hochgeköhltem Stahl (Werkzeugstahl), wenn sehr hohe Härte von ihnen verlangt wird, wie besonders Schneidwerkzeuge (Bohrer, Fräser, Reibahlen usw.), ferner Schnitte u. dgl. in Wasser nur so lange abzukühlen, bis die Glut gelöscht ist (bis unter 200°) und sie dann in Öl auskühlen zu lassen. Auf diese Weise wird das Stück außen sehr hart und behält doch im Kern, da es hier langsamer abkühlt, genügend Zähigkeit; auch ist während des Auskühlens in Öl die äußere Schicht infolge der langsamer abfließenden Wärme des Kerns etwas weniger starr, so daß die Spannungen nicht leicht übergroß werden und das Stück nicht zerreißen.

Teile, wie Spiralfedern, Spannpatronen u. dgl., die federhart werden sollen, kühlt man bei genügend hartem Stahl am besten in Öl ab, ebenso dünne und flache Teile, wie schmale Kreissägen, kleine Bohrer, Kugeln u. dgl., auch wenn sie sehr hart werden sollen. Für Teile, für die Wasser zu schroff, Öl zu milde wirkt, und für Teile, die man wegen der Gefahr des Reißen nicht so schroff abschrecken will, empfiehlt sich Kalkwasser (Kalkmilch), Seifenwasser oder eine andere der früher angegebenen milde wirkenden Flüssigkeiten.

Das Abkühlen an eisernen Platten ist wohl für dünne Teile, wie Sägen, Klingen, Bänder, bei Massenherstellung üblich.

Auch beim Abkühlen in heißen Salzen (oder Blei) kann man noch eine sehr hohe Härte erhalten und mit Sicherheit ein Reißen vermeiden. Man kann es an Stelle des schroffen Abschreckens mit nachfolgendem Anlassen anwenden, indem man das Salzbad ungefähr so heiß nimmt (z. B. 200°), wie man sonst anlassen würde (z. B. 190···210°). Ob allerdings die Schneidhaltigkeit dabei ebenso günstig wird, darüber ist noch nichts Verlässliches bekannt.

Eine große Zahl legierter Stähle, besonders die Chromstähle, können, wie bereits in Abschn. 31 erwähnt, mit wesentlich geringerer Abkühlungsgeschwindigkeit in Öl gehärtet werden. Dabei ist es für manche der schon höher legierten „Ölhärter“ empfehlenswert, sie in Öl nur bis zur Rotglut und dann völlig in Luft abkühlen zu lassen. Für die hochlegierten „Lufthärter“, besonders die Schnellstähle, eignet sich trockene Gebläseluft, doch benutzt man auch wohl Tran, Petroleum, Talg oder Öl, manchmal (z. B. für Sägeblätter) auf etwa 120° erwärmt. In Wasser wird die Härte auch noch größer, wohl aber wächst die Gefahr, daß der Stahl reißt.

Thermalhärtung¹. In neuerer Zeit wird das Abschrecken in warmen Bädern zumal bei verwickelten Werkzeugen und bei manchen Massenteilen sehr viel angewandt. Diese Härtung wird auch „gestufte Warmbadbehandlung“ oder auch „Thermalhärtung“ genannt. Dieses Verfahren hat den Vorzug, daß mit größter Sicherheit Verzug und Ausfall durch Reißen vermieden werden. Es ist aber nur für geeignete Stähle anwendbar.

33. Menge und Einwirkungsdauer des Kühlmittels. Um befriedigende Ergebnisse zu erhalten, müssen zwei Forderungen erfüllt sein: 1. muß das Abschreckmittel in genügender Menge vorhanden sein, 2. muß es lange genug wirken.

Genügende Menge, d. h. ein ausreichend großes Bad ist nötig, damit auch bei häufigem Gebrauch die Temperatur der Flüssigkeit nicht erheblich ansteigt und die Wirkung beeinträchtigt. Außer der Größe hat darauf natürlich die Konstruktion des Bades, nämlich die Einrichtung zur Kühllhaltung, einen großen Einfluß. Bei richtiger Wahl der Größe und der Konstruktion läßt es sich leicht erreichen, daß die Temperatur auch beim stärksten Betrieb die zulässigen Grenzen nicht überschreitet.

Genügend lange Abkühlungszeit ist nötig, weil zunächst nur die äußere Schicht abgekühlt wird, die Abkühlung aber nur langsam nach innen vordringt, d. h. die Wärme aus dem Innern nur langsam durch die äußeren Schichten abgeleitet wird. Daher ist die Abkühlzeit, ebenso wie die Zeit zum Erwärmen, um so länger, je dicker das Stück ist. Kühlt man ein dickes Stück zu kurze Zeit ab, so wird es außen zunächst wohl gut hart, aber die aus dem Innern nachströmende Wärme hält sich in der äußeren Schicht so lange auf, daß diese wieder angelassen, d. h. wieder weicher wird. Für Teile aus wasserhärtendem Werkzeugstahl wird nach schroffem Abschrecken außen die von innen nachströmende Wärme genügend rasch und doch nicht zu rasch vom Ölbad aufgenommen. Deshalb ist das oben empfohlene Abschrecken: zunächst in Wasser, dann in Öl, fast immer das beste.

Im Wasser selbst bleiben dabei die Teile zum Abschrecken nur kurze Zeit, die dünnsten kaum 1 Sekunde. Es verlangt viel Erfahrung und Übung, diese Zeit richtig zu bemessen; geringes Fehlgreifen kann gefährlich werden, entweder Reißen zur Folge haben bei zu langer Zeit oder ungenügende Härte bei zu kurzer Zeit. Mit dem Aufhören der zitternden Bewegung oder des klingenden Geräusches, das das glühende Stück hören läßt, ist der Augenblick gekommen, es aus dem Wasser in das Öl zu geben. Gesenke sind im Wasser genügend abgekühlt, wenn man einen Finger ein paar Sekunden in die „Figur“ halten kann. Man kann sie dann auf einer Platte anlassen oder in Öl legen.

Damit bei sehr starken Stücken (aus hochgekohltem Stahl) die von innen nachströmende Wärme die äußere Schicht nicht enthärtet, verringert man die Menge der inneren Wärme wohl durch Entfernen der inneren Werkstoffschicht. So bohrt man sehr starke Gewindebohrer, Reibahlen, Stahlwalzen u. dgl. wohl hohl. Man erreicht dadurch auch größere Sicherheit gegen Reißen, weil die Wärme auch nach

¹ FABIAN: Spannungsfreies, verzugsfreies, rissfreies Härten. Masch.-Bau Bd. 13 (1934) Heft 11/12 S. 305.

innen abfließen kann und Werkstoffdehnungen nicht mehr durch den Kern verhindert werden.

34. Bewegung zwischen Werkstück und Flüssigkeit im allgemeinen. Die Abkühlung wird außer von den Eigenschaften der Kühlflüssigkeit von der Bewegung zwischen Werkstatt und Flüssigkeit bestimmt. Denn, ist keine Bewegung zwischen ihnen, so umgibt sich das Werkstück schnell mit einer Schicht warmer Flüssigkeit bzw. Dampf, die die Abkühlung sehr verlangsamen und eine ausreichende Härtung bzw. Durchhärtung ganz oder stellenweise verhindern.

Die Bewegung hat die Aufgabe, immer von neuem kühle Flüssigkeit an die heißen Flächen heranzubringen und angesetzte Dampfblasen fortzuspülen. Je stärker sie ist, um so rascher die Abkühlung.

Die Bewegung hat aber noch eine andere Bedeutung: sie beeinflusst die Gleichmäßigkeit der Abkühlung. Völlige Gleichmäßigkeit ist weder bei Bewegungslosigkeit noch bei irgendeiner Bewegung zu erreichen, doch kann unbedachte Bewegung viel verderben.

Warum auch die einfachsten Werkstücke nie völlig gleichmäßig abgekühlt werden können, das mögen die Abb. 59 erläutern, die die Abkühlung eines zylindrischen Stückes darstellen,

das einmal mit der Achse waagrecht (*A*), einmal lotrecht (*B*) in Pfeilrichtung im Wasser bewegt wird. In beiden Fällen bildet sich vor der vorangehenden Fläche durch einen Wasserkeil eine Stelle (in Abb. schwarz), an der die Strömungsgeschwindigkeit gleich Null, der Druck am größten



Abb. 59. Wasser- und Dampf bewegung beim Abkühlen eines Zylinders.

A = Achse waagrecht; *B* = Achse lotrecht.

ist. Bei *A* fließt von dieser Stelle, die über die ganze Länge reicht, das Wasser einmal über die Zylinderfläche ab, indem es von der Mitte an starke Wirbel bildet, an der auch der Dampf teilnimmt, zum andern fließt es nach den Stirnflächen und über diese hin, nicht ohne auch an der Kante etwas Wirbel zu verursachen. Bei *B* ist nur eine kleine Zone der Bewegungslosigkeit in der Mitte der vorangehenden Stirnfläche. Von hier fließt das Wasser nach der Kante, bildet dort wohl kleine Wirbel, strömt dann aber ziemlich ruhig über die Zylinderfläche hin, den Dampf mitreisend. Nur oben über der Stirnfläche entstehen stärkere Wirbel, an denen auch der Dampf teilnimmt. Bei weder einfach geformten noch einfach bewegten Werkstücken ist der Vorgang beim Abkühlen natürlich noch viel ungleichmäßiger und verwickelter.

Ob man zur Erzeugung der Bewegung das Werkstück gegenüber dem ruhenden Bad bewegt oder die Badflüssigkeit gegenüber dem ruhenden Werkstück, ist grundsätzlich gleichgültig. Aus praktischen Erwägungen bewegt man bei kleinen Werkstücken, vor allem Werkzeugen, meist diese, bei großen die Badflüssigkeit. Nur wenn bestimmte Flächen, wie Bohrungen, Hohlkehlen u. dgl., besonders kräftig gekühlt werden sollen, bewegt man auch bei kleineren Werkstücken die Kühlflüssigkeit, indem man einen kräftigen Strahl gegen die Fläche bzw. an der Fläche entlang strömen läßt: Strahlhärtung. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist dabei viel größer als beim Bewegen des Werkstückes.

35. Bewegung des Werkstücks. Das Eintauchen ergibt von selbst eine Bewegung zwischen Werkstück und Bad, die dann aber noch planmäßig fortgesetzt wird. Nur kleine einfachste Teile, wie Kugeln, Rollen, Geschoßkerne,

Schrauben, Ringe, kleine Federn, kann man kopfüber ins Bad stürzen, das dann aber tief genug sein muß, damit die Teile ausreichend abgekühlt unten ankommen. Alle anderen Teile, die größer oder empfindlich sind wie die meisten Werkzeuge, müssen einzeln oder zu wenigen in bestimmter Richtung ins Bad gebracht und einige Zeit darin bewegt werden. Erst nachdem die Glut gelöscht ist, darf man sie hinlegen, sei es in dasselbe, sei es in ein milderes Bad. Aber auch dann muß man oft noch durch Bewegungen des Bades dafür sorgen, daß die innere Wärme genügend abgeführt wird.

Eintauchen. Das Werkstück muß rasch, aber ohne Hast eingetaucht werden, damit die Bewegung zum raschen Abkühlen ausreicht. Weiter aber muß es meist in bestimmter Richtung eingetaucht werden, damit alle Flächen möglichst rasch und gleichmäßig abkühlen. Nur dann wird es überall ausreichend hart und verzieht sich möglichst wenig.

Aus Abschn. 34 folgen daraus für die Grundformen folgende Regeln:

Alle Teile gerade eintauchen, längliche Teile (zylindrische und andere) in der Längsrichtung, d. h. die Achse lotrecht zum Bad, flache Teile mit der Schmalseite voran, hohle Teile mit der Höhlung nach oben. Für eine Anzahl von Werkzeugen ist die Eintauchrichtung, die sich aus diesen Regeln ergibt, in Abb. 60 angegeben.

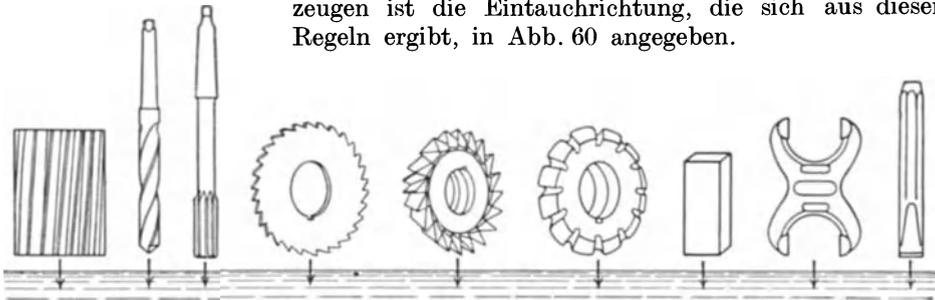


Abb. 60. Eintauchrichtung von Werkzeugen.

Nicht so einfach ist es bei Formfräsern und -stäben mit hohlem oder verwickeltem Profil. Dabei geben persönliche Erfahrung und Übung den Ausschlag. Schneckenrad- und Abwälzfräser schlägt man meist mit der Achse waagrecht

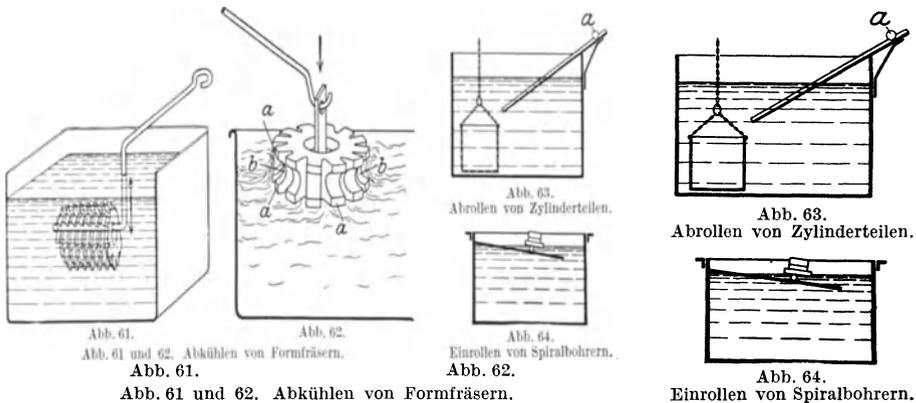


Abb. 61 und 62. Abkühlen von Formfräsern.

Abb. 63. Abrollen von Zylinderteilen.

Abb. 63. Abrollen von Zylinderteilen.

Abb. 64. Einrollen von Spiralbohrern.

