

**WERKSTATTBÜCHER**  
**HERAUSGEBER H.HAAKE**

**HEFT 89**

**H.W.GRÖNEGROSS**  
**BRENNHÄRTEN**



**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 Werkstattstechnik 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

### I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren

	Heft
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. Auflage. Von R. Hinzmann. (Im Druck)	53
Härten und Vergüten des Stahles. 4. Aufl. Von H. Herbers	7
Die Praxis der Warmbehandlung des Stahles. 4. Aufl. Von P. Klostermann	8
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Brennhärten. Von H. W. Grönegreß	89
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. Von K. Krekeler	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 3. 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. Von K. Krekeler	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 3. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselrädereberechnung für Drehbänke. 4. Aufl. Von G. Knappe	4
Bohren. 3. Aufl. Von J. Dinnebieer. (Im Druck)	15
Senken und Reiben. 2. Aufl. Von J. Dinnebieer	16
Innenräumen. 2. Aufl. Von L. Knoll. (Im Druck)	26
Außenräumen. Von A. Schatz	80
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 2. Aufl. Von P. Zieting und 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). 2. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt	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 89

---

# Brennhärten

Von

Dipl.-Ing. H. W. Grönegreß

Gevelsberg (Westf.)

Mit 87 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1942

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort . . . . .	3
Einleitung . . . . .	3
1. Kennzeichen des Brennhärtens S. 3. — 2. Benennung des Verfahrens S. 3. 3. Anwendungsgebiet S. 3.	
I. Der Verschleiß, seine Bedeutung und seine Bekämpfung . . . . .	4
A. Grundsätzliches über den Verschleiß . . . . .	4
4. Gründe für Maschinenschäden S. 4. — 5. Verschleißursachen S. 4. — 6. Verschleißprüfung S. 5. — 7. Verschleißverluste S. 5.	
B. Die Oberflächenhärte als Verschleißschutz . . . . .	6
8. Härbarkeit S. 6. — 9. Kokillenhartguß S. 6. — 10. Die Einsatzhärtung S. 7.	
C. Das Brennhärten als Sonderverfahren zur Oberflächenhärtung . . . . .	9
11. Wärmestau S. 8. — 12. Werkstoffe für das Brennhärten S. 9. — 13. Vorteile des Brennhärtens S. 9. — 14. Anwendung des Brennhärtens S. 9.	
II. Die technische Durchführung des Brennhärtens . . . . .	9
A. Arbeitsverfahren und Maschinen für das Brennhärten . . . . .	9
15. Mantelhärtung von Hand S. 12. — 16. Mantelhärtung nach dem Pendelverfahren S. 11. — 17. Mantelhärtung nach dem Umlaufverfahren S. 11. — 18. Linienhärtung nach dem Vorschubverfahren S. 15. — 19. Linienhärtung nach dem Umlauf-Vorschubverfahren S. 21. — 20. Auswahl der Maschinen für das Brennhärten S. 24. — 21. Anforderungen an die Härtemaschinen S. 24. — 22. Aufstellung der Härteanlagen S. 25.	
B. Härtebrenner und Brenngase . . . . .	25
23. Das Handgriffrohr S. 25. — 24. Das Maschinengriffrohr S. 25. — 25. Bauformen der Brennermündstücke S. 26. — 26. Schlitzbrenner S. 26. — 27. Düsenbrenner S. 27. — 28. Lochbrenner S. 27. — 29. Leuchtgas- und Azetylenbrenner S. 28. — 30. Verstellbare Brenner S. 28. — 31. Brennerpflege S. 29. — 32. Brenngase S. 29. — 33. Der Verbrennungsvorgang S. 29. — 34. Azetylen oder Leuchtgas? S. 31.	
C. Abschreckvorrichtungen und Abschreckmittel . . . . .	32
35. Abschreckbehälter S. 32. — 36. Brausen S. 33. — 37. Der Abstand Brenner — Brause S. 33. — 38. Wasser als Kühlmittel S. 33. — 39. Wasserdampf S. 33. — 40. Öl und Emulsionen S. 34.	
D. Versorgungseinrichtungen und Hilfsmittel . . . . .	34
41. Brenngasversorgung S. 34. — 42. Sauerstoffversorgung S. 34. — 43. Wasserversorgung S. 35. — 44. Betriebskontrolle S. 35.	
E. Vorausberechnung der Härtekosten . . . . .	36
45. Die Arbeitszeit S. 36. — 46. Der Energieverbrauch S. 37.	
III. Werkstoffe . . . . .	38
A. Unlegierte und legierte Stähle . . . . .	38
47. Kennzeichen S. 38. — 48. Werkstoffübersicht S. 38.	
B. Gußwerkstoffe . . . . .	41
49. Temperguß S. 41. — 50. Grauguß S. 42.	
C. Härtevorschriften und erreichbare Ergebnisse . . . . .	45
51. Härtetemperatur S. 45. 52. Härte und Härteprüfung S. 45. — 53. Härtetiefe S. 47. — 54. Einflüsse des Verfahrens auf die Härtetiefe S. 47. — 55. Einflüsse des Werkstoffes S. 48. — 56. Erreichbare Härtetiefen S. 49. — 57. Eigenschaften der Brennhärtenschicht S. 49.	
IV. Werkstücke und besondere Anwendungsgebiete für das Brennhärten . 53	
A. Gestaltung der Werkstücke und praktische Durchführung des Brennhärtens . 53	
58. Zeichnungsangaben S. 53. — 59. Bearbeitungszugaben S. 53. — 60. Lagerspiel S. 53. — 61. Zweckmäßige Formgebung S. 54. — 62. Normung S. 54. — 63. Neue Möglichkeiten S. 54.	
B. Vor- und Nachbehandlung der Werkstücke . . . . .	55
64. Werkstoffprüfung S. 55. — 65. Vergütung S. 56. — 66. Praktische Beispiele von Sondermaßnahmen S. 56. — 67. Anlassen S. 58. — 68. Rostschutz S. 59.	
C. Anwendungsgebiete . . . . .	59
69. Auto- und Motorenbau S. 59. — 70. Allgemeiner Maschinenbau S. 60. — 71. Berg- und Hüttenwesen S. 61. — 72. Eisenbahnwesen S. 63. — 73. Patentschutz und Schlußbemerkungen S. 64.	

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

ISBN 978-3-662-42783-5 ISBN 978-3-662-43061-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-43061-3

## Vorwort.

Das vorliegende Werkstattbuch will den Leser mit den Besonderheiten eines neuen Härteverfahrens bekannt machen, das auf Grund seiner vielfältigen Vorzüge bereits weitgehend den Weg in die Werkstätten gefunden hat. Der Inhalt des Werkstattbuches 7 „Härten und Vergüten des Stahles“ wird als bekannt vorausgesetzt und hier nur so weit auf Bekanntes eingegangen, als es zum besseren Verständnis des Gesagten unumgänglich erscheint. Demjenigen, der sich einen tieferen Einblick in das Wesen des Härtevorganges verschaffen will, sei außerdem das Studium des Werkchens von LEOPOLD SCHEER: „Was ist Stahl?“<sup>1</sup> angelegentlich empfohlen.

## Einleitung.

**1. Kennzeichen des Brennhärtens.** Beim Brennhärten handelt es sich um ein aus dem bekannten Abschreckhärten entwickeltes Verfahren zum oberflächlichen Härten von Vergütungsstählen. Die Härtung wird auf die Randzone beschränkt durch Verwendung von Brennern so großer Flammenleistung, daß die Wärmezufuhr das Wärmeleitvermögen des Stahles bei weitem überschreitet. So entsteht in der Oberfläche ein Wärmestau, der den raschen Anstieg der Temperatur auf die zum Härten erforderliche Höhe ermöglicht, ohne daß der Kern des Werkstückes miterwärmt wird. Der Kern bleibt daher weich und zäh.

Durch Verwendung geeigneter Brenner kann die Härtezone auch seitlich genau begrenzt werden, die weich bleibenden Teile der Oberfläche brauchen daher nicht abgedeckt zu werden.

Die Vorteile gegenüber anderen Härteverfahren sind um so größer, je kleiner die zu härtende Oberfläche im Verhältnis zur Gesamtoberfläche des Werkstückes oder je größer das Stück selbst ist.

**2. Benennung des Verfahrens.** Mit Bezug auf die ursprünglich meist angewandten, beim Gasschweißen (Autogenschweißen) üblichen Hilfsmittel sprach man von „autogener Oberflächenhärtung“. Nachdem aber im Laufe der Entwicklung die Brenner sich immer weiter von den Bauarten der Schweißbrenner entfernten und das Azetylen durch Leuchtgas verdrängt wurde, wurden Namen wie Flamm- oder Flammenhärtung, Brenner- oder Brennstrahlhärtung vorgeschlagen, die zwar das Wesen des Verfahrens schon besser kennzeichnen, sich aber noch nicht allgemein durchsetzen konnten.