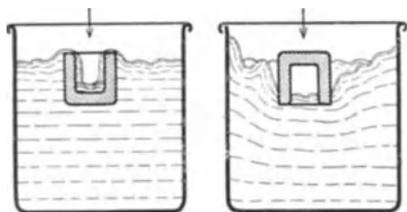
Abb. 64. Einrollen von Spiralbohrern.

ein (Abb. 61), wobei man sie um die Achse zu schwenken sucht, damit die Flanken der oft sehr tiefen Zähne alle gut hart werden. Das gleiche gilt für Halbkreis- und ähnliche Fräser. Schlägt man einen solchen Fräser mit der Achse senkrecht ins Wasser (Abb. 62), so stößt das Wasser wohl gegen die Kanten bei *aa*, bei *b* aber

würden sich leicht Dampfblasen ansetzen. Rollen, Stifte u. dgl. (*a* Abb. 63) läßt man wohl eine schräge Ebene hinunter in einen Siebkorb laufen, mit dem man sie bequem aus dem Bad holen kann. Kleine Spiralbohrer rollt man auf einer etwas schrägen Ebene im Ölbad mit einer Handhabe hin und her, damit sie sich nicht verziehen können und läßt sie dann abrollen (Abb. 64).

Kleine Werkzeuge u. dgl., deren Bohrungen hauptsächlich hart werden müssen, wie Schneideisen, Gewindelehrmutter, Zieheisen, Schnittplatten, schlägt man — soweit man sie nicht mit dem Strahl härtet (s. Abb. 73 u. 74) — mit der Achse lotrecht oder bogenförmig ein (Abb. 36), damit die Kühlflüssigkeit sogleich durch die Bohrung strömen kann.

Bei Sacklöchern u. dgl., die hart werden sollen, muß die Öffnung darum nach oben sehen, damit das Wasser hinein, Luft und Gasblasen heraus können (Abb. 65).



richtig Abb. 65. falsch
Abb. 65 u. 66. Härten von Sacklöchern und Aussenkungen.

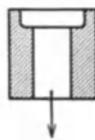


Abb. 66.



Abb. 67.



Abb. 68.

Abb. 67 u. 68.

Werkstücke mit 2 Bohrungen.

Das gleiche gilt für Aussenkungen (Abb. 66). Teile mit zwei Bohrungen machen Schwierigkeiten, sofern man sie nicht durchbohren kann (gestrichelt in Abb. 67): man härtet sie am besten mit zwei Strahlen. Schwierigkeiten machen deshalb auch die beiden Körner im Drehdorn (Abb. 68). Am besten härtet man erst den Dorn ohne Rücksicht auf die Körner mit der Achse lotrecht und härtet dann nacheinander die Körner, indem man sie kurz mit einem Schweißbrenner erhitzt und im Strahl abkühlt.

Bewegen in der Flüssigkeit. Meist wird die Eintauchrichtung ungefähr beibehalten (*a* Abb. 36), doch führt man manche Teile auch im Kreise umher wie Gewindebohrer (*b* Abb. 36) oder zieht sie hin und her wie Sägen (*c* Abb. 36). Auch T-Nuten-, Scheibenkeil- und ähnliche Fräser, die beim Auf- und Abbewegen starke Wirbel erzeugen, führt man im Kreis umher (Abb. 69).

Lange Werkzeuge mit verhältnismäßig schwachem Querschnitt, wie Stehholzenbohrer, Räumnadeln, abnorm lange Reibahlen u. dgl. dreht man während der Abkühlung wohl um ihre Achse, damit alle Kanten ganz gleichmäßig mit dem Wasser in Berührung kommen.

Durch die Art der Bewegung kann man immer die Stärke der Härtung abstimmen: bewegt man langsam und in enger Bahn, so wirkt das Kühlmittel milder, als wenn man schnell und in weiter Bahn bewegt.

36. Bewegung der Badflüssigkeit. Große und schwere Teile, besonders Konstruktionsteile, wie Achsen, Schubstangen, Geschützrohre, läßt man ruhig hängen und bewegt die Flüssigkeit. Dazu benutzt man die Bäder, in die kühle Flüssigkeit unten stetig eintritt und oben durch einen Überlauf ausfließt. Öl läßt man dabei einen geschlossenen Kreislauf durchlaufen.

Strahlhärtung wird viel für größere Werkzeuge benutzt, wenn einzelne Stellen, besonders Bohrungen, gut hart werden sollen, der übrige Teil dagegen möglichst zäh bleiben soll. So kühlt man die Bohrungen und Durchbrüche von

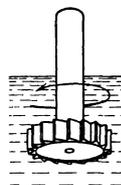


Abb. 69.

Zieh- und Kaliberringen, Schnittplatten u. dgl., aber auch die Figuren der Gesenke und die Bahn von Hämmern usw.

Abb. 70 zeigt eine Einrichtung für Gesenke. Das erhitzte Gesenk wird mit der Arbeitsfläche nach unten auf die Stäbe *J* gelegt, das Ventil *G* geöffnet, so daß ein starker Wasserstrahl gegen die Arbeitsfläche geschleudert wird. Dabei steigt der Wasserspiegel im Gefäß allmählich von *H* bis *L* in Höhe des Überlaufes. Kurz bevor er die Rückenfläche erreicht, öffnet man Ventil *F* und läßt einen Sprühregen auf das Gesenk von oben fallen. Dadurch verhindert man, daß zu große Abkühlungsspannungen entstehen und das Gesenk sich wirft.

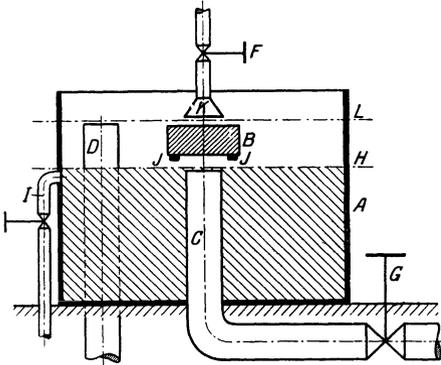


Abb. 70. Strahlhärtung von Gesenken.

A = Behälter; *B* = Gesenk; *C* = Zuleitung; *D* = Überlauf; *F*, *G* = Ventile; *I* = Ableitung; *H* = unterer Wasserstand; *L* = oberer Wasserstand; *K* = Brause; *J* = Auflagestäbe.

bewegen, sei es, daß man an einzelnen Stellen (Lagerstellen, Hohlkehlen u. dgl.) eine besonders kräftige Wirkung erzielen will.

Abb. 71 ist eine ganz einfache, in der Werkstatt behelfsmäßig zusammengebaute Einrichtung zum Härten von Hammerbahnen u. dgl. Abb. 72 ist eine Brauseeinrichtung, um Werkstücke außen ringsherum abzuschrecken, sei es, daß sie zu schwer sind, um sie zweckentsprechend zu

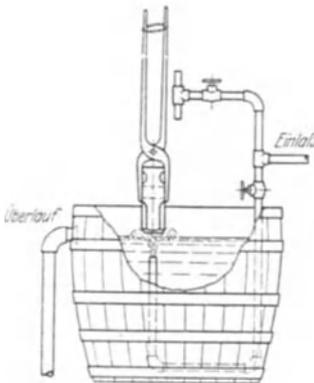


Abb. 71. Behelfsmäßige Strahlhärtung.

Abb. 73 zeigt eine Strahleinrichtung zum sicheren Härten der Bohrung von Ziehringen, Kaliberringen u. dgl., die besonders dann am Platze ist, wenn die Bohrung lang ist. Der Wasserstrahl strömt an der Wandung der Bohrung des Werkstückes entlang und wird durch den Rand des Trichters so in das Bad geleitet, daß er die Außenfläche des Werkstückes nicht berührt.

Hat die zu härtende Bohrung an jedem Ende eine Erweiterung, die beide gut hart werden müssen, wie z. B. bei Kaltmatrizen, so muß die Vorrichtung am Austritt des Wasserstrahls einen Verteiler *a* (Abb. 74) haben.

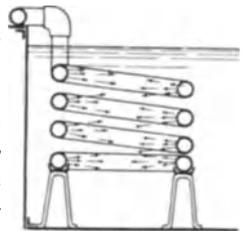


Abb. 72. Brause für Außenhärtung.

Eine gut durchgearbeitete, vielseitig verwendbare Vorrichtung zur Strahlhärtung innen zeigt Abb. 75. Auf einer Säule, durch die innen das Wasser zu- und abgeleitet wird, liegt in einer Auffangschale ein auswechselbarer Aufnahmering. Das erhitzte Werkstück wird darauf gelegt und schnell durch eine vorklappbare Spindel gespannt; damit stößt zugleich ein Stift gegen das Einlaßventil und öffnet es.

Will man in einem Bad die Temperatur immer schnell wieder ausgleichen, so bewegt man die Flüssigkeit durch eingeleitete Preßluft (s. Abb. 26). Das ist besonders empfehlenswert für Teile, die man in das Bad stürzt bzw. hineinlegt. Behelfsmäßig kann man auch einfach einen an die Luftleitung angeschlossenen Gummischlauch ins Bad legen. Gelegentlich bewegt man das Bad auch wohl mechanisch durch ein einfaches Rührwerk.

37. Besondere Mittel für Schnellstahl. Zum Abkühlen von Schnellstahl werden dieselben Hilfsmittel benutzt wie für die weniger hoch zu erhaltenden Stähle; nur wenn Schnellstahl in Luft abgekühlt wird, sind besondere Mittel in Gebrauch. Es sind das meist sehr einfache Aufnahmen, die das Werkstück an allen vorzugsweise zu härtenden Flächen der austretenden Preßluft aussetzen, wozu allerdings noch zu bemerken ist, daß vielfach die geringe Luftbewegung als ausreichend erachtet wird, die das ruhig hingestellte glühende Werkstück dadurch hervorruft, daß es die umgebende Luft erhitzt, so daß sie aufsteigt und kalte nachströmt.

Für gelegentliches Härten richtet man einfach mit dem Schlauch den Luftstrahl auf das Werkzeug, so daß die Schneide zuerst getroffen wird (Abb. 76). Das einfachste, vielseitig verwendbare Hilfsmittel ist ein Rost oder eine gelochte Blechplatte (Abb. 77), auf die die abzukühlenden Teile gestellt werden, während von unten durch Düsen Luft durchgeblasen wird.

Will man Teile von oben abblasen, kann man einfache Kästen nach Abb. 78 benutzen, zum Abblasen von vorn Kästen nach Abb. 79. Schaftwerkzeuge, die, wie Reibahlen, Spiralbohrer usw., hängend gekühlt werden sollen, legt man mit dem Halter, an dem sie erhitzt wurden, auf einfache Rahmen (Abb. 80). Für größere Fräser und andere Schnellstahlwerkzeuge mit Bohrung benutzt man gern einen kleinen Drehtisch, der entweder durch den Luftstrom selbst oder durch ein besonderes mechanisches Getriebe gedreht wird. Abb. 81 zeigt eine sehr einfache Anordnung der ersten Art mit Kugellager. Der Luftstrom wird ein wenig tangential so gerichtet, daß er das Werkzeug und auch die Blechflügel des Drehtellers trifft, so daß dieser rasch gedreht wird und die Luft alle Zähne des Werkzeuges gut abbläst.

38. Teilweise Härtung. Viele Werkstücke sollen nur teilweise hart werden, wie Schaftwerkzeuge, manche Lehren, ferner Backen, Ziehringe, Matrizen u. dgl. Liegt der zu härtende Teil an einem Ende, so ist es das beste, nur diesen zu erwärmen und abzukühlen. Das läßt sich, wie früher schon erwähnt, am einfachsten im Schmelzbade oder im Schmiedefeuer ausführen. Auf diese Weise härtet man in der Massenherstellung fast immer: Schaftfräser, Gewindebohrer, Spiralbohrer, Reibahlen u. dgl., indem man sie am Schaft hält und in das Bad taucht (Abb. 36 b).

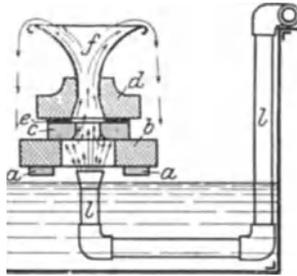


Abb. 73.

a = Schienen; b = Unterlage;
 c = Werkstück; d = Belastungsring;
 e = Asbestscheibe; f = Trichter; l = Zuleitung.

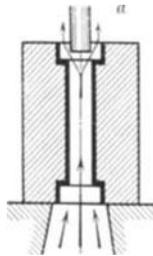
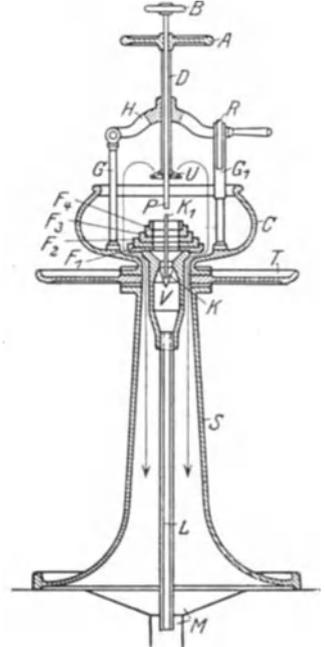
Abb. 74. a = Verteiler.

Abb. 75. Vorrichtung für Strahlhärtung.

A, B = Handräder; C = Auffangschüssel; D = Spindel zum Andrücken; F_1, \dots, F_4 = Aufnahmeringe; G = Stütze; G_1 = Gabelstütze; H = Hebel; K = Ventilkegel; K_1 = Ventilschraube; L = Zuleitungsrohr; M = Ablauf; P = Stift zum Öffnen des Ventils; R = Fangriegel; S = Säulenfuß; T = Tisch; U = Druckteller; V = Einlaßventil.

Abb. 73...75. Strahlhärtung von Bohrungen.

Ebenso kann man mit Backen, Lehren usw. verfahren. Zu beachten ist, daß das Erwärmen stets etwas weiter zu geschehen hat als das Abkühlen und durch Bewegen im Abkühlbad dafür zu sorgen ist, daß keine scharfe Grenze zwischen abgeschrecktem und nichtabgeschrecktem Teil entsteht. In Abb. 82 zeigen die Linien 1—1 die Ebenen an, bis zu denen die Backe, die Flachlehre, der Gewindestahl erhitzt, die Linien 2—2 die Ebenen, bis zu denen sie abgeschreckt werden müssen.

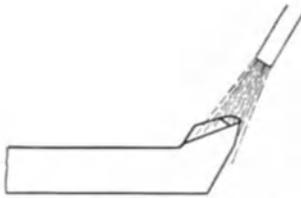


Abb. 76. Abblasen eines Drehstahls.

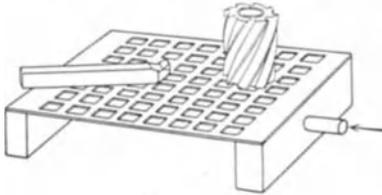


Abb. 77.

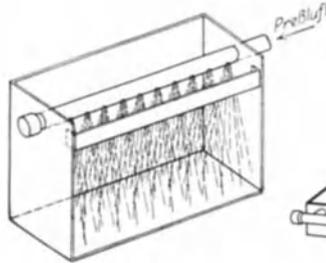


Abb. 78.

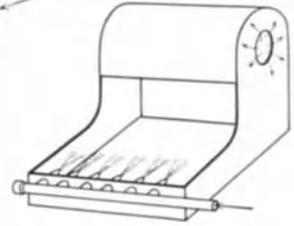


Abb. 79.

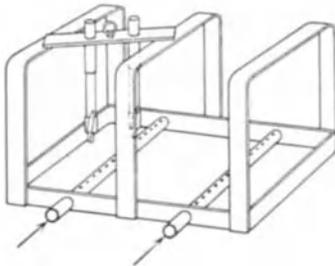


Abb. 80.

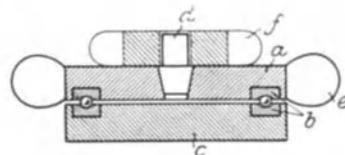


Abb. 81. a = Drehteller; b = Kugellager; c = Aufnahme; d = Dorn; e = Blechflügel; f = Werkstück.

Abb. 77...81. Aufnahmen zum Abblasen von Werkzeugen.

Sollen Teile der Werkstücke weich bleiben, die nicht an einem Ende liegen, oder werden die Werkstücke in Mengen zugleich im Glühofen erwärmt, so hat man zwei Mittel, das Ziel zu erreichen: 1. Man erwärmt die Teile vollständig ohne

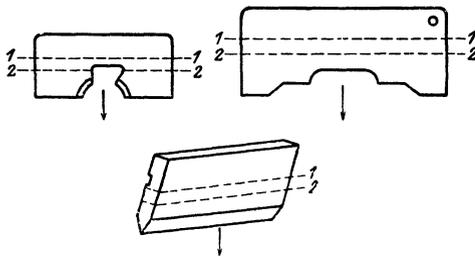


Abb. 82. Teilweise zu härtende Werkzeuge.

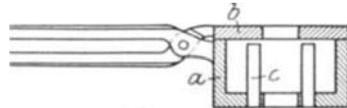


Abb. 83. Härtezange für Schneideisen. a = Kapsel; b = Deckel; c = Stifte.

irgendeine besondere Maßnahme, kühlt aber nur die Stellen kräftig ab, die hart werden sollen. 2. Man umgibt die Stellen, die weich bleiben sollen

(meist auch, damit sie nicht reißen), mit Lehm, Asbest, eisernen Platten, Ringen od. dgl. und erwärmt und kühlt die ganzen Teile.

Zu 1.: Teilweises Abkühlen kann man durch Strahlhärtung erreichen, über die Näheres im Abschn. 36 gesagt ist, oder durch eine Vorrichtung, in die das Werkstück nach dem Erhitzen gelegt wird, und die beim Abkühlen die nicht zu härtenden Stellen vor der Kühlflüssigkeit mehr oder weniger schützt. Abb. 83 u. 84 zeigen zwei Beispiele dafür. Bei der Härtezange für Schneideisen (Abb. 83) wird

das Eisen in die Kapsel gelegt, so daß die Stifte die Löcher zwischen den Zähnen ausfüllen. Bei der Zange für Schnittplatten (Abb. 84) bleibt rings um den Durchbruch der Schnittplatte ein Streifen von etwa 3 mm für die Berührung mit der

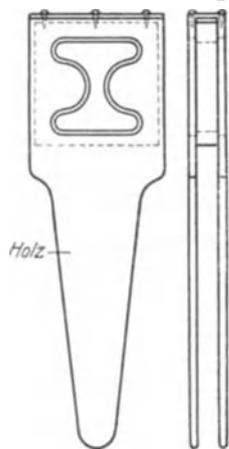


Abb. 84. Härtezange für Schnittte.

Kühlflüssigkeit frei. In beiden Fällen wird durch ausreichendes Schwenken dafür gesorgt, daß die Kühlflüssigkeit kräftig durch die Bohrungen fließt. Eine andere Art teilweiser Abkühlung zeigt Abb. 85: das Zahnrad (Kettenrad od. dgl.) wird nach dem Erhitzen auf einen Dorn geschoben und der Zahnkranz dann über die Kühlflüssigkeit gedreht. (Über Vorrichtungen, die zugleich die Aufgabe haben, ein Werfen zu verhindern, s. Abschn. 39.)

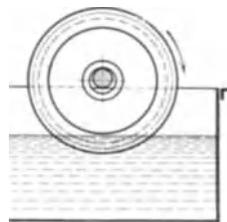


Abb. 85. Abkühlen der Zähne eines Rades.

Zu 2: Durch die Abdeckung kühlt die geschützte Stelle so langsam ab, daß sie gar nicht oder nur wenig hart wird.

Abb. 86 zeigt einen Spitzsenker, dessen Bohrung mit Lehm ausgefüllt ist. Schraubenlöcher mit Gewinde füllt man mit Asbest aus oder mit einem Gemisch aus Asbest, Öl und Graphit, das leicht wieder zu entfernen ist. Glatte Bohrungen läßt man am besten ungeschützt, wegen der damit verbundenen besseren Wärmeableitung aus dem Kern.

Will man große Bohrungen schützen, wie Walzenfräser oder andere Aufsteckwerkzeuge sie haben, deckt man sie zweckmäßig ab (Abb. 87). Sacklöcher sollte man, wenn irgend möglich, stets ausfüllen, da sie sonst leicht Anlaß zum Reißen geben.



Abb. 86.

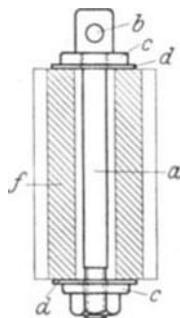


Abb. 87. a = Bolzen; b = Loch zum Halten; c = Unterlegscheiben; d = Asbestscheiben; f = Fräser.

Abb. 88...91 zeigen, wie man äußere Flächen oder irgendwelche Stellen eines flachen Werkstücks abdeckt: Abb. 88 ein Schneideisen rings am Rande abgedeckt, damit nur die Zähne hart werden, Abb. 89 eine Stahlwalze mit sorgfältig verpackten



Abb. 88.

Abb. 86 u. 87. Bohrungen vor Hartwerden geschützt.

ein Schneideisen rings am Rande abgedeckt, damit nur die Zähne hart werden, Abb. 89 eine Stahlwalze mit sorgfältig verpackten

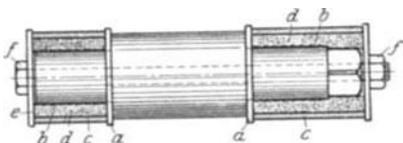


Abb. 89.

a = Scheiben; b = Asbest; c = Rohrstücke; d = Lehm; e = Scheiben; f = Bolzen.

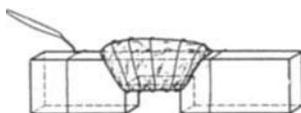


Abb. 90.

Abb. 89...91. Einzelne Stellen vor Hartwerden geschützt.

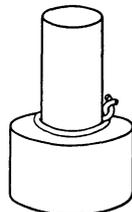


Abb. 91.

Zapfen, Abb. 90 ein Riegel, an der Ausklinkung wegen ihrer scharfen Ecken geschützt. Zur Not kann man eine scharfe Eindrehung schon durch einen umgewundenen Draht etwas schützen (Abb. 91). In andern Fällen, bei Gesenken, Schnitten u. dgl., bestreicht man wohl derartige Stellen vor dem Abschrecken schnell mit Seife oder kühlt dieselben an diesen Stellen vor.

39. Verziehen und Mittel es zu mildern. Ein gewisses Maß von Rauminhalt und Formänderung ist beim Abschrecken unvermeidlich (über die Gründe s. Werkstattbuch Heft 7: Formänderungen). Die Größe des „Verzugs“ ist abhängig von der Vorbehandlung des Werkstücks, seiner Form, der Abkühlgeschwindigkeit und der Stahlsorte: je spannungsloser das Werkstück vor dem Härten ist, je einfacher seine Form und je geringer die Abkühlgeschwindigkeit, um so weniger verzieht es sich. Die Stahlsorte beeinflusst den Verzug vor allem durch die zum Härten nötige Abkühlgeschwindigkeit: Öl- und Lufthärter verziehen sich weniger als Wasserhärter. Darüber hinaus haben auch besondere Legierungsmetalle einen günstigen Einfluß, während im allgemeinen der Verzug mit dem Kohlenstoffgehalt wächst. Schnellstähle und besonders hochlegierte Chromstähle (etwa 12% Chrom bei 1,5...2% Kohlenstoff) verhalten sich sehr günstig.

Bei Kohlenstoffstählen ergeben sich folgende Änderungen: Querschnitte länglicher Körper werden meist größer, wobei sich gerade Seiten zwischen Ecken etwas auswölben. Die Längen nehmen meist, doch nicht immer, zu. Bohrungen von

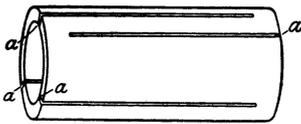


Abb. 92.

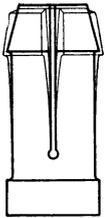


Abb. 93.

Abb. 92 u. 93. Zum Härten vorbereitete federnde Teile.

Hohlkörpern (Fräser, Aufsteckreibahlen, Ziehringe usw.) werden meist kleiner, Steigungen von Gewinden kürzer. Verzahnte zylindrische Oberflächen (Reibahlen, Schaftfräser, Gewindebohrer) wölben sich etwas, meist nach der freien Stirnfläche abfallend; bei ungleicher Zahnung wölben sich die dünnen Zähne nach außen, die dicken nach innen. Lochentfernungen in Schnitten werden meist größer.

Soweit nun sachgemäßes Abkühlen das Werfen nicht hindert, kann man es in geeigneten Fällen durch besondere Maßnahmen weiter einschränken, manchmal bis fast zum völligen Verschwinden. Diese Maßnahmen sind: das Werkstück vor dem Abkühlen in eine Vorrichtung spannen, die das Werfen mit Gewalt verhindert oder die Form des Werkstückes so abgeändert ausführen, daß sie erst durch das Verziehen angenähert richtig wird.

Dieses zweite Mittel ist nur dann anwendbar, wenn man erfahrungsgemäß die Art und Größe des Verziehens kennt (was allerdings immer nur bis zu einem gewissen Grade der Fall ist). Weiß man z. B., daß ein Gewinde sich in der Steigung um etwa $\frac{1}{100}$ mm auf 1" verkürzt, so kann man es vorher um so viel verlängert schneiden. Oder weiß man, daß ein längliches Werkstück (z. B. Feile oder Stempel mit unsymmetrischem Querschnitt) sich nach einer Seite ausbiegt, so kann man es vorher entsprechend nach der anderen durchbiegen.

Gewisse Vorbereitungen am weichen Stück sind auch sonst wohl üblich. So läßt man z. B. bei Werkstücken, wie Schneideisen und Spreizbuchsen, die um des guten Federns willen geschlitzt werden, den Schlitz durch einen kleinen Steg (a Abb. 92) geschlossen, damit das Werkstück sich nicht viel verziehen kann. Der Steg wird dann nach dem Härten fortgesprengt oder durchgeschliffen. Anders vorbereitet wird die Spannpatrone Abb. 93, damit sie gut federt. Man biegt sie vorher auseinander (dünn ausgezogen), indem man sie unten erwärmt und oben einen kegelförmigen Dorn eindrückt.

Häufiger als solche Vorbereitung ist das gewaltsame Verhindern des Werfens in Vorrichtungen. Dabei dürfen die Werkstücke natürlich nur an solchen Stellen bzw. so gefaßt werden, daß die Härtung nicht behindert wird.

Sehr dünne Teile kann man durch ein Gewicht oder eine Feder spannen, wie das Blatt in Abb. 94. Im Gegensatz dazu zeigt Abb. 95 eine Vorrichtung, mit der zwölf Sägeblätter zugleich gespannt gehalten werden. Auf einer Stange sitzen

zwei Rahmen, der eine fest, der andere verschieb- und schwenkbar, um die Sägen, die durch Stifte in dem Rahmen gehalten werden, bequem spannen zu können. In dieser Vorrichtung werden die Sägen sowohl im Bleibad erhitzt als auch im Ölbad abgekühlt. Auch für Sägen aus Schnellstahl ist der Rahmen brauchbar, besteht dann aber zweckmäßig aus hitzebeständigem Werkstoff.

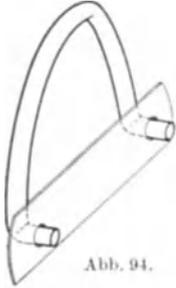


Abb. 94.

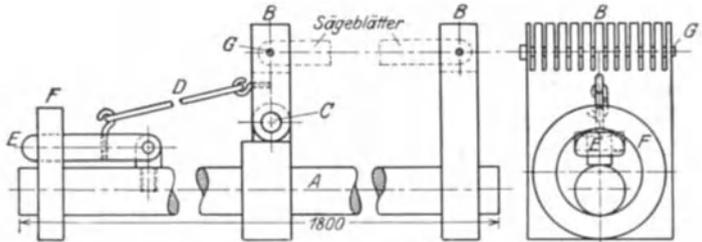


Abb. 95. Härtevorrichtung für Sägeblätter.

A = Stange; B = Rahmen; C = Schwenkbolzen; D = Zugstange;
E = Spannhel; F = Spannring; G = Stifte.

In die Sonderzange Abb. 96 werden dünne Metallkreissägen erst nach dem Erhitzen gelegt. Die vielen dünnen Stifte hindern die Säge, sich zu werfen, halten andererseits jedoch die Kühlflüssigkeit nicht ab.

Die Vorrichtung Abb. 97 soll das Werfen und zugleich das Hartwerden des inneren Steges des Ringes dadurch verhindern, daß sie ihn zwischen zwei Platten (a u. b) festspannt.

Abb. 98 zeigt schematisch eine doppelt wirkende Presse zum Härten von dünnen Kupplungsscheiben, Sägen u. dgl. Die Preßplatten a und b stehen fest; zwischen

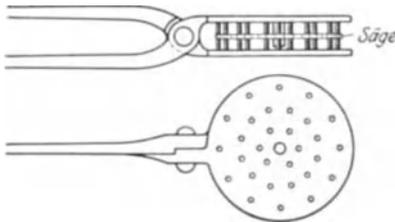


Abb. 96. Härtezange für Sägen.

ihnen geht, durch das Gestänge ef mittels Preßluft bewegt, die Preßplatte d auf und ab. Wird das Werkstück k zwischen der Platte a und der unteren Fläche von d abgekühlt, so hat der Arbeiter Zeit, das vorher abgekühlte Stück oben fortzunehmen und ein neues auf die Platte d zu legen. Ein Tritt auf einen Hebel läßt dann d nach oben gehen, so daß das eben eingelegte Stück gegen b gepreßt und das untere freigegeben wird. So geht das Härten fast ohne Unterbrechung vonstatten. Die drei Preßplatten werden von innen durch umlaufendes Wasser gekühlt, oder man läßt Öl von außen durch Nuten in den Preßplatten oder aus dem Innern der Preßplatten durch kleine Ventile über die Werkstücke treten.