Ferner sind hier Firmenbezeichnungen zu erwähnen wie „Doppel-Duro-Härtung“ der Deutschen Edeltahlwerke, das Kruppsche „Hartlagerverfahren“, die „Griesogenhärtung“ oder das „Peddinghaus-Verfahren“, die, von kleinen Besonderheiten abgesehen, ein und dieselbe Arbeitsweise nur mit anderen Namen versehen.

In Anlehnung an das bekannte Brennschneiden möchte der Verfasser von einem „Brennhärten“ sprechen. Dieser Ausdruck scheint hinreichend kurz und einprägsam zu sein und das Wesen des neuen Verfahrens gut zu kennzeichnen.

**3. Anwendungsgebiet.** Das Brennhärten wird vornehmlich zum Oberflächenhärten von auf Verschleiß beanspruchten Maschinenteilen, wie Wellen, Zapfen,

<sup>1</sup> Berlin: Springer 6. Aufl. 1941.

Getriebe- und Steuerungsbolzen, Zahnrädern, Laufrollen, Rädern und ähnlichen Körpern benutzt. Für Werkzeuge kommt dieses Verfahren nur in Betracht, wenn sie aus Baustählen angefertigt sind, während das Brennhärten von Werkzeug- und Schnellstahl noch keine Bedeutung erlangen konnte.

Neuere Erkenntnisse brachten die Gewißheit, daß das Brennhärten auch einen günstigen Einfluß auf die Dauerfestigkeit auszuüben vermag, so daß hier ein in seiner endgültigen Ausdehnung heute noch gar nicht zu übersehendes Anwendungsfeld für das Brennhärten gegeben ist.

## I. Der Verschleiß, seine Bedeutung und Bekämpfung.

### A. Grundsätzliches über den Verschleiß.

Um den Verschleiß durch Brennhärten wirksam bekämpfen zu können, muß man sich mit seinen Ursachen zunächst vertraut machen.

**4. Gründe für Maschinenschäden.** Die Ursachen für einen zeitweiligen Ausfall oder vorzeitigen Abgang einer Maschine können sein:

- a) ein Gewaltbruch als Folge übermäßiger Beanspruchung;
- b) ein Dauerbruch als Folge zwar schwacher, aber immer wiederkehrender Beanspruchung;
- c) Verschleiß als Folge von Reibung.

Beim heutigen Stand der Technik treten Gewaltbrüche nur noch selten auf, da man gelernt hat, die wirkenden Kräfte einigermaßen sicher zu beurteilen und richtig abzuschätzen.

Erst in neuerer Zeit hat sich die Werkstoffprüfung mit den Ursachen des Dauerbruches beschäftigt. In dem Maße, wie das Wesen des Dauerbruches erforscht wurde, wurden auch Wege zu seiner Überwindung, auf die später noch eingegangen wird, gefunden.

Solange der Mensch überhaupt Maschinen zur Erleichterung seiner Arbeit und zur Befriedigung seiner Bedürfnisse baut, hat ihm der Verschleiß, das Unbrauchbarwerden durch Abnutzung, Schwierigkeiten gemacht. Manche Konstruktionen, wie z. B. der Kohlenstaubmotor, stellen heute nur noch Verschleißprobleme dar, von deren endgültiger Überwindung die Einführung in die Praxis abhängt. Schon dieser Hinweis genügt, um die Bedeutung des Problems und den Wert aller Maßnahmen, die die Abnutzung herabsetzen, zu kennzeichnen.

**5. Verschleißursachen.** Im allgemeinsten Falle beteiligen sich am Verschleiß:

- a) ein Werkstoffpaar,
- b) eine Kraft,
- c) ein Schmiermittel,
- d) ein Verschleißmittel,
- e) die Atmosphäre.

Das Werkstoffpaar kann entweder aus gleichem oder verschiedenartigem Werkstoff bestehen. Die Erfahrung lehrt, daß unterschiedliche Werkstoffe günstigeres Verschleißverhalten zeigen als gleiche.

Von Bedeutung ist ferner die Härte der Werkstoffe, wobei grundsätzlich gilt, daß die Abnutzung um so geringer, je härter der Werkstoff ist. Weiterhin gilt, daß der Verschleiß um so geringer ist, je größer der Härteunterschied des Werkstoffpaares; man wählt deshalb harte Zapfen und weiche Lagermetalle. Wo hart auf hart trifft, z. B. bei Bohrstangen und -büchsen, sollen bei geringem Härteunterschied möglichst unterschiedliche Werkstoffe benutzt werden.

Da die heutigen Austauschwerkstoffe für Lagermetalle eine größere Härte haben als die bisherigen, so braucht man auch in wesentlich größerem Umfange gehärtete Zapfen.

Eine Umkehrung dieser Verhältnisse wird manchmal beim Auftreten harter Verschleißmittel beobachtet, die sich in den weicheren Stoff einbetten und so Verschleiß am härteren Werkstück hervorrufen.

Bei Bearbeitungsvorgängen wird man dem arbeitenden Werkzeug zweckmäßig eine möglichst hohe Härte gegenüber dem zu bearbeitenden Stück geben, um eine lange Lebensdauer des Werkzeuges zu erreichen. Gelegentlich kann auch, wie wir noch am Beispiel großer Zahnkränze sehen werden, die Härte des zu bearbeitenden Teiles herabgesetzt werden, um so den Verschleiß der Werkzeuge zu verringern.

Das Werkstoffpaar wird durch Kräfte gegeneinander bewegt, wobei gleitende und rollende Reibung oder eine Vereinigung beider, d. h. rollende Reibung mit Schlupf, zu unterscheiden sind. Je größer die zu übertragenden und auf das Werkstoffpaar wirkenden Kräfte sind, um so größer ist die Verschleißgefahr.

Durch das Schmiermittel wird die unmittelbare Reibung fester Körper aufeinander aufgehoben und durch Flüssigkeitsreibung ersetzt. Da sich die beiden Werkstoffe hierbei nicht unmittelbar berühren, wird durch geeignete Schmiermittel der Verschleiß wesentlich herabgesetzt. Eine vollkommene Flüssigkeitsreibung ist allerdings beim Anfahren und Einlaufen nicht zu erreichen.

Als Verschleißmittel kann der Abrieb der in Eingriff stehenden Werkstoffe wirken. Je nach Art der Reibung und den dabei auftretenden Temperaturen ist mit metallischem oder oxydischem Abrieb zu rechnen. Schließlich kann auch das Förder- oder Arbeitsgut als Verschleißmittel wirken.

Eingehende Untersuchungen bestätigen, daß auch die Atmosphäre, d. h. die Beschaffenheit der die Verschleißstelle umgebenden Luft auf die Größe und Art der Abnutzung von Einfluß ist.

**6. Verschleißprüfung.** Man erkennt, daß außerordentlich vielseitige, in ihrem möglichen gleichzeitigen Auftreten schwer zu übersehende Größen den Verschleiß je nach ihrer Beschaffenheit fördern oder hemmen können. Damit erklärt sich ohne weiteres die Schwierigkeit, für bestimmte Werkstoffe Verschleißkennzahlen festzulegen; auch für bestimmte Werkstoffpaare sind derartige Kennzahlen noch nicht eindeutig ermittelt. Laboratoriumsversuche und auf Verschleißprüfmaschinen gewonnene Erfahrungen stimmen nur bei sorgfältiger Beachtung aller in der Praxis auftretenden Beanspruchungen mit den Erfahrungen überein, so daß man trotz des damit verbundenen Zeitaufwandes und der Schwierigkeit, über die gesamte Dauer des Versuches wirklich zutreffende Vergleichswerte zu erhalten, noch in vielen Fällen gezwungen ist, bei Neukonstruktionen die Bewährung im praktischen Betriebe zu ermitteln.

**7. Verschleißverluste.** Von der Bedeutung des Verschleißproblems können einige Zahlen ein eindrucksvolles Bild vermitteln. Die Industrie der Steine und Erden hat mit einem besonders hohen Verschleiß ihrer Fertigungsmittel zu rechnen, weil alle den Verschleiß herabsetzende Maßnahmen (Schmier) in den meisten Fällen schwierig oder gar nicht anzuwenden sind (Tabelle 1).

Tabelle 1. Jahresaufwand an Verschleißteilen in den einzelnen Fachgruppen der Industrie der Steine und Erden.