Als Härtemaschine wird die Einrichtung Abb. 99 bezeichnet, die dazu dient, Kreissägen, Zahnräder und vor allem Kegeltellerräder, besonders für Automobilmotoren, ohne Werfen zu härten.

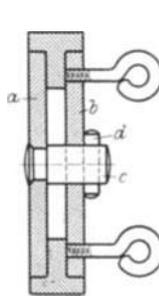


Abb. 97. Härtevorrichtung für Ringe mit T-förmigem Querschnitt.

a, b = Spannlatten;
c = Bolzen; d = Spannkeil.

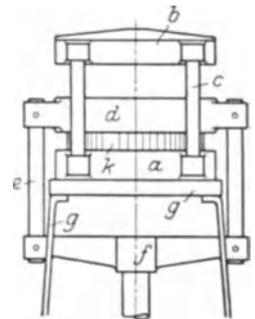


Abb. 98. Doppelt wirkende Härtepresse.

a, b = feste Preßplatten;
c = Säulen; d = bewegte Preßplatte; e, f = Gestänge;
g = Tisch; k = Werkstück.

Die Maschine leistet zweierlei: Erstens spannt sie das Werkstück zwischen Preßmatrizen — die natürlich der Form des Werkstückes angepaßt sein müssen — fest, so daß kaum eine Verzugsbewegung möglich wird; zweitens kühlt sie das Werkstück sehr gleichmäßig dadurch, daß gekühltes Öl über alle Stellen hinweg gepreßt wird, so daß keine große Neigung zum Verzug entsteht. Da die Geschwindigkeit des Ölstromes bis zu erheblicher Größe einstellbar ist, kann milder oder schroffer abgekühlt werden.

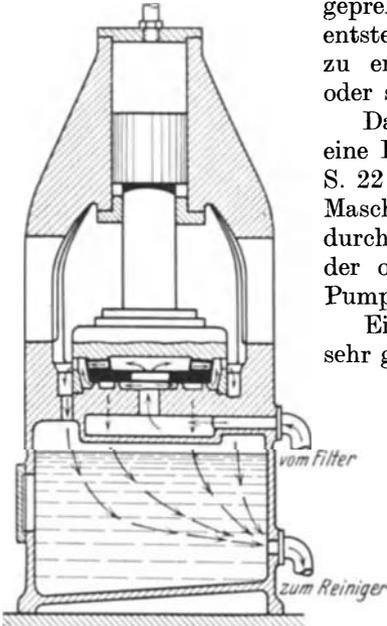


Abb. 99. Härtemaschine.
(W. Ferd. Klingenberg, Remscheid.)

Das in der Maschine wirksame Öl macht, durch eine Pumpe getrieben, einen Kreislauf wie in Abb. 28 S. 22: Es wird durch einen Kühler hindurch in die Maschine gedrückt und durch einen Reiniger hindurch zurückgesaugt. Das Öl, das den Stempel mit der oberen Preßmatrize bewegt, wird auch von der Pumpe geliefert.

Ein Verziehen schadet selbst Werkstücken, die sehr genau sein müssen, dann nicht, wenn sie hinterher geschliffen werden. Das ist üblich bei ebenflächigen und zylindrischen Körpern; darüber hinaus hat man aber gelernt, auch recht vielgestaltige Teile, wie Gewindebohrer und -lehren, gerade und runde Formstähle, Stempel u. dgl. an der Formfläche zu schleifen, z. B. ein Profil nach Abb. 100. Das Schleifen solcher Formteile hat trotz der Kosten große Vorzüge: Die Genauigkeit wird größer als bei Verwendung noch so



Abb. 100. Stempelprofil, nach dem Härten geschliffen.

verzugsfesten Stahles. Man braucht die Form vor dem Härten nicht genau (oder gar nicht) auszuarbeiten, so daß der Verlust gering ist, wenn das Werkstück beim Härten Ausschuß wird. Etwaige entkohlte Stellen der Oberfläche werden beseitigt.

Gelegentlich wird aus der Formänderung Nutzen gezogen: So härtet man wohl Teile mit zu großer Bohrung, weil diese sich zusammenzieht (Ringe u. dgl. läßt man dabei wohl auf einer geneigten Fläche ins Wasser rollen).

IV. Das Anlassen.

40. Übersicht. Das Anlassen hat den Zweck, aus dem Werkstück die Härte-
spannungen, die durch das Härten entstanden sind, möglichst zu entfernen und die für den jeweiligen Verwendungszweck erforderliche Zähigkeit zu erreichen. Das Anlassen soll nach Möglichkeit sofort nach dem Härten vorgenommen werden. Man muß das Stück langsam und nicht zu schroff erwärmen, am besten bringt man es mit dem noch kalten Anlaßbad oder Ofen auf Temperatur.

Teile, die hohe Verschleißhärte haben sollen, wie Kaltwalzen, Lehren, Meßwerkzeuge usw., werden nur bei niedrigen Temperaturen entspannt, d. h. in Wasser oder Öl 1...24 Stunden und länger ausgekocht (100...180° C). Diese geringe Erwärmung nimmt dem Stahl schon so viel von seiner Starrheit, daß ein gewisser Ausgleich der Spannungen eintritt.

Vergütungsstähle werden meistens bei Temperaturen von 500...700° C angelassen, wobei die Festigkeit und Härte sich stark den Werten im geglühten

Zustand nähern, Streckgrenze, Kerbzähigkeit und Dehnung aber erheblich günstigere Werte erreichen.

Für Werkzeuge sind die Temperaturen von 200···500° C meist angebracht. Eine Festlegung der Temperaturen für die einzelnen Werkzeugarten und jeweiligen Verwendungszwecke ist nur bedingt möglich: sie müssen an Ort und Stelle durch praktische Versuche ermittelt werden. Sehr wichtig ist beim Anlassen, daß ein Abschrecken aus der Anlaßwärme unter allen Umständen unterbleiben muß. Da bei dieser Temperatur der Stahl noch starr ist und nicht plastisch wie bei den Rotgluttemperaturen über 600° C, treten durch die plötzliche Abkühlung so starke Spannungen auf, daß bei Werkzeugstählen sehr oft und bei mittleren bis hochlegierten Stählen fast immer mit Reißen zu rechnen ist. Wenn ein Abkühlen nicht zu umgehen ist, darf das Abkühlen nur in Öl erfolgen. Eine Ausnahme machen lediglich die Vergütungs-Cr-Ni-Stähle¹, die unbedingt zur Vermeidung von Anlaßsprödigkeit aus der Anlaßwärme in Öl abgekühlt werden müssen.

41. Verschiedene Anlaßverfahren. Man kann zwei grundsätzlich verschiedene Anlaßverfahren unterscheiden: gleichmäßiges Anlassen und ungleichmäßiges.

a) Gleichmäßiges Anlassen. Dabei werden die Werkstücke überall gleichmäßig, d. h. auf dieselbe Temperatur angelassen. Das geschieht beim Anlassen zum Vergüten, geschieht aber auch oft beim Anlassen von Werkzeugen, besonders bei der Massenfertigung von Fräsern, Bohrern, Reibahlen usw. Für die hohen Temperaturen beim Vergüten benutzt man im allgemeinen dieselben Öfen wie zum Glühen, während man für die niedrigen Temperaturen für Werkzeugstahl Öl- oder auch wohl Salz- oder Luftbäder benutzt, für die mittleren Temperaturen Blei- (seltener Salz-) Bäder oder Glühöfen.

Empfindliche größere Werkstücke verlangen beim Anlassen in den Bädern Vorsicht: am besten werden die Werkstücke in die abgekühlte Flüssigkeit gegeben, mit ihr erhitzt und dann auch wieder abgekühlt. Ist das nicht durchführbar, legt man sie zum Abkühlen in Sägespäne od. dgl.

b) Ungleichmäßiges Anlassen. Hierbei wird das Werkzeug auf verschieden hohe Temperaturen angelassen, wie es für den vorliegenden Verwendungszweck erforderlich ist. Schaftenden an Meißeln und Stempeln, Fußenden an Matrizen und Gesenken usw. werden auf diese Weise höher angelassen als die Arbeitsflächen. Ein einwandfreies Gelingen hängt von der Zuverlässigkeit des Härters ab. Die Temperatur kann nicht objektiv gemessen werden und wird meist nur nach der „Anlaßfarbe“ beurteilt. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die Intensität der Farbe nicht allein von der Temperatur, sondern auch stark von der Anlaßzeit abhängt. Die den Anlaßtemperaturen jeweils entsprechenden Anlaßfarben sind in Tabelle 6 (rechts) wiedergegeben.

Zwei Ausführungsarten sind bei dieser Anlaßbehandlung zu unterscheiden:

1. Anlassen aus der noch vorhandenen Hitze von der Härtetemperatur an den nichtabgeschreckten Teilen.

Einfache Werkzeuge, wie Meißel, Durchschläge usw., werden nur an den Schneiden unter leichter Auf- und Abbewegung, zur Vermeidung eines schroffen Überganges, in Wasser abgekühlt (s. Abb. 101). Nach dem Erkalten wird diese Fläche schnell mit Schmirgel blank geschleuert und von der noch im rückwärtigen Teil vorhandenen Wärme angelassen und die vollständige Abkühlung in Öl oder Petroleum vorgenommen (nach Möglichkeit an ruhiger Luft).

2. Anlassen durch neue Erwärmung des vollständig abgekühlten Werkstückes.

¹ Werkstoff-Handbuch, 2. Auflage, S. H₁₁, H 31, Y 20. Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf.

Hierzu werden verwendet: Schmiedefeuer, erhitzte Stahlblöcke, Sandbäder und Bunsenbrenner. Hierbei bringt man die Flächen, die am weichsten und zäh sein müssen, in unmittelbare Nähe der heißesten Temperatur und hört mit der Erwärmung auf, wenn die Arbeitsflächen die erforderliche Anlaßfarbe zeigen.

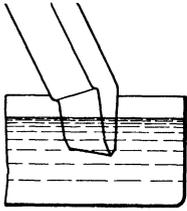


Abb. 101. Abschrecken eines Schneidkopfes.

Abb. 102 zeigt Stempel, Meißel u. dgl. im Sandbade, mit den arbeitenden Flächen nach oben. Abb. 103 zeigt eine Klemmbacke (Hälfte einer geteilten Matrice) für eine Stauchtauchpresse auf einer elektrisch geheizten Platte. Die obere Fläche, die zum Abschneiden von der Stange dient, muß glasartig sein und wird gelb (etwa 220°) angelassen, während die untere Fläche mit dem eingearbeiteten Kaliber, das die Stauchstöße aufzunehmen hat, wesentlich höher angelassen wird.

Verschieden stark angelassene Werkstücke kann man auch dadurch erhalten, daß man das ganze Stück erst gleichmäßig auf die niedrigste Temperatur, entsprechend der größten Härte an der Arbeitsfläche, anläßt und dann die eine oder andere Stelle, die zäher sein muß, nochmals höher erwärmt. So läßt man z. B. wohl Meißel, Stempel u. dgl. zuerst ganz in Öl auf etwa 220° an und dann den Kopf hinterher noch auf etwa 320° , oder Sägeblätter im ganzen

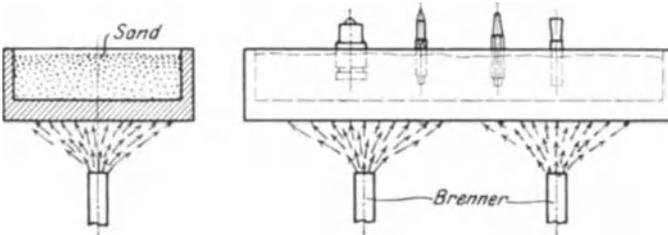


Abb. 102. Anlassen im Sandbad.

auf 220° und läßt dann die Enden mit den Befestigungslöchern *a* (Abb. 104) in der Gasflamme blau anlaufen. Ebenso läßt man den Vierkantdorn (Abb. 105) zuerst ganz auf etwa 180° an, läßt diesen Anlaßzustand aber nur für den Schneidenteil *a* bestehen, läßt hinterher das Schaftende *b* gelb und die Ansatzstelle des Schaftes *c*, da hier die Kerbwirkung gefährlich werden könnte, blau anlaufen.

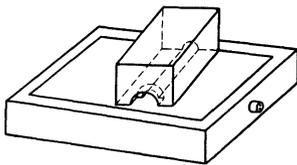


Abb. 103. Anlassen auf elektrisch geheizter Platte.



Abb. 104.



Abb. 105.

42. Anlaßtemperatur. Zum Vergüten von Konstruktionsteilen geht man auf Anlaßtemperaturen bis 700° , je nach der

Stahlsorte und den Anforderungen an die mechanischen Güterwerte der Werkstücke. Für federnde Teile geht man bis auf 500° und mehr und für auf Schlag beanspruchte, wie Meißel, bis auf 300° , für ruhig arbeitende Schneidwerkzeuge nur bis wenig über 200° , für Meßwerkzeuge herunter bis auf 100° . Dabei bestimmt aber nicht nur der Verwendungszweck die Temperatur, sondern auch die Härtung, die Stahlsorte, die Anlaßzeit und besondere Umstände.

Die Härtung erfordert ein Anlassen um so mehr, je schroffer abgeschreckt wurde. Die Temperaturangaben oben gelten zunächst nur für gewöhnlichen (Kohlenstoff-) Werkzeugstahl. Für niedrig legierten Stahl sind die Temperaturen nicht wesentlich anders, wohl aber für hochlegierten. So wird Schnellstahl zum Entspannen zwar auf $200 \cdots 275^{\circ}$ angelassen, jedoch hochwertige Sorten zur Erhöhung der Anlaßhärte auf $550 \cdots 600^{\circ}$. Hochlegierte Stähle für Warmpreß-

matrizen u. dgl. werden je nach der Legierung auf 400...700° angelassen, während wieder manche Sonderstähle zum Bearbeiten sehr harter Werkstücke gar nicht angelassen werden.

In allen Fällen hat die Anlaßzeit einen erheblichen Einfluß in der Richtung, daß mit der Zeit die Wirkung des Anlassens steigt. Dicke Stücke, wie z. B. Gesenke, sollen immer mehrere Stunden angelassen werden. Lange Anlaßzeit ist unersetzlich für das Entspannen von Parallelendmaßen und anderen Meßwerkzeugen, die glashart sein müssen und daher nicht auf hohe Temperaturen angelassen werden dürfen. Man hält sie 24 Stunden und länger bei 100...150°.

Auch in anderen Fällen macht man von der entspannenden Wirkung langer Anlaßzeit Gebrauch: große Kaltmatrizen läßt man statt auf höhere Temperatur wohl auf nur 200° an, dafür aber 12 Stunden lang und länger (Altern).

Von besonderen Umständen, die auf die Anlaßtemperatur Einfluß haben können, sei erwähnt die Notwendigkeit, ein Werkzeug eben noch feilen zu können, wie es z. B. für Schneideisen zum Nachschärfen erforderlich ist.

Daß bei diesen Verhältnissen die Anlaßtemperaturen, die in Tabelle 6 zusammengestellt sind, nur als Anhalt dienen sollen und können, ist selbstverständlich. Es kann daher auch nötig werden, über die dort angegebenen Grenzen nach oben oder unten hinauszugehen.

Tabelle 6. Anlaßtemperaturen für Werkzeuge. (C-Stahl.)

Werkzeuge	Anlaßtemperatur in °C
Kaltwalzen, Riffelmesser; empfiehlt sich überhaupt in allen Fällen zur Entspannung, wenn man mit Rücksicht auf die Erhaltung der Härte nicht höher anlassen will	100 Auskochen in Wasser
Altern, s. Abschnitt 42	120
Kleine Kaltschlagbacken und kleine Preßwerkzeuge, Münz- und Medaillenstempel, Grabstichel, Spurzpannen, Polierhämmer, Spiralbohrer, Papierschnidmesser	200 blaßgelb
Reibahlen, Fräser, Metallsägen, Handhämmer, Tabakmesser, Gewindebohrer, flache Gesenke	220 strohgelb
Schneidbacken, Spurzapfen, Handhämmer, Stoßhämmer, Rasiermesser, Gewindebohrer	240 braun
Rasiermesser, Lederschnitte, Gewindebohrer, Holzbeitel, Lochstempel	260 purpur
Feilhauermeißel, Handmeißel, Döpper, Holzfräser, Schrotmeißel, Kronbohrer, Taschenmesser	280 violett
Tiefe Gesenke, Dolche, Sensen, Tischmesser, Warmschrotmeißel, feine Sägen, Holzbohrer, Holzhacken, Äxte, Beile, chirurgische Instrumente, Schusterahlen, Scherenmesser	290... 320 blau
Große Kaltschlagwerkzeuge, Scherenmesser, Sensen	350... 450 blaugrau bis grau

V. Das Einsatzhärten.

Im Werkstattbuch Heft 7 sind Bedeutung und Wesen der Einsatzhärtung ausführlich besprochen worden. Es handelt sich darum, Werkstücke aus niedrig gekohlttem, weichem, legiertem oder unlegiertem Stahl außen mit einer kohlenstoffreichen Schicht zu versehen, die gehärtet werden kann wie Werkzeugstahl. Auf diese Weise erhält man Werkstücke, die außen überall oder stellenweise glashart, innen aber weich und zäh sind.

Die zu härtenden Stellen der Oberfläche werden durch Glühen in kohlenstoff-abgebenden Mitteln mit Kohlenstoff angereichert (einsetzen, zementieren). Dem Härten der eingesetzten Flächen geht meist noch ein Vergüten voraus.

A. Einsetzen (Zementieren).

43. Einsatzmittel. Man unterscheidet feste, flüssige und gasförmige Mittel.

a) Die festen Mittel. Sie werden in Kästen od. dgl. fest um die Werkstücke gestampft; sie müssen deshalb immer kleinstückig sein, um so feiner, je kleiner das einzusetzende Werkstück ist. Altbekannt und bewährt sind: gepulverte Lederkohle und Knochenkohle, die beide neben Kohlenstoff auch Stickstoff enthalten. Sehr kräftig und ausgiebig zementieren Gemische aus Holzkohle und Bariumkarbonat (oder Kaliumkarbonat oder Natriumkarbonat), und zwar im Verhältnis von 2 : 1 bis 3 : 1 (Gewichtsteilen), auch gemischt mit anderen Stoffen. So hat sich ein Gemisch aus 84 Holzkohle, 10 Kaliumkarbonat und 6 Bariumkarbonat gut bewährt. Gelbes Blutlaugensalz zementiert sehr kräftig; es wird wohl in geringen Mengen den Gemischen zugesetzt. Es empfiehlt sich, die Zusammensetzung der Einsatzpulver selbst nicht vorzunehmen, sondern dieselben von maßgebenden Firmen¹ zu beziehen.

b) Die flüssigen Mittel. Wo sie anwendbar sind, sind sie sehr bequem. Sie sind auf die Einsatztemperatur erhitzte Salzbäder, in die die Werkstücke eingetaucht werden. Als Salz wird Zyankali oder besser der Durferrit-Zyanhärtefluß der Degussa benutzt. Sie führen dem Stahl außer Kohlenstoff auch Stickstoff zu. Da sie auf jeden Fall giftig sind, dürfen sie nur unter den in Abschn. 9 erörterten Schutzmaßnahmen benutzt werden. Die Teile bleiben in den Bädern ganz sauber.

Möglich ist es auch, Kaliumzyanid in irgendein neutrales Salzbad zu geben.

c) Die gasförmigen Mittel. Benutzt wird vor allem Leuchtgas, das ein vorzügliches und bequemes Einsatzmittel ist. In Betracht kommen ferner: Teerölgas, Azetylen und Kohlenoxyd, dem man auch wohl des Stickstoffs wegen Ammoniak beimischt. Azetylen kann ohne besonderen Ofen zum örtlichen Kohlen benutzt werden mit dem Azetylen-Sauerstoff-Schweißbrenner. Beim autogenen Schweißen ist Vorsicht geboten, da nicht selten eine Aufkohlung unbeabsichtigt eintritt. Zum Nitrieren dient nur Ammoniak (s. Werkstattbuch Heft 7: Härten durch Nitrieren). Ein Vorteil ist, daß die Gase die Werkstücke nicht verschmutzen.

44. Anforderungen und Auswahl. An ein gutes Einsatzmittel sind folgende Anforderungen zu stellen:

1. es muß zuverlässig und gleichmäßig aufkohlen,
2. es muß den verlangten Kohlenstoffgehalt und die nötige Schichtdicke bei mäßiger Temperatur (nicht über 900°) und bei nicht zu langer Glühzeit geben,
3. es soll die aufgekohlte Schicht nicht spröde machen, nicht über 1% aufkohlen und eine Schicht bilden, die allmählich in den nichtaufgekohlten Kern übergeht,
4. es darf dem Stahl keine schädlichen Stoffe, wie z. B. Schwefel, zuführen und soll die Oberfläche des Stahls möglichst wenig verschmutzen,
5. es soll einfach, bequem und sauber zu handhaben sein,
6. es soll sich nicht zu leicht erschöpfen, bzw. es soll, Preis und Leistung berücksichtigt, wirtschaftlich sein.

Die flüssigen Mittel werden für kleine und mittlere Teile in steigendem Maße benutzt, wenn die Schicht nur einige zehntel Millimeter stark zu sein braucht²

¹ Fa. Goering & Co. KG., Mannheim. Fa. Dr. Erwin Hundt, Wuppertal-Elberfeld. Fa. Carl H. Braun, Nagold (Württemberg).

² Die Degussa, Abteilung Durferrit, liefert ein Salz, mit dem man Einsatziefen über 1½ mm erzielen kann.

und genügend Teile einzusetzen sind. Man erspart das Einpacken und spart an Durchwärmungszeit (da Kästen und Pulver nicht mit zu erwärmen sind).

Auch das Einsetzen mit Gas gewinnt an Boden, da es alle die Vorteile der flüssigen Mittel hat, außerdem aber auch für Teile jeder Größe von den kleinsten bis zu den größten (Panzerplatten) geeignet ist. Weiche Stellen, wie sie bei festem Einsatzpulver leicht mal entstehen, kommen beim Einsetzen mit Gas nicht vor. Es verlangt jedoch einen besonderen Ofen, der sich nur bei großer Fertigung lohnt. Für lange Teile, wie Spindeln, Lokomotivgleitstangen u. dgl., werden die Öfen so ausgeführt, daß die Werkstücke hängen können.

45. Das Einpacken in feste Mittel. Vor dem Einpacken müssen die Werkstücke von Öl, Fett und sonstigen Verunreinigungen gut befreit werden. Sie werden im Kasten mit dem Mittel fest umstampft, so daß es überall gut an der Oberfläche anliegt. Die Kästen sollen nicht zu groß sein, damit nicht unnötig viel Einsatzpulver einzustampfen ist, sie sollen aber auch nicht zu klein sein, damit die Pulverschicht überall stark genug sein kann, und die Teile nirgends zu nahe an die Kastenwand kommen. Große Teile werden einzeln oder zu wenigen in einen Kasten gepackt, der der Form der Teile entspricht, kleinere in mehreren Lagen geschichtet; jedoch empfiehlt es sich nicht, sehr viele kleine Teile in einen großen Kasten zu packen, weil sonst die außen liegenden Teile bereits hoch erhitzt sind, während die innen liegenden noch kaum warm sind, und schließlich so entweder die außen liegenden Teile zu viel oder die innen liegenden zu wenig Kohlenstoff aufnehmen. Frisches Pulver braucht nur unmittelbar an den einzusetzenden Flächen zu sein, an den Kastenwänden und oben zum Ausfüllen bis zum Deckel genügt schon gebrauchtes Pulver. Der Deckel muß luftdicht verschlossen werden,

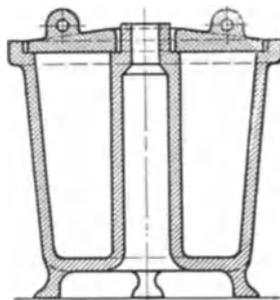


Abb. 106. Einsatztopf.

Einsetzungspulver, Lehm.



Abb. 107.

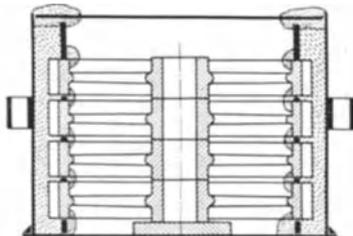


Abb. 108.

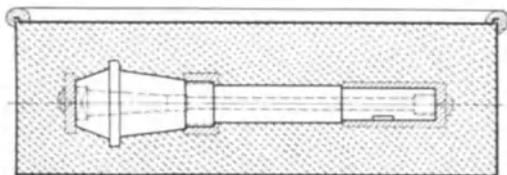


Abb. 110.

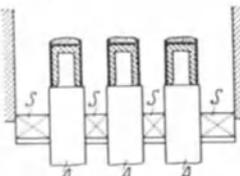
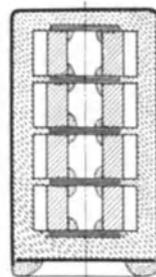
Abb. 111. A = Achsen;
S = Schamottesteine.

Abb. 109.

Abb. 107...111. Teile zum Einsetzen eingepackte Teile.

damit die Einsatzgase nicht hinaus und die Ofengase nicht hinein können. Man benutzt zum Verschließen meist Lehm, dem man wohl etwas Salz zusetzt. Abb. 107...111 zeigen verschiedene zum Einsetzen eingepackte Teile.

Wird das Pulver an einer Stelle nicht gut an das Werkstück angestampft, so wird hier die Kohlenstoffaufnahme unzureichend, außerdem entsteht beim Glühen leicht ein Hohlraum, der langen Stücken die Möglichkeit gibt sich durchzubiegen.

Die Einsatzkästen sind aus Stahlblech gezogen, genietet oder geschweißt. Temperguß oder Stahlguß sind auch zu brauchen, während Grauguß seiner Durchlässigkeit wegen wenig geeignet ist. Hitzebeständiger Stahl und Chromnickel haben die in Abschn. 7 erwähnten Vor- und Nachteile. Die Kästen sind im Querschnitt meist rechteckig, doch oft auch rund, wenn die Form des Arbeitsstücks es verlangt. So dient der Topf Abb. 106 zum Einsetzen von Zahnkränzen. Die Füße unten und das Loch in der Mitte gestatten den Heizgasen, den Topf überall gut zu umspülen und sichern dadurch eine schnelle und gleichmäßige Erwärmung. Für Spindeln u. dgl. werden auch Rohre benutzt, an beiden Enden gut verschlossen.

46. Örtliches Kohlen. Sollen nur bestimmte Teile der Oberfläche aufgekohlt werden, so kann man das auf zweierlei Weise erreichen:

1. dadurch, daß man die Stellen der Oberfläche, die weich bleiben sollen, durch einen Überzug schützt,

2. dadurch, daß man zunächst die ganze Oberfläche aufkohlt und dann hinterher die gekohlte Schicht an den Stellen, die weich bleiben sollen, entfernt — was voraussetzt, daß an diesen Stellen bei der vorhergegangenen Bearbeitung eine Zugabe stehengeblieben ist, etwas stärker als die aufgekohlte Schicht.

Dem zweiten Verfahren ist seiner größeren Zuverlässigkeit wegen der Vorzug zu geben.

Zu 1: eine gute Deckschicht darf nicht reißen, nicht abbröckeln, nicht schwinden, sich nicht ausdehnen, sich nicht einfressen und muß billig sein. Es werden sehr verschiedene Stoffe als Schutzschichten benutzt:

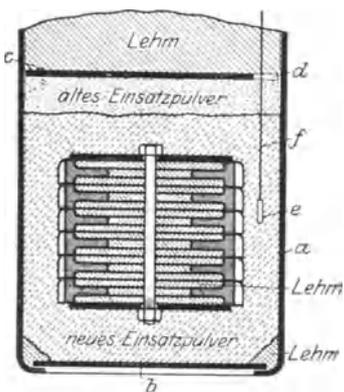


Abb. 112. Automobilzahnrad zum Zementieren.
a = Rohr; *b* = Bodenblech; *c* = Deckel;
d = Öffnung für *e-f*; *e* = Probestäbchen; *f* = Draht.

a) Lehm und Gemische mit Lehm. Gewöhnlicher Lehm allein ist wenig geeignet. Auch wenn man ihn langsam trocknen läßt, reißt er leicht; doch ist er sehr billig. Damit der Lehm nicht abplatzt, umwickelt man ihn wohl mit Draht oder gibt einige Drahtwindungen unmittelbar auf die zu schützende Stelle (s. Abb. 107). Auch wickelt man gelegentlich wohl Asbest unter den Lehm, damit das Werkstück nicht verschmiert. Vorzüglich bewährt sind folgende Gemische: 1 Teil Wasserglas und 2 Teile Sand zu 4 Teilen Ton oder je 1 Teil Bleioxyd und Natronsalpeter mit 3 Teilen Borax zu je 10 Teilen Sand und Ton. Es gibt auch gute Gemische zu kaufen. Fraglich ist immer nur die Wirtschaftlichkeit.

b) Kupfer, das galvanisch in dünner Schicht von 0,025...0,05 mm aufgebracht wird. Dabei werden die Stellen, die nicht verkupfert werden sollen (die beim Einsetzen aufgekohlt werden), mit Email od. dgl.