Zementindustrie . . . . .	12600 t/Jahr
Schotterindustrie . . . . .	2600 „
Erzzerkleinerung . . . . .	4200 „
Thomasmehl, Kalkstickstoff, Karbid und sonstige chemische Industrien . . . .	5600 „
	<hr/>
	25000 t/Jahr

Von diesen 25000 t Eisen geht etwa die Hälfte mit dem Mahlgut für immer verloren. Der Wert der jährlich unbrauchbar gewordenen Betriebsmittel beträgt

12,5 Mill. RM; anders gesehen ergibt sich: etwa 1000 Facharbeiter sind jahraus jahrein für die Industrie der Steine und Erden damit beschäftigt, für unbrauchbar gewordene Verschleißteile neue anzufertigen. Hinzu kommt der erhebliche Zeitaufwand für das Auswechseln verschlissener Werkstücke und der durch den Stillstand der Maschine bedingte Erzeugungsausfall.

Man geht wohl nicht fehl in der Annahme, daß ein Verschleiß in ähnlicher Höhe in der Stein- und Braunkohlenindustrie auftritt. Gerade die Braunkohlenindustrie hat ja bekanntlich sehr stark unter Verschleiß zu leiden. Hier sind es insbesondere die Schwalbungen und Brikettstempel, die oft nur wenige Betriebsstunden aushalten und dann eine längere Unterbrechung des Arbeitsganges erfordern.

Ständig gesteigerte Geschwindigkeiten, größere Leistungen bei geringerem Maschinengewicht kennzeichnen die Entwicklung des neueren Maschinen- und Fahrzeugbaues. Ohne verbesserten Verschleißschutz würde eine derartige Entwicklung, die keinesfalls abgeschlossen ist, undenkbar sein.

Wenn man sich die mitgeteilten Zahlen vor Augen hält und bedenkt, daß auch in der übrigen Industrie ein mehr oder weniger großer Verschleiß dauernd auftritt, so erkennt man den Wert aller Maßnahmen, die die Herabsetzung des Verschleißes zum Ziele haben.

## B. Die Oberflächenhärte als Verschleißschutz.

Unter den Mitteln zur Verschleißminderung hat man für das Eisen als wichtigsten Baustoff schon seit Jahrhunderten das Härten angewandt, wobei es genügt, wenn die Oberfläche, an der die verschleißende Reibung stattfindet, gehärtet ist.

**8. Härbarkeit.** Grundlage jeder Stahlhärtung ist der Kohlenstoffgehalt. Je höher er ist, um so größer ist die zu erhaltende Härte. Die Härbarkeit durch

Brennhärten beginnt praktisch bedeutungsvoll zu werden bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,3%, um bei 0,6...0,7% die höchsten Werte zu erreichen. Gegenüber dem Einfluß des Kohlenstoffes tritt die Wirkung anderer Legierungsbestandteile erheblich zurück, so daß wir uns zunächst auf den Kohlenstoff beschränken können. Man sieht, daß ein verhältnismäßig enger Analysenbereich die Eigenschaften des Stahles sehr stark verändert.

Das Eisenkohlenstoffdiagramm gibt über die bei der Wärmebehandlung des Stahles auftretenden Gefügeänderungen Aufschluß, man kann daraus also auch die zum Härten notwendigen Temperaturen entnehmen<sup>1</sup>. In dem Diagramm Abb. 1 ist das Gebiet der Einsatz-, Brenn- und Abschreckhärtung in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt näher gekennzeichnet.

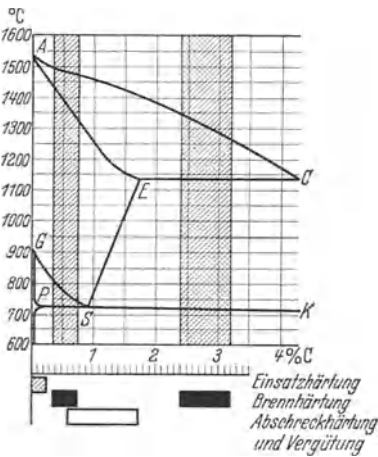


Abb. 1. Ausschnitt aus dem Eisen-Kohlenstoff-Diagramm. Das Gebiet der brennhärtbaren Werkstoffe ist durch Schraffur herausgehoben.

**9. Kokillenhartguß<sup>2</sup>.** Wird sog. „weißes“ Roheisen in Formen gegossen, die an bestimmten Stellen zwecks schnellster Abkühlung des Gußstückes mit Eisenplatten (Abschreckplatten, Kokillen) versehen sind, so werden diese Stellen des Gußstückes sehr hart und dadurch verschleißfest.

<sup>1</sup> Erklärung des Eisenkohlenstoffdiagramms s. Werkstattbuch Heft 7.

<sup>2</sup> Näheres s. Werkstattbuch Heft 19.



**10. Die Einsatzhärtung** eignet sich für Werkstücke aus einem an sich nicht härtbaren Stahl, d. h. einem Eisen mit höchstens  $0,16 \cdots 0,2\%$  C. Dabei werden die Stellen, die nicht auf Verschleiß beansprucht sind und deshalb weich bleiben sollen, durch Lehm oder andere Pasten abgedeckt, worauf das Werkstück in einem Kohlenstoff abgebenden Mittel geglüht wird. Dabei wandert der Kohlenstoff in das Eisen ein. Je länger die Erhitzung dauert, um so tiefer ist die Aufkohlung. Mit Rücksicht auf eine wirtschaftliche Fertigung geht man selten über Härtetiefen von  $2 \cdots 3$  mm hinaus und begnügt sich meistens mit etwa 1 mm Härtetiefe.

Die Kohlenstoff abgebenden Mittel sind fest, flüssig oder gasförmig. Die festen Einsatzpulver werden meistens dort verwandt, wo Teilhärtungen vorzunehmen sind. Ihr Nachteil ist, daß sie den Kohlenstoff verhältnismäßig langsam abgeben und daher entsprechend lange Glühzeiten erfordern.

Die flüssigen Einsatzmittel, geschmolzene Zylansalze, kohlen zwar wesentlich schneller auf, bereiten aber bei teilweisen Härtungen Schwierigkeiten, weil eine zuverlässig wirkende, das Salzbad nicht verschmutzende Schutzschicht nur schwer herzustellen ist. Sie werden deshalb hauptsächlich dort benutzt, wo die ganze Oberfläche zu härten ist.

Die gasförmigen Einsatzmittel (Leuchtgas, Stickstoff) geben sehr geringe Einsatzzeiten und werden daher nur für Sonderzwecke gebraucht.

All diesen Härteverfahren ist die Notwendigkeit gemeinsam, die Stellen, die weich bleiben sollen, vor dem Eindringen des Härteträgers zu schützen. In manchen Fällen läßt man an Stellen, die weich bleiben sollen, überschüssigen Werkstoff stehen und beseitigt diese Schicht nach dem Einsetzen, vor dem eigentlichen Härten. Der Härtebehandlung muß also eine mehr oder weniger langwierige Vorbereitung vorausgehen. Die Vorbereitungen erfordern die größte Sorgfalt und Erfahrung, wenn eine gleichmäßige Härteannahme erreicht werden soll.

Gleichzeitig ist der Betrieb der zum Glühprozeß notwendigen Öfen nur wirtschaftlich, wenn mehrere Stücke gemeinsam eingesetzt werden können. Da diese in der Regel nur nacheinander gefertigt werden können, bedingt der Härtevorgang eine beträchtliche Störung des Fertigungsablaufes, zumal er nur in einer gut eingerichteten Zentralhärtereie durchführbar ist. Die zu härtenden Teile werden daher für längere Zeit dem Fertigungsverfahren entzogen.

Für große Werkstückabmessungen müssen entsprechende Ofenanlagen vorhanden sein, deren Betrieb meist so unwirtschaftlich ist, daß man auf die Härtung überhaupt verzichtet.

Zur Beschleunigung der Kohlenstoffeinwanderung wendet man allgemein möglichst hohe Glühtemperaturen an; da hierdurch die Kerneigenschaften des Werkstoffes beeinträchtigt werden, ist eine Zwischenglühung und Zwischenhärtung notwendig, um gleichermaßen im Kern wie auch in der gehärteten Randschicht die günstigsten Werkstoffeigenschaften zu erreichen.

Besonders bei größeren Querschnitten entstehen bei der Einsatzhärtung beträchtliche Spannungen. Der Rand kühlt sehr viel schneller ab als der Kern und verhindert dann infolge seiner Starrheit das völlige Zusammenziehen des Kernes, so daß im Innern beträchtliche Zugspannungen zurückbleiben, die bis zu  $90\%$  der Bruchfestigkeit des Werkstückes betragen können. Da ist es dann kein Wunder, daß an durch Bohrungen oder Werkstofffehler geschwächten Stellen Härterisse und Brüche entstehen.