überzogen, oder es wird hinterher der Kupferüberzug dort wieder entfernt. Das Verkupfern verlangt glatte, sorgfältig gereinigte Flächen, auch ist der Schutz zeitlich begrenzt und für große Werkstücke schwierig herzustellen.

c) Eiserner Teile, die als Ringe (für Wellen und Räder), Dorne (für Bohrungen), Platten (für ebene Flächen) usw. bei Reihen- und Massenfertigung gern benutzt werden, manchmal allein, öfters zusammen mit Lehm. Das Verspannen der eisernen Teile durch Schrauben wie in Abb. 112 ist nicht ganz befriedigend, weil die Mutter im Gewinde leicht festbrennt. Sehr geschickt ist die Verwendung der

eisernen mit Lehm gedichteten Ringe zwischen, über und unter den Radkränzen in Abb. 108, die Nabe und Arme ganz frei zu lassen gestatten, während in Abb. 109 zwischen den Ritzeln Blechscheiben, beiderseits mit Lehmestbest bedeckt, abdichten.

Zu 2: Das Verfahren ist immer dann zweckmäßig, wenn die Stellen der Werkstücke, die nicht aufgekohlt werden sollen, sowieso bearbeitet werden müssen und nach dem Einsetzen bequem bearbeitet werden können, wie z. B. Spindeln, bei denen man dann nur die Körner etwas mit Lehm verschmiert (Abb. 110). Die schraffierten Flächen geben das Übermaß an, das nach dem Einsetzen abgedreht wird.

47. Das Glühen in festen Mitteln. Wenn die Kästen eingebracht werden, sollte der Ofen nicht heißer als $400 \cdots 500^{\circ}$ sein.

a) Glühtemperatur. Je nach dem Stahl und dem Einsatzpulver beträgt sie zwischen etwa 800 und 900° . Sie muß unbedingt dauernd durch Pyrometer kontrolliert werden. Eine möglichst hohe Temperatur verkürzt wohl die Glühzeit, kann aber für den Stahl und auch die Aufkohlung erhebliche Nachteile haben; außerdem leiden Ofen und Einsatzkasten zunehmend mit der Temperatur. Niedriggekohlter Stahl ist gegen hohe Temperatur weniger empfindlich als höher gekohlter, legierter weniger als unlegierter. Auch das Pulver hat einen Einfluß: Bariumkarbonat z. B. verlangt eine höhere Temperatur als Lederkohle oder Knochenkohle.

b) Glühdauer. Die Zeit zunächst, bis die Werkstücke im Kasten völlig durchgeglüht sind, beträgt mehrere Stunden (bis 20 und mehr), je nach der Stärke der Werkstücke; man bestimmt sie am besten dadurch, daß man einige Kontrollstifte mit in den Kasten gibt (s. Abb. 32).

Die Zeit sodann für das eigentliche Aufkohlen hängt von der Schichtdicke und dem Werkstoff ab: sie ist um so größer, je dicker die Schicht sein muß, und ist für Nickel- und Chromnickelstahl $2,5 \cdots 4$ mal so groß wie für unlegierten Stahl. Wenn man die richtige Glühzeit aus der Erfahrung nicht einigermaßen genau kennt, so ist es zu empfehlen, kleine Probestücke aus demselben Stahl an Bindedraht mit einzusetzen (s. Abb. 112). Zieht man dann von Zeit zu Zeit ein Stück mit dem Draht aus dem Kasten, schreckt es ab und bricht es durch, so kann man an der Bruchfläche leicht die Tiefe der Zementation erkennen. Die Betriebe schaffen sich auch wohl für ihre Bedürfnisse Faustformeln für die Einsatzzeit, die natürlich nicht ohne weiteres in anderen Betrieben zu verwenden sind. So hat sich für Spindeln u. dgl. für Werkzeugmaschinen folgende Formel bewährt:

Eigentliche Einsatzzeit = $a \times \varnothing$ des Werkstücks in cm, wobei $a = 1$ ist für gewöhnlichen Stahl und $= 2,5$ für den üblichen Nickel- und Chromnickelstahl. Man erreicht mit geeignetem Einsatzpulver ohne Schwierigkeiten Schichtdicken bis 3 mm, die für fast alle Fälle genügen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Einsatzschicht zunächst um das Maß stärker sein muß, das hinterher abgeschliffen wird.

48. Einsetzen in Zementierbädern. Mit größtem Erfolge werden in neuerer Zeit die Durferrit-Zementationsbäder verwandt. Die verschiedenen Badzusammensetzungen können hinsichtlich ihrer Wirkung leicht jedem Verwendungszweck angepaßt werden.

49. Zementieren mit Leuchtgas. Beim Einsetzen mit Gas kommen die Werkstücke in eine Art Muffel oder Retorte, die von außen, auch meist mit Leuchtgas, geheizt wird. In die Muffel wird dauernd ein Strom von Leuchtgas geleitet, das nach Abgabe von Kohlenstoff u. dgl. wieder aus der Muffel austritt und zweckmäßig gleich angezündet wird.

Abb. 113 zeigt einen Leuchtgas-Einsatzofen mit Retorte für kleine Werkstücke. Die Retorte läuft langsam um, damit die Werkstücke recht gleichmäßig erwärmt und gekohlt werden. Der ganze Ofen ist um eine waagerechte Achse kippbar, damit man die Werkstücke nach dem Einsetzen in ein untergestelltes Bad stürzen kann. Die Werkstücke dürfen nicht empfindlich, auch nicht stellenweise durch

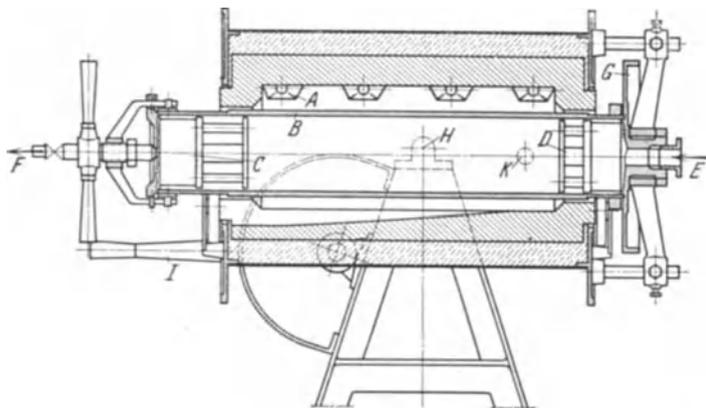


Abb. 113. Gas-Einsatzofen mit umlaufender Retorte. (Alfred H. Schütte, Köln.)
 A = Brenner; B = Retorte; C = Verschuß, lösbar; D = Verschuß, fest; E = Gaseintritt; F = Gasaustritt; G = Schaltscheibe für Drehbewegung; H = Kippachse; I = Kippvorrichtung; K = Temperaturmeßstelle.

Lehm abgedeckt sein, da sie beim Umlaufen der Retorte ständig durcheinanderfallen. Will man Spindeln od. dgl. einsetzen, so benutzt man eine einfache Aufnahme, die in die Retorte paßt und die Spindeln stets auseinander und waagrecht hält.

Beim Einsetzen mit Leuchtgas kann man leicht Einsatz-tiefen von 4 mm er-

reichen, ohne daß ein spröde machender Gefügebestandteil (Eisenkarbid) auftritt. Auch kann man bei vielen Stählen bis nahe an 1000° Einsatztemperatur gehen, ohne daß der Stahl besonders grobkörnig wird.

Zum Zwecke einer schnellen Aufkohlung und gleichzeitiger Erhöhung der Oberflächenhärte wird sehr oft ein gewisser Prozentsatz Ammoniakgas zugesetzt (Aufstickung). Desgleichen werden mit Erfolg trockene Vergasungspulver verwandt, die in der Hitze aufkohlende Gase entwickeln und so die Oberfläche der Werkstücke aufkohlen.

50. Nitrierverfahren (Stickstoffhärtung). Beim Nitrieren erfolgt eine Oberflächenhärtung durch Übergang von Stickstoff aus dem Ammoniakgasstrom in das Werkstück. Der wesentliche Vorteil den anderen Einsatzverfahren gegenüber besteht darin, daß die Aufnahme des Stickstoffs schon bei sehr niedriger Temperatur von etwa 580° C stattfindet und ein Abschrecken in Kühlflüssigkeiten nicht erforderlich ist.

Hierdurch erhält man fast verzugsfreie Härtung, sofern nicht unterlassen wurde, die Werkzeuge vorher spannungsfrei zu glühen. Ein Abplatzen der gehärteten Schicht tritt nicht ein. Die erzielten Härten übertreffen selbst noch die Härte eines in Wasser gehärteten Stahles.

Beim Nitrieren selbst findet eine leichte Volumenzunahme statt, die aber gleichmäßig verläuft (etwa 0,02...0,03 mm allseitig) und vorher mit berücksichtigt werden kann.

Die Bearbeitbarkeit der vergüteten Nitrierstähle ist gut. Zum Nitrieren eignen sich nicht alle normalen Einsatzstähle. Es sind hierfür bestimmte Sonderstähle entwickelt worden, die in ihren Eigenschaften den normalen Chrom- und Chromnickel-Baustählen entsprechen.

In den letzten Jahren hat die Einführung der Oberflächenverstickung bei Schnellstahlwerkzeugen mehr und mehr Eingang in die Praxis gefunden.

Durch eine Nachbehandlung der fertiggehärteten, angelassenen und eventuell

geschliffenen Werkzeuge in einem Zyanbade¹ tritt infolge Stickstoffaufnahme eine sehr erhebliche Härtesteigerung der Oberfläche ein. (Etwa 1200 Vickers-Einheiten oder 72 Rockwell-C-Einheiten. Härtewerte infolge der dünnen Härteschicht schwer zu ermitteln.)

Es empfiehlt sich in erster Linie, die Verstickung an Werkzeugen aus den niedriglegierten Stählen der Gruppe ABC anzuwenden, da bei den hochlegierten (Gruppe E) sehr leicht eine zu hohe Sprödigkeit auftreten kann. Die günstigste Badtemperatur liegt etwa 20° C unter der zuletzt angewandten Anlaßtemperatur. Bei einer Zeitdauer von etwa einer Stunde, die möglichst nicht überschritten werden soll, da dann zu leicht eine Versprödung der Oberfläche eintritt, werden Eindringungstiefen bis r. 0,04 mm erreicht. Die Abkühlung der Werkzeuge soll an ruhiger Zimmerluft erfolgen. Die Leistungssteigerung der so behandelten Werkzeuge, insbesondere Reibahlen, Gewindebohrer und Gewindefräser, ist oft sehr beträchtlich. Es muß aber berücksichtigt werden, daß die Verstickung nur an Werkzeugen mit ruhender, rein mechanischer Beanspruchung Aussicht auf Erfolg verbürgt. Bei Werkzeugen, wie z. B. Schruppfräsern, die stoßweise arbeiten und bei denen gleichzeitig die Schneiden einer starken Erwärmung ausgesetzt sind, brechen dieselben mikroskopisch fein aus und werden frühzeitig stumpf.

51. Brennhärten². Beim Brennhärten handelt es sich um ein in neuerer Zeit entwickeltes Verfahren zur Oberflächenhärtung von Vergütungsstählen. Gehärtet wird durch Erhitzen mit besonders konstruierten Brennern und unmittelbar anschließendes Abkühlen der Oberfläche durch einen Wasserstrahl (Abb. 114). Mit diesem Verfahren kann man alle auf Verschleiß beanspruchten Maschinenteile, Wellen, Getriebe, Zahnräder, Laufrollen usw., nur an den dem Verschleiß ausgesetzten Flächen bequem und äußerst wirtschaftlich härten. Abb. 115 zeigt an dem Schliffbild eines nach diesem Verfahren gehärteten Zahnrades, daß nur die Zahnflanken gehärtet sind.

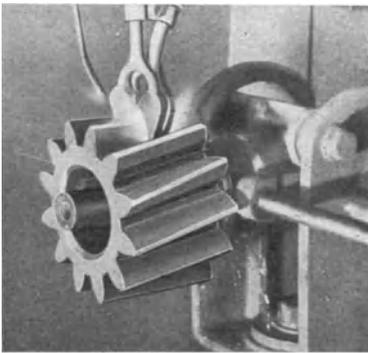


Abb. 114. Beidflankenhärtung von schräg verzahnten Zahnrädern.

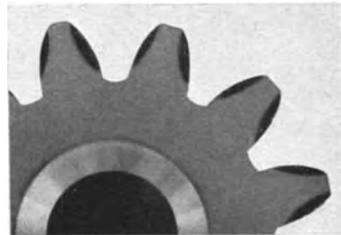


Abb. 115. Schliffbild eines mit dem Brenner gehärteten Zahnrades.

B. Zwischenbehandlung und Härten.

52. Warmbehandlung nach dem Einsetzen. Das früher allgemein übliche Verfahren: gleich aus der Einsatzhitze endgültig zu härten, ist heute nur noch für kleinere Teile üblich, an deren Zähigkeit keine großen Ansprüche gestellt werden. Für größere und höher beanspruchte Teile folgt dem Einsetzen noch eine Zwischen-

¹ Zusammensetzung und ausführliche Angaben zu erfahren durch die Durferrit-G. m. b. H., Frankfurt a. M.

² Näheres s. Werkstattbuch Heft 89.

behandlung (Glühen nach langsamem Abkühlen oder Glühen nach dem Abschrecken) zur Erhöhung der Zähigkeit, bevor die eingesetzten Flächen von etwa 780° gehärtet werden, bei den unlegierten Stählen in Wasser (oder etwas milder in Kalkwasser od. dgl.), bei den legierten Stählen in Öl. Schließlich läßt man die Teile, besonders bei legiertem Stahl, auch auf etwa 200° an. Näheres über diese Zwischenbehandlung ist in Werkstattbuch Heft 7 gesagt.

53. Mechanische Behandlung. Nach dem Einsetzen, vor dem Härten, müssen die Werkstücke oft auch mechanisch behandelt werden: In festen Mitteln eingesetzte Werkstücke und besonders mit Lehm abgedeckte Stellen werden gereinigt. Die aufgekohlte Schicht wird von Stellen, die weich bleiben sollen, mechanisch entfernt. Weiche Stellen werden zuweilen zum Schleifen vorgedreht usw. Längliche Stücke müssen vor dem Drehen gerichtet werden.

Nach dem Härten werden ebene Flächen sehr oft, aber auch Zahnflanken, Lagerzapfen von Spindeln und Achsen usw. geschliffen, wobei wieder längere Teile erst gerichtet werden müssen.

C. Besondere Arten des Einsatzhärtens.

54. Abbrennen. Kleine Teile sollen oft stellenweise eine leichte Einsatzhärtung erhalten, wie z. B. die Köpfe und Druckenden von Schrauben, die Körner von Dornen usw. Hat man ein Zyanbad, so ist es für diesen Zweck sehr geeignet (s. Abschn. 43), hat man aber keins, so brennt man die Stellen mit „Kali“, das ist Ferrozyankali (gelbes Blutlaugensalz), in folgender Weise ab: man erhitzt, am besten im Bleibad, die zu härtende Stelle kirschrot, gibt reichlich Kali auf, erhitzt nochmals und schreckt dann ab. Man wiederholt diese Behandlung mehrere Male. Statt Kali verwendet man auch käufliche Aufstreupulver. Die harte Schicht wird nur sehr dünn, auch nicht sehr gleichmäßig, genügt aber für diese Zwecke.

55. Bunthärten. Teile wie Schraubenschlüssel, Griffe, Muttern, Knöpfe usw. pflegt man zu einer leichten Einsatzhärte an der Oberfläche noch buntwolkig zu färben, sowohl für das hübsche Aussehen wie für den Rostschutz. Man erzielt

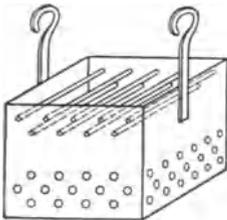


Abb. 116. Siebkorb für Bunthärten.

die Härtung und Färbung in folgender Weise: die Teile werden sorgfältig entfettet und blank geputzt und, ohne sie mit der Hand anzufassen, in einen Kasten eingepackt. Als Einsatzpulver dient gemahlene Knochenkohle oder ein Gemisch aus Knochenkohle und Holzkohle. Die Teile werden 4...6 Stunden bei nicht mehr als 900° geglüht und dann unmittelbar mit dem Einsatzpulver aus dem Kasten in ein Wasserbad gestürzt, so daß sie mit der Luft nicht in Berührung kommen. In das Wasserbad wird ein Sieb eingehängt, das die Teile aufnimmt, das Einsatzpulver aber auf den Boden des Bades hindurch-

fallen läßt. Empfehlenswert ist es für manche Teile, in das Sieb Stäbe einzusetzen, wie in Abb. 116 angedeutet. Die Teile stoßen dann beim Sinken gegen die Stäbe, geben das anhaftende Einsatzpulver ab und werden gedreht, so daß sie gleichmäßig abgekühlt und rein unten ankommen. Um das Bad in Bewegung zu halten, läßt man immer Wasser zulaufen, oder man leitet Preßluft ein. Nach diesem Abschrecken läßt man die Teile am besten 5 Minuten in kochendem Wasser an und fettet sie etwas ein oder bestreicht sie mit Zaponlack.

Beliebige Farben von Hellgelb bis Dunkelpurpur kann man in folgender Weise erzielen: nach dem Abschrecken poliert man die Teile sauber und blank und erhitzt sie in einem Gasofen oder in einer Gasflamme, bis die gewünschte Farbe erscheint, dann kühlt man sie in kaltem Wasser ab.

Am einfachsten und sichersten härtet man in einem Bad von reinem Zyankali bunt bei etwa 780° , indem man die Teile nach dem Durchwärmen noch etwa $8 \cdots 10$ Minuten im Bad läßt und sie dann in Wasser abkühlt.

56. Einsetzen von Werkzeug- und Vergütungsstahl. Das Erhitzen von Werkzeugstahl in aufkohlenden Salzbädern, das schon erwähnt wurde, hat nur den Zweck, ein Entkohlen beim Erhitzen zu verhindern bzw. ganz wenig Kohlenstoff zuzuführen und besonders, leicht entkohlte Stellen wieder aufzukohlen. Man wendet es an, wenn man sonst Schwierigkeiten hat, überall gute Glashärte zu erzielen, oder wenn man, um Verziehen und Reißen zu verhindern, in Öl statt in Wasser abkühlen will. Bedingung ist, daß man den Stahl nicht höher und länger erhitzt als zum gewöhnlichen Härten gut ist, denn sonst wird er spröde, sei es durch das Aufkohlen, sei es durch das überhitzte Härten.

Leichtes Einsetzen von Vergütungsstahl hat den Zweck, den Werkstücken, z. B. Zahnrädern, bei der Vergütung zugleich eine, wenn auch sehr dünne, harte Schicht zu geben, um die Abnutzung zu verringern. Man erhitzt wieder im Zementierbad auf etwa 850° , kühlt in Öl ab und läßt auf ungefähr 250° an. Höhere Anlaßtemperatur ist nicht angängig, da die Härte der äußersten Schicht sonst erheblich abnähme.

VI. Reinigen und Richten.

57. Reinigen. Wie dem Härten oft ein Reinigen vorauszugehen hat, so ist es in vielen Fällen auch hinterher nötig oder doch erwünscht.

In neutralem Salz erhitzte, in Wasser abgeschreckte und in Salz angelassene Werkstücke sind ohne weiteres fast völlig blank, so daß für das Aussehen irgendeine Nachbehandlung unnötig ist. Anders, wenn im Glühofen erhitzt, in Öl abgeschreckt oder in Öl angelassen wird. Die Werkstücke sind dann mehr oder weniger dunkel, fleckig, unsauber, ölig.

Manchmal werden Teile, die beim Härten sehr schmutzig geworden sind, vor dem Anlassen gebürstet oder in verdünnter Schwefelsäure gebeizt. Das vom Abschrecken oder Anlassen anhaftende Öl kann man sehr gut mit Sägemehl absaugen; der dunkle Farbton vom Öl bleibt dabei erhalten. Gründlicher entfernt man das Öl durch Abkochen in Sodawasser oder in den im Handel käuflichen Entfettungsmitteln. Das hat, gleich nach dem Anlassen ausgeführt, noch den Vorteil, daß es ein stufenweises Abkühlen ergibt. Vor dem Abkochen in Sodawasser taucht man die Teile wohl in Petroleum von 50° , um das Aufschäumen des Sodawassers zu vermeiden.

Kleine einfache Teile werden bei Massenherstellung mit Zunder, Sand od. dgl. blank getrommelt (in sich drehenden Scheuertrommeln).

Will man durch das Abkühlen in Öl eine gleichmäßig dunkle Oberfläche haben, z. B. für Schraubenschlüssel u. dgl., so rauht man die Fläche vor dem Härten im Sandstrahlgebläse auf.

58. Richten. Längliche Teile, wie Achsen, Spindeln, Reibahlen, Bohrer, ferner flache Teile, wie Sägeblätter, Ringe, Messer, die sich beim Härten geworfen haben, müssen gerichtet werden. Bei flachen Teilen kann das einfach mit dem Hammer auf der Richtplatte geschehen. Die aufgebogene Stelle wird dadurch zurückgeholt, daß man mit der Finne eines nicht zu schweren Hammers auf die hohle Seite schlägt und sie dadurch streckt.

Zylindrische Teile können auch so gerichtet werden, doch zieht man meist vor, sie durchzudrücken. Handelt es sich, wie bei eingesetzten, um nur teilweise harte Werkstücke, so besteht keine Schwierigkeit: man drückt die erhabene Stelle in

der üblichen Weise unter der Hand- oder hydraulischen Presse durch. Anders, wenn die Teile völlig hart sind wie Werkzeuge. Dann muß man sehr vorsichtig vorgehen, muß besonders die durchzudrückende Stelle erwärmen. 150···200° dürften ausreichen und schaden auch der Härte des Werkstücks nicht (sie können als ein zweites Anlassen angesehen werden). Abb. 117 zeigt schematisch eine

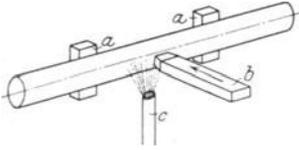


Abb. 117. Richten zylindrischer Teile.
a, a = Auflageprismen; b = Durchdruckstahl; c = Bunsenbrenner.

geeignete Anordnung: das Werkstück liegt in zwei (in ihrer Entfernung verstellbaren) Prismen oder auch zwischen Spitzen, von vorn drückt ein flaches Stahlstück, das mit einem Schlitten vorgekurbelt wird, während von unten ein Bunsenbrenner erwärmt. Nach dem Richten soll das Werkstück langsam abkühlen.

Werkstücke aus Schnellstahl und hochlegierten Chromstählen kann man unmittelbar nach dem Abkühlen verhältnismäßig leicht ohne Erwärmen richten, da sie erst nach längerer Zeit ihre volle Härte annehmen.

Bei Werkzeugen, wie Fräsern u. dgl., ist ein Richten meist nicht möglich. Etwaige Verzerrungen kann man nur durch Schleifen bzw. zweckmäßige Aufnahme beim Schleifen wieder gutmachen.

VII. Ursache und Vermeidung der Fehler. Kontrolle.

Ist ein Werkstück gerissen, ist es zu weich oder entspricht es sonst den Anforderungen nicht, so sollte man immer versuchen, die Ursache dafür zu finden, schon, damit man das nächste Mal den Fehler vermeiden kann. Manchmal ist es allerdings selbst für den erfahrenen Fachmann nicht leicht, sie zu finden. Es muß dann vor allem die Behandlung, die das Werkstück erfahren hat, möglichst genau festgestellt werden; doch geht es oft auch ohne mikroskopische Untersuchung des Gefüges und ohne chemische Analyse der Zusammensetzung des Stahls nicht ab.

59. Spannungen und Sprödigkeit. Daß sie bis zu einem gewissen Grade beim Abschrecken unvermeidlich sind, aber auch, wie sie möglichst hintanzuhalten sind, das ist im Werkstattbuch Heft 7, Abschn. 77 u. f., ausführlich erörtert.

Die Spannungen können so gering sein, daß sie gar nicht hervortreten und stören, sie können unangenehm werden und das Werkstück verzerren, sie können schließlich so groß werden, daß sie das Werkstück zerreißen. Daran hat dann oft die Sprödigkeit so viel Anteil wie die Spannungen. Deshalb ist auch das überhitzte Härten, das beide fördert, besonders nachteilig. Es kommt jedoch recht häufig vor, besonders in schlecht eingerichteten Härtereien, durch Benutzung ungeeigneter Öfen, durch Fehlen von Pyrometern, durch unmittelbar einfallendes Sonnenlicht, das die Glühfarben nicht richtig abschätzen läßt.

Ein Fehler anderer Art, kaum seltener, ist es, wenn die Spannungen, die durch die Bearbeitung entstanden sind, nicht vor dem Härten durch Glühen aufgehoben werden. Ein solches Entspannen ist bei hochgeköhltem, unlegiertem und niedrig legiertem Werkzeugstahl am nötigsten und immer dann unerlässlich, wenn die Werkstücke sich beim Härten möglichst nicht verziehen sollen. Dabei kann Schleifen gefährlicher sein als Drehen und Hobeln. Von flachen Teilen z. B., wie Schnittplatten, Ziehmatrizen, Messer u. dgl., wird oft die entkohlte oder verzunderte Schicht abgeschliffen, womöglich noch an einer verschmierten Scheibe; erhebliche Spannungen in der äußersten Schicht sind die Folge.

Alle Spannungen im gehärteten Werkstück können durch Anlassen — möglichst hoch und möglichst lang — gemildert werden.

60. Ursache der Risse. Oft kann man aus dem Aussehen der frischen Bruchfläche oder aus der Form und dem Verlauf des Risses auf die Ursache schließen.

a) Ist die Bruchfläche rostig, so ist der Riß beim Abschrecken im Wasser entstanden, und seine Ursache ist entweder Überhitzung (s. unter c) oder ungleiches und zu schroffes Abkühlen.

b) Ist die Bruchfläche dunkel und oxydiert oder „grobfaserig“ (Holzfaserstruktur), so hat man es mit einem Fehler im Stahl zu tun.

c) Zeigt die Bruchfläche grobes Korn, so ist der Stahl überhitzt, ist sie weiß glänzend, ist der Stahl verbrannt, und dadurch seine Widerstandsfähigkeit gegen Spannungen vermindert worden.

d) Risse an vorspringenden, dünnen Teilen der Werkstücke, oft bogenförmig (Kugelrysse), sind die Folge von zu schnellem, ungleichem Erhitzen oder ungleichem Abkühlen.

e) Risse, die von scharfen Ecken oder eingeschlagenen Buchstaben ausgehen, sind die Folge der durch die Kerbwirkung sehr gesteigerten Spannungen.

f) Feine Risse auf der Oberfläche, oft muschelartig verlaufend, in den Schneiden oder in ihrer Nähe, sind nicht beim Härten entstanden, sondern bei dem darauf folgenden Schleifen. Sie sind die Folge von starker örtlicher Erwärmung.

61. Kontrolle der Risse. Ganz feine Risse sind nicht ohne weiteres nach dem Abschrecken zu erkennen; hingegen werden sie sichtbar nach dem Abblasen im Sandstrahlgebläse. Deutlich treten sie auch hervor, wenn man das Werkstück in Petroleum taucht, trocknet und mit gepulverter Kreide einreibt. Sie erscheinen dann dunkel auf hellem Grund. Auch Ätzen in verdünnter Säure macht sie erkennbar, ist aber weniger zu empfehlen.

Magnetische Prüfung. Zum einwandfreien Prüfen auf Risse werden die Werkstücke mit feinem Eisenpulver bestäubt oder in eine Aufschwemmung von feinstem Eisenpulver in Mineralöl getaucht oder mit derselben bestrichen. Bei nachfolgender Magnetisierung in eigens hierzu gebauten Apparaten¹ treten an den Fehlstellen, mögen dieselben auch noch so fein und winzig sein, deutliche Aufhäufungen von Eisenpulver auf und werden sehr leicht erkennbar.

Ein ganz anderes Verfahren, Risse zu finden, beruht auf dem Gehör. Schlägt man mit einem Metallstück gegen das frei gehaltene Werkstück, so gibt es, wenn ganz, einen hellen, scharfen, klangvollen Ton, wenn gerissen, dagegen einen matten, klanglosen. So prüft man vielfach Fräser, Kreissägen, Magnete usw. Auf dieser Tatsache beruht auch die planmäßige Prüfung von Kugellagerringen, die man eine geneigte Ebene herunterrollen und gegen einen Gußklotz stoßen läßt.

62. Ursache ungenügender Härte. Es kann entweder die ganze gehärtete Oberfläche des Werkstückes zu weich sein oder nur eine einzelne Stelle.

a) Ist die ganze Oberfläche zu weich, so kann das liegen:

am Werkstoff: es kann ein Stahl mit zu geringem Kohlenstoffgehalt gewählt sein, der überhaupt keine genügende Härte annehmen kann. Es kann auch die entkohlte Schicht, die fast jeder angelieferte Stahl hat, nicht entfernt sein, oder es kann sich beim Erhitzen eine neue derartige Schicht gebildet haben. In diesem Fall wird der Stahl unter der Schicht gut hart sein;

am Erhitzen: es kann die Glühtemperatur nicht hoch genug oder zu hoch gewesen sein. Die Härte ist dann meist auch recht ungleich, das Korn nicht gleichmäßig fein;

am Abschrecken: es kann das Abschreckmittel nicht schroff genug gewesen sein oder nicht lange genug gewirkt haben. Härte wieder ungleichmäßig (an Ecken und Kanten höher), ebenfalls das Korn.