Meistens wirken sich solche Spannungen, vergrößert durch die mehrmalige Wärmebehandlung, nur in einem mehr oder weniger starken Verzug aus. Ein solcher ist ebenfalls unerwünscht, da das nachträgliche Richten des gehärteten Werkstückes viel Arbeit macht.

Die Werkstücke müssen, wenn das Richten nicht oder nur unvollkommen zum Ziele führt, nach dem Härten geschliffen werden, wobei nicht selten die Härteschicht an einzelnen Stellen ganz weggeschliffen wird.

Da Kern und Härteschicht unterschiedliche Zusammensetzung haben, treten zwischen Kern und Rand beträchtliche Spannungen auf, die zum Ablättern der Härteschicht führen können.

Die Festigkeit des Eisens steigt mit wachsendem Kohlenstoffgehalt. Bei dem geringen Kohlenstoffgehalt, wie ihn die Einsatzstähle besitzen, ist sie noch gering, und daher genügt die Kernfestigkeit des Einsatzwerkstoffes manchmal nicht zur Aufnahme der vorgesehenen Beanspruchungen. Man ist dann, wie z. B. oft im Fahrzeugbau, gezwungen, durch Legierungszusätze die Kernfestigkeit des Einsatzwerkstoffes zu steigern. Hierzu eignen sich aber fast ausschließlich nur Sparmetalle, das sind solche, die aus dem Auslande mit erheblichem Devisenaufwand einzuführen sind.

### C. Das Brennhärten als Sonderverfahren zur Oberflächenhärtung.

Das Bedürfnis nach einem einfachen, weniger Arbeitszeit und geringere Kosten erfordernden Härteverfahren ist groß. Die Großreihen- und Massenfertigung fordert mit Einführung der Fließarbeit ein Verfahren, das sich restlos in den Arbeitsrhythmus einbauen läßt und für möglichst viele Teile den Weg durch die Zentralhärterei überflüssig macht.

Diese Möglichkeit bietet das Brennhärten, das die Härtetechnik um eine an das Abschreckhärten angelehnte, neue Arbeitsweise bereichert.

**11. Wärmestau.** Die zu härtenden Flächen werden durch Brenner besonders großer Flammenleistung erhitzt. An die Stelle der oft unwirtschaftlich arbeitenden Härteöfen tritt der stets sofort betriebsbereite Härtebrenner. Das Zeit-Temperatur-Schaubild Abb. 2 zeigt eindeutig den zeitlichen Vorteil des Brennhärtens.

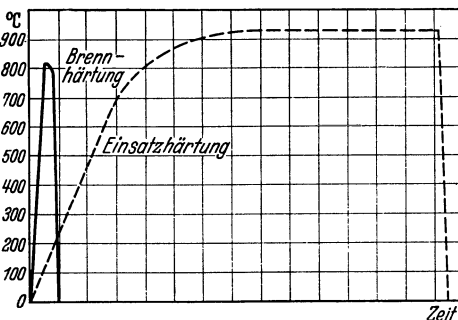


Abb. 2. Zeit-Temperatur-Schaubild für das Brennhärten und Einsatzhärten. Die zeitliche Überlegenheit des Brennhärtens ist deutlich zu erkennen.

Ein Abdecken der weich bleibenden Stellen ist nicht erforderlich, da stets die Wärmezufuhr örtlich genau begrenzt und durch entsprechende Brennergestaltung geregelt werden kann. Die Brenner führen der Oberfläche so schnell Wärme zu, daß diese keine Zeit hat, in das Innere des Werkstückes zu dringen. So entsteht in der Oberfläche ein Wärmestau, der den schnellen Temperaturanstieg des Randes auf Härtetemperatur bewirkt. Je nach der Erhitzungsgeschwindigkeit wird die Härtetemperatur auf mehr oder weniger große Tiefe erreicht.

Sobald die Härtetemperatur erreicht ist, wird abgeschreckt. Da der Kern infolge des Wärmestaus von der Wärmebehandlung unbeeinflusst bleibt, kann man das Werkstück vorher auf günstigste Festigkeitseigenschaften vergüten, ohne befürchten zu müssen, daß diese Vergütung durch das anschließende Härten beeinträchtigt wird.

Infolge der kurzen Einwirkdauer der Flamme ist eine Aufkohlung durch den im Brenngas enthaltenen Kohlenstoff unmöglich. Ebensowenig tritt bei richtiger Durchführung des Verfahrens eine Entkohlung der Randschicht ein.

**12. Werkstoffe für das Brennhärten** sind daher die Vergütungsstähle, die den zur Härtung notwendigen Kohlenstoffgehalt von Natur besitzen. Der zeitraubende und umständliche Vorgang des Aufkohlens, der bei der Einsatzhärtung notwendig ist, fällt mit all seinen Nachteilen restlos fort.

Ferner besteht eine völlige Gleichheit der chemischen Zusammensetzung des weichen, zähen Kernes und der harten, verschleißfesten Randschicht, wodurch die zwischen beiden auftretenden Spannungen wesentlich geringer bleiben als bei der Einsatzhärtung. Ablätterungen gehören zu den Seltenheiten. Sie werden nur beobachtet, wo bislang verborgene Werkstoffmängel die Härteschicht unterbrechen.

**13. Vorteile des Brennhärtens.** Mit Rücksicht auf die gute Wärmeleitfähigkeit des Eisens muß die Wärme außerordentlich rasch zugeführt werden. Die Härtezeiten sind demzufolge sehr gering und betragen meist nur wenige Sekunden.

Da die Werkstücke nur örtlich an den Verschleißstellen erhitzt werden, ist der Verzug wesentlich geringer als bei der Einsatzhärtung. Das nachträgliche Richten fällt meistens fort; auch das Nachschleifen wird beträchtlich abgekürzt. Die Gefahr, daß die Härteschicht stellenweise abgeschliffen wird, besteht nicht, zumal beim Brennhärten ohne Schwierigkeit auch größere Härtetiefen erreicht werden können.

**14. Anwendung des Brennhärtens.** Trotz der Vorzüge dieses neuen Verfahrens werden die älteren für bestimmte Anwendungsgebiete ihre Bedeutung behalten; für den richtigen Einsatz des einen oder anderen Verfahrens kann man in der nachfolgenden Regel einen guten Anhalt finden, es gilt:

Je kleiner die zu härtende Fläche im Verhältnis zur Gesamtoberfläche des Werkstückes, desto besser und wirtschaftlicher ist das Brennhärten, um so ungünstiger die Einsatzhärtung.

Je größer das Werkstück an sich, desto wirtschaftlicher wird das Brennhärten, selbst dann, wenn praktisch die gesamte Oberfläche zu härten ist (Abb. 3).

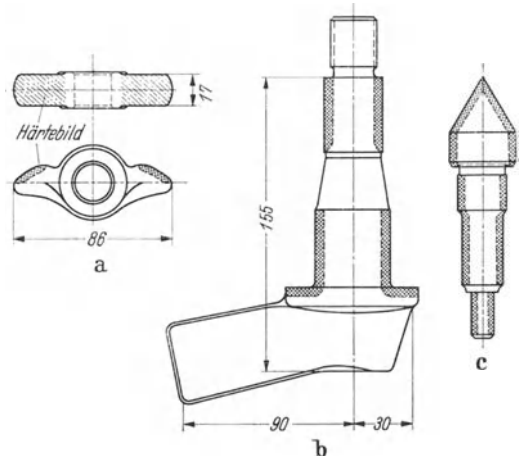


Abb. 3. Einfluß der Werkstückform und des Verhältnisses der zu härtenden Oberfläche ( $O_h$ ) zur Gesamtoberfläche ( $O_g$ ) auf die Wahl des Härteverfahrens.

- a Kipphebel  $O_h : O_g = 0,1$  sehr günstig für Brennhärtung.  
 b Achszapfen  $O_h : O_g = 0,4$  günstig für Brennhärtung.  
 c Körner  $O_h : O_g = 0,9$  ungünstig für Brennhärten, da auch sehr unterschiedliche Querschnitte zu härten sind. Günstig für Einsatzhärtung.

## II. Die technische Durchführung des Brennhärtens.

### A. Arbeitsverfahren und Maschinen für das Brennhärten.

Für die vielseitigen Formen der zu härtenden Maschinenteile sind verschiedene Arbeitsverfahren entwickelt, die für jeweils gleichartige Körperformen anzuwenden sind.

Man kann beim Brennhärten so vorgehen, daß man zunächst die zu härtende Oberfläche in ihrer Gesamtheit auf Härtetemperatur erhitzt und anschließend abschreckt oder aber das Werkstück mit einem Brenner, dem die Abschreckbrause unmittelbar folgt, fortschreitend härtet.