¹ Fa. Dr. Reinhold Claren, Düsseldorf. Fa. Bruno Suschyzki, Berlin-Wilmersdorf.

b) Ist die Oberfläche stellenweise weich, so kann das (außer an den unter a angegebenen Ursachen) liegen:

am Werkstoff: er kann stellenweise entkohlt sein oder z. B. Phosphor oder Schwefel aufgenommen haben;

am Abschrecken: es können einige Stellen vom Abschreckmittel nicht stark genug gespült sein. Es können angesetztes Blei, Schmutz oder Gasblasen die Abkühlung beeinträchtigt haben; oder es kann die Stelle an der Gefäßwand angelegen haben. Vielfach werden die mittleren Stellen ebener oder gekrümmter Flächen nicht gut hart, weil die Wärmeableitung hier schlechter ist als an den Ecken und Kanten.

63. Beseitigen und Vermeiden ungenügender Härte. Oft ist ungenügende Härte durch ein wiederholtes Härten, das die anfänglichen Fehler vermeidet, zu beseitigen. Vorhergehen muß ihm ein Ausglühen des Werkstücks oder doch ein sehr vorsichtiges und langsames Erhitzen. Entkohlte Schicht ist vorher zu entfernen.

Ganz geringe, besonders auch stellenweise Entkohlung kann man auch dadurch unschädlich machen, daß man das Werkstück in aufkohlenden, zyanhaltigen Salzen erhitzt (s. Abschn. 54), oder daß man es vorher in eine kohlennde zähflüssige Masse taucht bzw. dieselbe aufstreicht.

Dicke Werkstücke, wie Stahlwalzen, starke Gewindebohrer, Reibahlen u. a. m., werden manchmal erst dann gut hart, wenn man ihren Vorrat an innerer Wärme durch Hohlbohren od. dgl. verringert.

64. Kontrolle der Härte. Ungenügende Härte ist verhältnismäßig leicht festzustellen. Das einfachste Verfahren ist die Feilprobe: greift eine feine, scharfe Feile nicht an, so ist die Oberfläche glashart, „klebt“ sie dagegen, so ist die Stelle nicht glashart. Obgleich man diese Prüfung, und mehr noch die Feststellung feinerer Unterschiede, ganz vom Gefühl und Urteil des Prüfenden und gleichmäßig guten Feilen abhängt, gibt es in vielen Fällen kein einfacheres und besseres Verfahren. Daher werden Schneidwerkzeuge, Meßwerkzeuge, ferner Lehren, Lagerzapfen, überhaupt fast alle Teile mit glasharter Oberfläche, in der Werkstatt vorwiegend mit der Feile geprüft, wenn auch oft nicht ausschließlich mit der Feile.

Die Feilprobe hat den großen Vorzug, daß sie durch eine übergelagerte, dünne weiche Schicht nicht beeinflußt wird, da die Feile hindurchfaßt; dagegen kann die Feile nicht feststellen, ob die harte Schicht nur sehr dünn ist. Die Feilprobe arbeitet schneller als irgendein anderes Verfahren, zumal das Werkstück meist mit der Hand gehalten werden kann. Aber auch, wenn es gespannt wird, kann das sehr einfach sein. So kann man z. B. Ringe in der Weise prüfen, daß man eine größere Zahl, über einen Dorn gesteckt, zusammen in einen Schraubstock spannt und nun alle hintereinander anfeilt. Mit der Feile kommt man auch an Flächen gut heran, die durch ihre Form und Lage, wie z. B. Hinterschleifflächen von Spiralbohrern, Bohrungen von Ringen, jeder anderen Prüfung große Schwierigkeiten bereiten.

Von den im Werkstatthandbuch Heft 7 besprochenen objektiven Härteprüfgeräten werden für Glashärte verwendet: das Skleroskop und der Rockwell-Härteprüfer.

Beim Skleroskop und Rockwell-Apparat muß das Werkstück satt aufliegen oder fest im Schraubstock gespannt sein; aber auch dann ist die Anzeige noch abhängig von der Größe des Werkstücks und besonders von der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Diese muß daher immer sauber und glatt sein (geschliffen oder poliert); eine dünne, entkohlte Schicht z. B. ergibt zu geringe Anzeige.

65. Bedeutung der Härteprüfung. Die „Naturhärte“, das ist die Härte des unbehandelten bzw. ausgeglühten Stahls, wird geprüft, um die Gleichmäßigkeit und Bearbeitbarkeit (zuweilen auch, um die Festigkeit) des Stahls festzustellen. Die „Abschreckhärte“ und die „Anlaßhärte“, das ist die Härte nach dem Abschrecken bzw. nach dem Anlassen (bei hochgekohltem Stahl meist Glashärte), wird geprüft,

um die Gleichmäßigkeit der Warmbehandlung und die Eignung des gehärteten Werkstücks für einen bestimmten Verwendungszweck festzustellen.

Für die erste Aufgabe, die Kontrolle der Gleichmäßigkeit, ist die Härteprüfung sehr geeignet sowohl für verschiedene Stellen desselben Werkstücks wie für die verschiedenen Werkstücke untereinander. Anders die zweite Aufgabe: die Verwendbarkeit des Werkstücks festzustellen. Das vermag die Härteprüfung nur in beschränktem Maße, weil für die Abnutzung, die hauptsächlich den Anlaß zum Härten gibt, nicht allein die Härte maßgebend ist, sondern weil auch Zähigkeit und anderes mit-sprechen, und weil außerdem Abnutzung unter verschiedenen Umständen etwas recht Verschiedenes bedeutet. So kommt es, daß die höchste Härte nicht durchaus das günstigste Verhalten garantiert, weder bei Meßgeräten noch bei Schneiden, noch bei Lagerzapfen u. dgl. Auch ist Härte bei verschiedenen Stahlsorten nicht einfach gleich zu beurteilen. Daraus erklärt es sich, daß man erfahrungsgemäß nur gewisse Grenzen für die geeignete Abschreck- und Anlaßhärte angeben kann, und zwar in Abhängigkeit vom Verwendungszweck und der Stahlsorte. Am sichersten ist es, wenn man die Härte eines Werkzeuges od. dgl., das sich bewährt hat, mißt und sie für dieselben Werkzeuge aus demselben Stahl als Norm nimmt.

Tabelle 7. Häufige Fehler beim Härten und Anlassen von Werkzeugstählen und Schnellstählen.

Fehler	Folgen	Behebung
a) Werkzeugstahl Bei zu niedriger Temperatur gehärtet	Ungenügende Härte, nur die Kanten und dünnen Querschnitte sind hart	Spannungsfrei glühen (600...650° C), wieder bei genügend hoher Temperatur nachhärten
Zu schroff und ungleichmäßig erwärmt	Ungleichmäßige Härte, starker Verzug! (Abplatzen der Ecken und Einreißen anschroffen Querschnittsübergängen, Werkstück ist Ausschuß)	Werkstück bei vorschriftsmäßiger Glühtemperatur wieder ausglühen, langsam und durchgreifend wieder auf Härtetemperatur erwärmen und abschrecken
Bei zu hoher Temperatur gehärtet	Härteannahme noch gut, Werkzeug ist jedoch sehr spröde und neigt leicht zum Reißen und Absplintern, starker Verzug	Werkstück wieder ausglühen und bei richtiger Temperatur nachhärten. Bei sehr starker Überhitzung rückfeinen ¹ , dann spannungsfrei glühen und wieder bei richtiger Temperatur nachhärten
Entkohlung des Werkstückes infolge ungeeigneter Erwärmung	Oberfläche ist entkohlt und weich, Werkzeug ist nicht verschleißfest und schmiert	Oberfläche genügend abschleifen. Für die Folge in reduzierender Ofenatmosphäre erwärmen, bzw. Werkstück mit neuer trockener Holzkohle schützen
Beim Anlassen zu schnell erwärmt oder aber zu schroff abgekühlt	Auftreten von Spannungsrisen, die infolge Kerbwirkung zum Bruch führen. (Vorsicht auch beim Schleifen gehärteter Werkstücke bei ungenügender Wasserkühlung)	In den meisten Fällen ist das Werkstück Ausschuß. Von der Anlaßtemperatur an ruhiger Luft erkalten lassen, nicht abschrecken!
b) Schnellstahl Bei zu niedriger Temperatur gehärtet	Geringe Schnittleistung bei noch guter Härte, insbesondere bei ausgesprochener thermischer Beanspruchung (starke Spanquerschnitte, ohne Kühlung)	Vorschriftsmäßig glühen und bei richtiger Temperatur wieder nachhärten

¹ Vgl. Werkstattbuch Heft 7: Glühen des Stahles.

Tabelle 7. Fortsetzung.

Fehler	Folgen	Behebung
Bei zu hoher Temperatur gehärtet	Verschmoren der feinen Zähne und Schneiden. Werkzeug ist sehr spröde und bricht beim Arbeiten aus	Verbrannte Oberfläche genügend weit und vorsichtig abschleifen. Bei vollkommen durchgehender Überhitzung wieder ausglühen und bei richtiger Temperatur nachhärten
Bei zu niedriger Temperatur angelassen	Das Werkstück hat noch nicht seine vollkommene Härte und Schmitthaltigkeit erreicht	Nochmals auf richtige und genügend hohe Temperatur anlassen
Bei zu hoher Temperatur angelassen	Die Härte und Schmitthaltigkeit ist infolge Erweichung stark zurückgegangen	Wieder bei vorschriftsmäßiger Temperatur ausglühen, neu härten und anlassen
Unsachgemäßes Schleifen	Auftreten von feinen Spannungsrissen an der Oberfläche (Schleifrisse), netzförmige Anordnung meist quer zur Schleifrichtung	In den meisten Fällen Ausschuß durch frühzeitigen Bruch. Zur Vermeidung der Schleifrisse achte man auf geeignete Schleifscheiben, Scharfhalten derselben, leichte Anpreßdrücke ohne Kühlung. Bei Anwendung von Kühlung auf ununterbrochenen und kräftigen Kühlwasserstrahl achten

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten (Fortsetzung)

III. Spanlose Formung (Fortsetzung)

	Heft
Gesenkschmiede I (Gestaltung und Verwendung der Werkzeuge). 2. Aufl. Von H. Kaessberg	31
Gesenkschmiede II (Herstellung und Behandlung der Werkzeuge). Von H. Kaessberg	58
Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle). Von A. Peter	41
Die Herstellung roher Schrauben I (Anstauchen der Köpfe). Von J. Berger	39
Stanztechnik I (Schnitttechnik). 2. Aufl. Von E. Krabbe	44
Stanztechnik II (Die Bauteile des Schnittes). 2. Aufl. Von E. Krabbe	57
Stanztechnik III (Grundsätze für den Aufbau von Schnittwerkzeugen). Von E. Krabbe	59
Stanztechnik IV (Formstanzen). Von W. Sellin	60
Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. 3. Aufl. Von W. Sellin	25
Hydraulische Preßanlagen für die Kunstharzverarbeitung. Von H. Lindner	82

IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 5. Aufl. Von P. Schimpke	13
Das Lichtbogenschweißen. 3. Aufl. Von E. Klosse	43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. 2. Aufl. Von R. Hesse. (Im Druck)	74
Widerstandsschweißen. Von W. Fahrenbach	73
Das Schweißen der Leichtmetalle. Von Th. Ricken	85
Das Löten. 3. Aufl. Von W. Burstyn. (Im Druck)	28
Das ABC für den Modellbau. Von E. Kadlec	72
Modelltischlerei I (Allgemeines, einfachere Modelle). 2. Aufl. Von R. Löwer	14
Modelltischlerei II (Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen). 2. Aufl. Von R. Löwer	17
Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei. Von Fr. und Fe. Brobeck	37
Der Gießerei-Schachtofen im Aufbau und Betrieb. 3. Aufl. von „Kupolofen-Betrieb“. Von Joh. Mehrrens	10
Handformerei. Von F. Naumann	70
Maschinenformerei. Von U. Lohse	66
Formsandaufbereitung und Gußputzerei. Von U. Lohse	68

V. Antriebe, Getriebe, Vorrichtungen

Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine. Von O. Weidling	54
Hohe Drehzahlen durch Schnellfrequenz-Antrieb. Von F. Beinert und H. Birett	84
Stufengetriebe an Werkzeugmaschinen mit kreisender Hauptbewegung. 2. Aufl. Von H. Rögnitz. (Im Druck)	55
Maschinelle Handwerkzeuge. Von H. Graf	79
Die Zahnformen der Zahnräder. 2. Aufl. Von H. Trier	47
Die Kraftübertragung durch Zahnräder. Von H. Trier	87
Einbau und Wartung der Wälzlager. Von W. Jürgensmeyer	29
Dichtungen. Von K. Trutnovsky. (Im Druck)	92
Teilkopfarbeiten. 3. Aufl. Von W. Pockrandt	6
Spannen im Maschinenbau. Von F. Klautke	51
Der Vorrichtungsbau I (Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze). 4. Aufl. Von F. Klautke †	33
Der Vorrichtungsbau II (Typische Einzelvorrichtungen, Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen). 4. Aufl. Von F. Klautke †	35
Der Vorrichtungsbau III (Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vor- richtungen). 3. Aufl. Von H. Mauri. (Im Druck)	42

VI. Prüfen, Messen, Anreißen, Rechnen

Werkstoffprüfung (Metalle). 3. Aufl. Von P. Riebensahm. (Im Druck)	34
Metallographie. 2. Aufl. Von O. Mies	64
Technische Winkelmessungen. 2. Aufl. Von G. Berndt	18
Messen und Prüfen von Gewinden. Von K. Kress	65
Schnittkraft- und Drehmomentmesser für Werkzeugmaschinen. Von H. Schallbroch und H. Balzer. (Im Druck)	91
Das Anreißen in Maschinenbau-Werkstätten. 3. Aufl. Von H. Mauri	3
Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau. 2. Aufl. Von A. Dorl. (Im Druck)	38
Technisches Rechnen I. 3. Aufl. Von V. Happach. (Im Druck)	52
Technisches Rechnen II. 2. Aufl. Von V. Happach	90
Der Dreher als Rechner. 3. Aufl. Von E. Busch	63
Feinstarbeit, Rechnen und Messen im Lehren-, Vorrichtungs- und Werkzeugbau. Von E. Busch und F. Kähler	86
Prüfen und Instandhalten von Werkzeugen und anderen Betriebsmitteln. 2. Aufl. Von P. Heinze. (Im Druck)	67