Das erstere Verfahren wird Mantelhärtung genannt, weil sich die erhitzte Fläche wie ein Mantel über das Werkstück legt, zum Unterschied von der zweiten Arbeitsweise, die Linienhärtung genannt wird, weil hierbei nur eine Linie fortschreitend erhitzt wird.

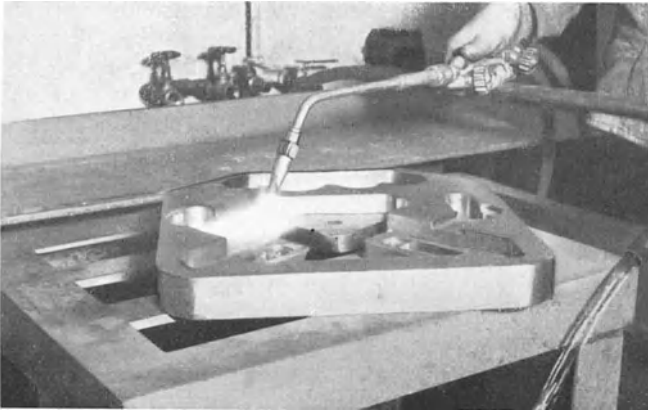


Abb. 4. Mantelhärtung kleiner Flächen von Hand. Mit dem Schweißbrenner wird die zu härtende Verschleißstelle der Messerplatte erhitzt und anschließend mit einem Wasserstrahl abgeschreckt.

stücke, Ventilstößel, Schwinghebel, kurze Messerschneiden, Kupplungszähne und ähnliche Teile werden auf diese Weise mit gutem Erfolg gehärtet. Auch bei kleineren Schnitten empfiehlt es sich, gegebenenfalls unter Verwendung von zwei Brennern, diese Arbeitsmethode anzuwenden (Abb. 4).

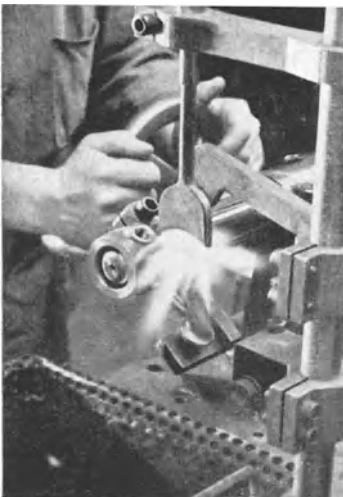


Abb. 5. Brennhärten von Kippschneidern.

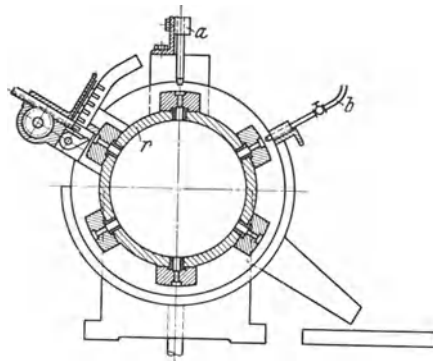


Abb. 6. Härteanlage mit vollkommen selbsttätiger Zuführung zum Brennhärten von Schraubenköpfen. Nach Ablauf der Erhitzungszeit schaltet sich der Revolverkopf  $r$  jeweils um  $\frac{1}{6}$  weiter und bringt die eingelegten Schrauben unter den Brenner  $a$ , wobei der auf Verschleiß beanspruchte Kopf erhitzt wird. Nach Weiterschaltung kommt die erhitzte Schraube unter die Brause  $b$  und wird auf der nächsten Station dann selbsttätig ausgestoßen.

Einfache Vorrichtungen, in die der Brenner fest eingespannt wird, erleichtern die Arbeit sehr. Auf diese Weise werden z. B. Scherenmesser, die dann von Hand vor den Brenner gehalten werden, gehärtet. Wenn auch für das Werkstück selbst eine Auflage geschaffen wird, kann es leicht im richtigen Abstand vor oder unter

den Brenner gebracht werden, wie das z. B. beim Brennhärten von Kipphebeln (Abb. 5) geschieht. Weitgehende Automatisierung ist möglich; Abb. 6 zeigt eine Maschine zum Brennhärten von Schraubenköpfen.

**16. Mantelhärtung nach dem Pendelverfahren.** Bei dieser Arbeitsweise wird der Brenner durch einen geeigneten Antrieb pendelnd über die Werkstückoberfläche bewegt. Die Bewegungsrichtung wird rechtzeitig vor den Enden der zu härtenden Fläche umgekehrt, wobei in einfachster Weise der Hub der zu härtenden Länge angepaßt werden kann. Für das Brennhärten ebener Flächen hat sich das Pendelverfahren noch nicht durchsetzen können. Für kurze Bohrungen, z. B. an Kettenlaschen und in einigen ähnlich gelagerten Fällen, sollte diese Arbeitsweise jedoch häufiger angewandt werden. Auch für un bearbeiteten Stahlguß, der gewöhnlich eine mehr oder weniger starke Zunderschicht trägt, kann das Pendelverfahren Vorteile bieten, da bei dieser Erhitzungsart der Zunder leicht abspringt und dann eine genügend gleichmäßige Härteschicht erzeugt werden kann.

Weitere Vorteile sind dort zu erwarten, wo auf besonders große Härtetiefe Wert gelegt wird, da die Erhitzungsgeschwindigkeit in größten Grenzen regelbar ist. Zerkleinerungsmaschinen für Papier- und Textilzerkleinerungsmaschinen eignen sich z. B. für dieses Arbeitsverfahren besonders gut.

**17. Mantelhärtung nach dem Umlaufverfahren.** Diesem Verfahren kommt für das Brennhärten kurzer Lagerstellen an Wellen, Bolzen, Zapfen und Achsen größte Bedeutung zu. Zunächst wird dabei die zu härtende Lagerstelle mit einem Brenner, dessen Brennlänge der zu härtenden Lagerlänge entspricht, unter stetem Drehen der Welle auf Härtetemperatur erwärmt. Der Brenner wird dabei so dicht an das Werkstück herangebracht, daß der Flammkern möglichst nah an die Oberfläche herankommt, sie jedoch nicht berührt und die Flamme senkrecht auftrifft (Abb. 7). Bei richtig eingestellter Flamme beträgt der Abstand somit etwa 5...6 mm.

Sobald das Werkstück Härtetemperatur angenommen hat, was durch optische Pyrometer notfalls überprüft werden kann, wird der Brenner zurückgezogen und mit dieser Bewegung gleichzeitig die Brause über die erhitzte Lagerstelle gezogen (Abb. 8). Durch Verwendung von zwei Brennermundstücken, die das Werkstück unter Winkeln zwischen 120 und 180° beaufschlagen, kann die Erhitzungszeit und auch der Energieverbrauch gegenüber einem einzigen Brenner gleicher Leistung um 20...30% verringert werden.

Durch den dann schärferen Wärmestau wird eine geringere Einhärtetiefe und ein stärkerer Temperaturabfall zum Kern (Abb. 9) bewirkt. Bei großen Durchmessern benutzt man drei und mehr Brennermundstücke, um während der Erhitzung einen geschlossenen Flammenmantel um das Werkstück legen zu können.

Die Aufteilung der Brennerleistung auf mehrere Mundstücke ist auch mit Rücksicht auf den auftretenden Verzug besonders günstig. So weisen Kurbelwellen im Anfang der Erhitzung einen recht erheblichen Schlag auf, wenn nur ein Brenner benutzt wird. Geht nun auch dieser Schlag im Laufe der Erhitzung zurück und

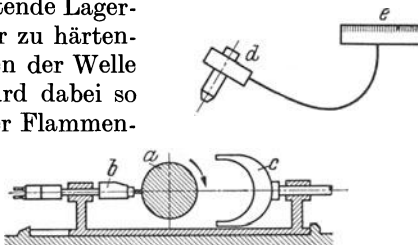


Abb. 7. Umlaufhärtung. Schema für den 1. Arbeitsgang: Erhitzen der Lagerstelle der umlaufenden Welle *a* durch den Brenner *b*. Die Oberflächentemperatur kann durch ein optisches Pyrometer *d* mit Anzeigergerät *e* gemessen werden.

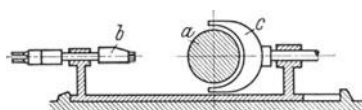


Abb. 8. Umlaufhärtung. Schema für den 2. Arbeitsgang: Abkühlen der auf Härtetemperatur erhitzten Lagerstelle durch die Brause, die zugleich mit dem Zurückziehen des Brenners über die Welle geführt wird.

gleichet sich nach der Härtung ziemlich wieder aus, so besteht doch, besonders bei größeren Kurbelwellen, die Gefahr, daß die Kurbelwelle an den Brenner herankommt und ihn beschädigt, zumindest aber die Härteschicht einseitig wird. Durch Benutzen zweier Mundstücke je Lagerstelle (Abb. 10) ist diese Gefahr auszuschalten. Weiterhin verhindert der durch mehrere Mundstücke um das Werkstück gelegte Flammenmantel das Verzundern der Oberfläche,

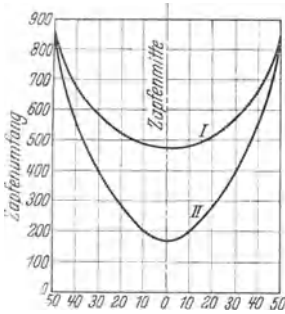


Abb. 9. Temperaturverlauf über den Querschnitt eines Zapfens von 100 mm Durchmesser beim Brennhärten mit verschiedenen Erhitzungsgeschwindigkeiten.  
 Kurve I: 1 Brennermundstück, Brennerleistung, auf die Zapfenoberfläche bezogen:  $0,45 \text{ kcal/cm}^2 \cdot \text{s}$ , Temperaturanstieg  $5^\circ \text{C/s}$ .  
 Kurve II: 2 Brennermundstücke, Brennerleistung:  $0,88 \text{ kcal/cm}^2 \cdot \text{s}$ , Temperaturanstieg  $15,3^\circ \text{C/s}$ .

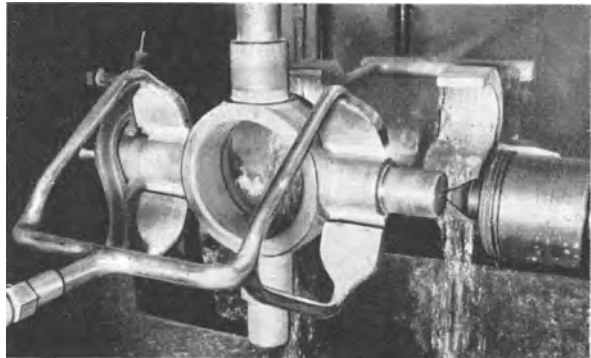


Abb. 10. Anwendungsbeispiel für das Umlaufverfahren. Brennhärten eines Differentialkreuzes, wobei die in einer Achse liegenden Lagerstellen gleichzeitig gehärtet werden.

das bei Verwendung nur eines Mundstückes manchmal auftritt. Den Härteverlauf über einen nach dem Umlaufverfahren gehärteten Kurbelzapfen zeigt Abb. 11.

Der Werkstückdrehzahl kommt keine Bedeutung zu, meist liegt sie bei 80 bis 120 U/min je nach Werkstückdurchmesser. Nur in Ausnahmefällen wird auch hier eine stufenlose Drehzahländerung vorgesehen.

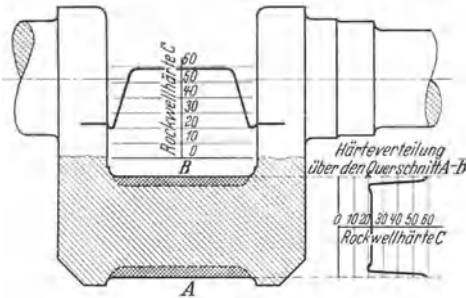


Abb. 11. Härteverlauf über den Querschnitt eines brenngehärteten, vorher vergüteten, Kurbelwellenzapfens.

Die günstigste Erhitzungszeit, abhängig vom zu härtenden Werkstückdurchmesser, zeigt Abb. 12.

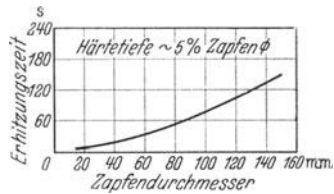


Abb. 12. Erhitzungszeiten bis zum Erreichen der Härtetemperatur von  $820^\circ \text{C}$  beim Umlaufverfahren.

Selbstredend kann man auch Brenner und Brause feststehend anordnen und das Werkstück dann aus der Mittellage zum Erhitzen in die Brenner und zum Abkühlen in die Brause schwenken. Eine derartige Anordnung bietet Vorteile, besonders bei leichten Werkstücken, da alle Leitungen fest verlegt und störende Schläuche vermieden werden können. Die Betriebssicherheit und Übersichtlichkeit der Anlage wird dadurch in vorteilhafter Weise gefördert.

Die beim Umlaufverfahren notwendigen Schaltbewegungen werden zum Teil

selbsttätig ausgeführt. Besonders bei Maschinen, die in der Fließfertigung eingesetzt sind, wird die Schaltbewegung auch zum Steuern der Absperrventile von Gas und Sauerstoff bzw. Wasser benutzt, so daß der Ablauf des Härtevorganges von der Aufmerksamkeit des Bedienungsmannes weitgehend unabhängig gemacht wird. Eine besonders zweckmäßige Maschine, die nach diesen Gesichtspunkten konstruiert ist, zeigt die Abb. 13. Die Anwärmzeiten werden durch ein eingebautes Zeitrelais selbsttätig überwacht. Innerhalb des Arbeitsbereiches der Maschine können die notwendigen Zeiten an der Schaltuhr eingestellt werden. Ein optisches Pyrometer kann angebracht werden. Der federnde Reitstock erleichtert das Auswechseln der Werkstücke sehr und gewährleistet verzugfreies Härten.

Vorteilhaft ist, daß mehrere Lagerstellen gleichzeitig gehärtet werden können, wie das die Abb. 10 am Beispiel eines Differentialkreuzes zeigt. Die Arbeitszeiten werden dadurch erheblich herabgesetzt.

Die Anwendung der Umlaufhärtung ist, wie schon ausgeführt, auf verhältnismäßig geringe Abmessungen beschränkt, da andernfalls die erforderlichen Brennerleistungen zu groß werden. Nachteilig ist auch, daß für jede Lagerlänge genau passende Brenner benötigt werden und somit die Anschaffungskosten für die Brenner sich nur bei größeren Stückzahlen lohnen. Das Verfahren wird z. B. in der Autoindustrie zum Härten von Nockenwellen, Brems-, Kolben-, Steuerungsbolzen usw. benutzt.

Wo größere seitliche Bunde oder Wangen, wie beispielsweise bei den Kurbelwellen, vorhanden sind, führt allein das Umlaufverfahren zum Ziel.

Für das Umlaufverfahren kommt neben der Maschine nach Abb. 13 eine einfache Vorrichtung nach Abb. 7 und 8 in Frage. Diese besteht aus einem Wagen oder Schlitten, der senkrecht zur Werkstückachse verfahrbar ist und auf dem Brenner und Brause, in der Höhe leicht verstellbar, befestigt sind. Nach Ablauf der Erhitzungszeit wird der ganze Wagen zurückgezogen und damit die Brause über das Werkstück gebracht und in Tätigkeit gesetzt. Auch Einzellmaschinen, die mit gleichen Einrichtungen arbeiten, sind häufig anzutreffen, obgleich die Schläuche oftmals das Arbeiten an der Maschine beträchtlich hindern.

Einen nach dem Umlaufverfahren arbeitenden Härteautomaten für Feder-, Kugel-, Kolben- und Kettenbolzen, Druckstücke und ähnliche kleine Teile zeigt Abb. 14. Nach Ablauf der am stufenlosen Getriebe leicht einzustellenden Härtezeit schaltet sich der Teller mit den Werkstückaufnahmen jeweils um ein Achtel weiter, das erhitzte Werkstück gelangt unter die Brause und gleichzeitig ein neues unter den Brenner. Durch entsprechende Verriegelung ist Sorge getragen, daß die Arbeitsstellungen nicht überfahren werden können. Da bei kleinen Werkstücken zwei Arbeitsstellen von einem Mann bedient werden können, beträgt die Leistung einer solchen Maschine bis zu 1000 Stück je Stunde, sie ist daher auch für große Stückzahlen geeignet. Abb. 15 stellt einen Härteautomaten, rechts unten zum Härten

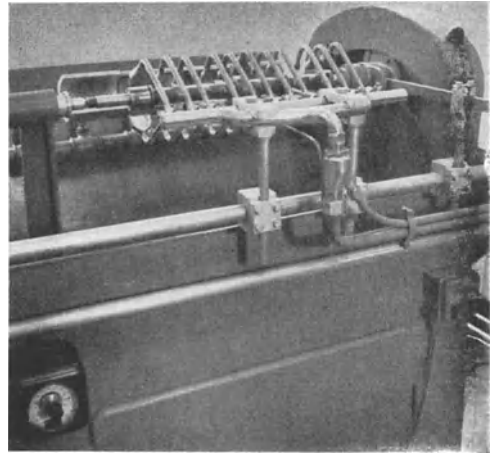


Abb. 13. Maschine zum Brennhärten kurzer Lagerstellen nach dem Umlaufverfahren. Sämtliche Nocken und Lagerstellen der Nockenwelle werden gleichzeitig brenn- gehärtet.

von Druckstücken, dar. Schliffbilder, Abb. 16 und 17, zeigen die Gleichmäßigkeit der so gehärteten Werkstücke.

An Kurbelwellen hatte man ursprünglich nur die in einer Ebene liegenden Lagerstellen gleichzeitig gehärtet. Waren die Mittellager gehärtet, wurde die Welle umgespannt in eine zweite Maschine zum Brennhärten der mitt-

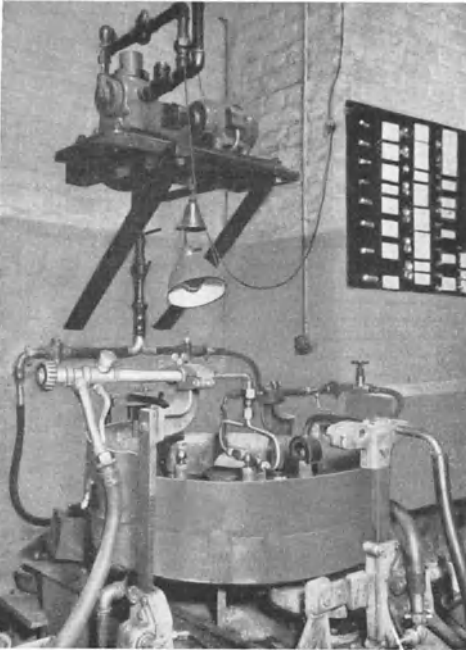


Abb. 14. Automat zum Brennhärten von Kugelbolzen. Rechts: Tafel mit Härtevorschrift für jeden Bolzen. Oben: Gasverdichteranlage.

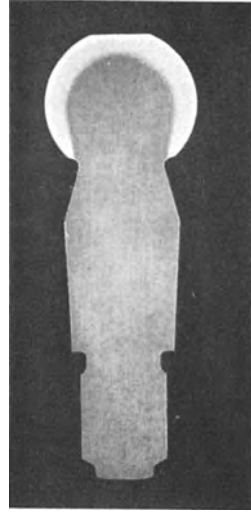


Abb. 16. Schliffbild des nach Abb. 14 gehärteten Kugelbolzens.

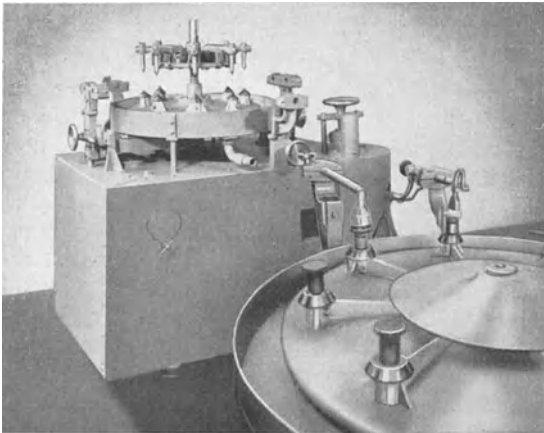


Abb. 15. Automatische Brennhärtung von Druckstücken. Das Härteergebnis ist in Abb. 17 wiedergegeben.

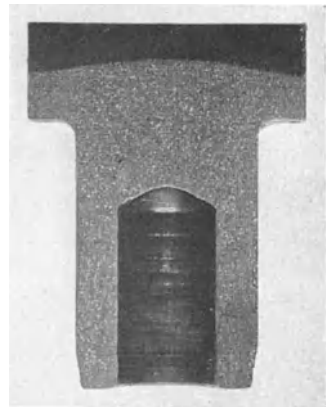


Abb. 17. Schliffbild des nach Abb. 15 gehärteten Druckstückes.

leren Kurbelzapfen und so fort, bis sämtliche Zapfen gehärtet waren. Dieses mehrmalige Umspannen und die Beschaffung von drei und mehr Maschinen für



eine Kurbelwelle fällt bei einer neuen Maschine, Abb. 18, fort. Durch zwei der zu härtenden Kurbelwelle gleiche Steuerwellen erhalten Brenner und Brause eine der kreisenden Bahn der Hubzapfen folgende Bewegung. Der Antrieb der steuernden Kurbelwellen ist mit dem der zu härtenden so gekuppelt, daß nach Ablauf der Erhitzungszeit die Welle bei laufender Maschine aus den Brennern in die Brausen eingeschwenkt werden kann. Große Kurbelwellen, deren Härtung eine zu große Brennerleistung erfordern würden, können ohne Umspannen in zwei Arbeitsgängen gehärtet werden, z. B. erst die eine, dann die andere Hälfte der Lager, wobei die gerade nicht benutzten Brenner abgestellt mitlaufen.

**18. Linienhärtung nach dem Vorschubverfahren.** Für das Härten ebener Flächen ist das Vorschubverfahren am verbreitetsten. Hierbei folgt dem Brenner unmittelbar die

Brause, so daß nur eine schmale Zone (eine Linie) auf Härtetemperatur fortschreitend erhitzt und unmittelbar folgend abgeschreckt wird (Abb. 19). Der Brennerabstand zum Werkstück beträgt ebenfalls 5···6 mm. Der Flammenkern muß wieder dicht über der Oberfläche aufsitzen, ohne sie jedoch zu berühren. Dem Abstand zwischen Brenner und Brause ist sorgfältige Beachtung zu widmen, da diesem für die Wirtschaftlichkeit und die erzielbare Härte tiefe, wie noch später ausgeführt werden soll, große Wichtigkeit zukommt. Meist werden hier wenige Versuche genügen, den richtigen Abstand zu ermitteln, sofern nicht der Brennerlieferant auf Grund seiner Erfahrungen den besten Abstand festgelegt hat. Der Brenner steht gewöhnlich senkrecht zum Werkstück, gelegentlich beträgt der Winkel jedoch nur 70°, nach rückwärts geneigt. Die Brause ist dagegen, je nach Konstruktion, etwas stärker gegen die Werkstückoberfläche geneigt, etwa bis zu 60°.

Die Temperaturmessung ist bei dieser Arbeitsweise schwierig. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß man ohne weiteres darauf verzichten kann, da das menschliche

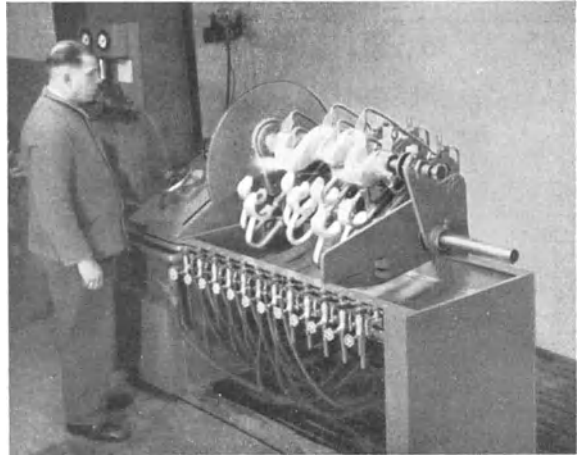


Abb. 18. Kurbelwellen-Härtemaschine zum gleichzeitigen Brennhärten sämtlicher Lagerstellen.

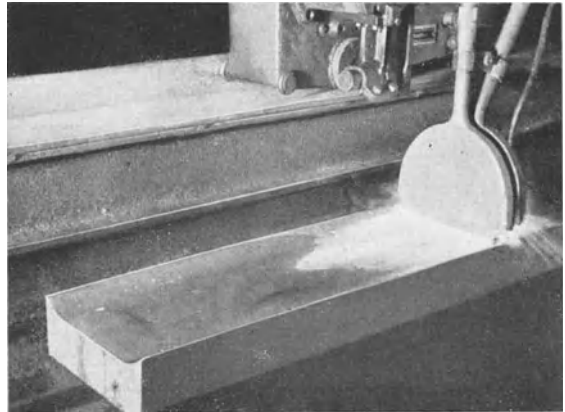


Abb. 19. Brennhärten einer Braunkohlenbrikettschwalbung nach dem Vorschubverfahren. Dem Brenner folgt unmittelbar die Brause.

Auge bereits nach kurzer Übung die Härtetemperatur richtig beurteilt. Selbst angelehrte Leute können die Temperatur nach kurzer Zeit zutreffend abschätzen, so daß durch das Fehlen von Anzeigeräten noch nirgendwo Schwierigkeiten auftraten. In Abb. 20 ist schematisch die Temperaturverteilung im zu härtenden Werkstück angedeutet. Man erkennt, daß die Flamme das Werkstück auf eine kurze Strecke vorwärmt und unmittelbar unter dem Brenner Härtetemperatur erreicht wird. Dort, wo der Wasserstrahl auftrifft, fällt die Temperatur plötzlich ab; da hierbei die kritische Abkühlgeschwindigkeit überschritten wird, erfolgt die Härtung.

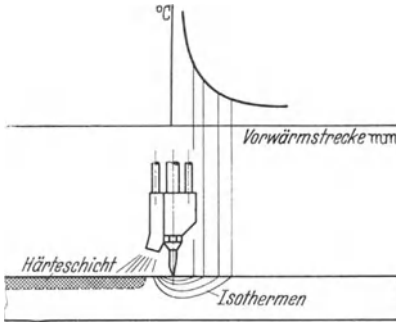


Abb. 20. Temperaturverteilung bei der Vorschubhärtung.

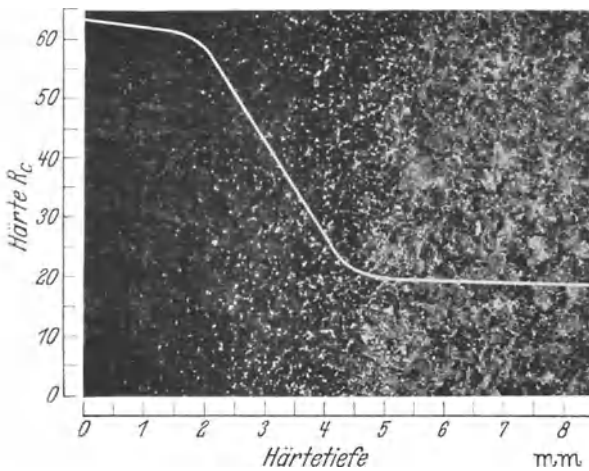


Abb. 21. Gefügeausbildung und Härteverlauf eines nach dem Vorschubverfahren gehärteten Werkstückes aus St C 60.61.

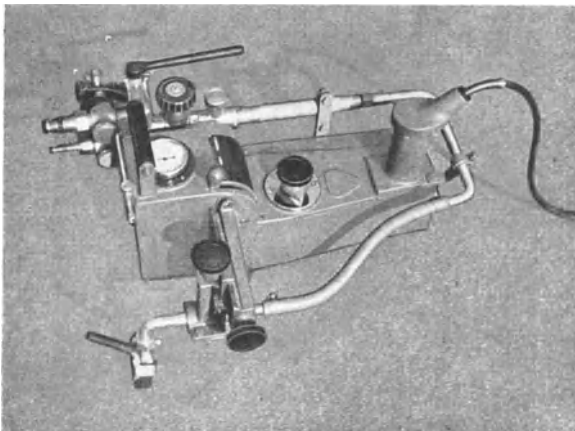


Abb. 22. Tragbare Brennschneidmaschine mit angebautem Griffrohr und Härtebrenner für Brennhärtungen nach dem Vorschubverfahren.

Den Härteverlauf über die so erzeugte Hartschicht zeigt Abb. 21. Beachtenswert ist der allmähliche Übergang von der harten Martensitschicht in den ungehärteten Kern, der für eine innige, unlösliche Verbindung beider Schichten Gewähr bietet.

Für das Vorschubverfahren eignet sich jede tragbare Brennschneidmaschine (Abb. 22). An dieser lassen sich Griffrohre und Brenner in bequemster Weise anbringen. Die Laufschiene kann mit einem Wasserkasten mit in der Höhe verstellbarem Rost entweder fest oder beweglich verbunden sein, so daß man an die zu härtenden Werkstücke bequem herankommen, über schweren Teilen die Anlage notfalls behelfsmäßig aufbauen kann.

Der Regelbereich dieser Maschinen ist ausreichend, die Vorschubgeschwindigkeit kann am eingebauten Tachometer bequem abgelesen werden. Auch für große Kurven, Ringe weiten Durchmessers, lassen sich diese Brennerwagen gut gebrauchen.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Anfang und Ende der Härtung zu schenken. Am Anfang muß der Brenner eine kurze Zeit über dem Werkstück ruhig stehenbleiben, damit die Oberfläche Härtetemperatur erreicht. Die Anwärmzeiten gehen selten über 10 Sekunden hinaus, sie sind meistens geringer.

Wenn die ganze Fläche gehärtet werden soll, haben die Brenner stets eine etwas geringere Brennlänge; sie bleibt zweckmäßig von beiden Kanten je  $2 \cdot \cdot 3$  mm entfernt. Ist dagegen auf der Fläche nur ein schmaler Streifen zu härten, so muß die Brennlänge seitlich  $3 \cdot \cdot 4$  mm übergreifen, da die Härteschicht sonst infolge der seitlichen Wärmeabwanderung zu schmal ausfallen würde.

Wenn das Werkstück bis zum Ende gehärtet werden muß, soll die Bewegung des Brenners kurz vor Erreichen des Werkstückendes, am besten ruckartig, beschleunigt werden, damit eine unzulässige Überhitzung der Kante, die Risse verursacht, vermieden wird. Der Brenner wird dann in solcher Entfernung von der Kante stillgesetzt, daß die Brause die Nachkühlung des letzten Endes vornehmen kann. Eine derartige Arbeitsweise ist insbesondere beim Brennhärten von Zahnrädern günstig.

Eine verhältnismäßig einfache Zahnradhärtemaschine zeigt Abb. 23, bei der durch Auskuppeln des Antriebes die Beschleunigung am Ende des Zahnes von Hand vorgenommen werden kann. Maschinen mit vollkommen selbständiger Arbeitsweise sind ebenfalls auf dem Markt. Bei großen Zahnraddurch-

Größe, Brennhärten.

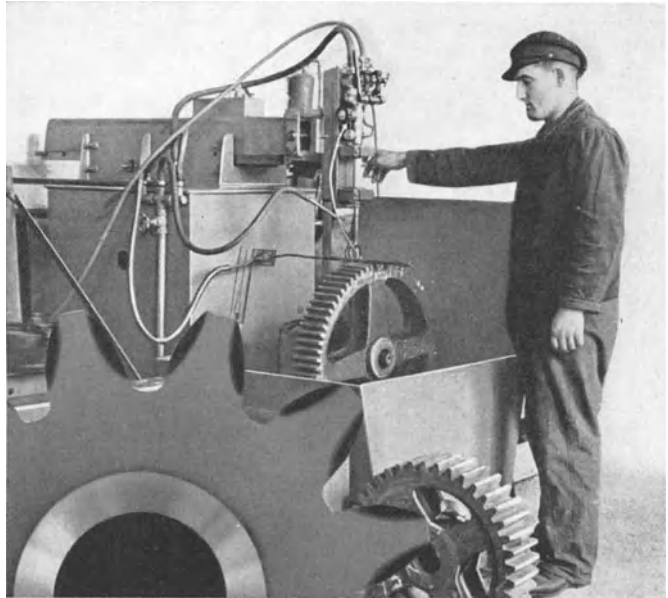


Abb. 23. Zahnrad-Härteanlage. Links unten: Schliffbild eines brenngehärteten Zahnes.

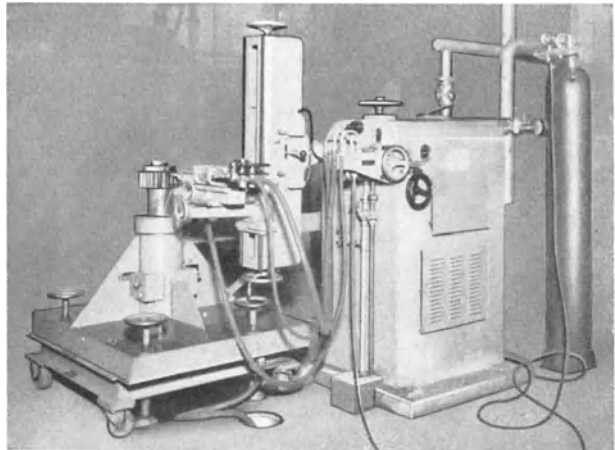


Abb. 24. Zahnrad-Härtemaschine mit Anordnung des zu härtenden Zahnrades auf senkrechtem Dorn.

messern kann das Brennhärten der Zähne in senkrechter Lage Vorteile bieten (Abb. 24).

An Drehbankbetten müssen 2···4 Führungsbahnen gleichzeitig gehärtet werden, wobei zweckmäßig die Betten bis zur Höhe der Härteflächen in Wasser eingetaucht sind, damit die Führungsbahnen nicht windschief werden und der Verzug in tragbaren Grenzen bleibt. Die Brenngase und das Kühlwasser werden dem Brennerwagen durch lange Schläuche zugeführt, die an leicht beweglichen Führungswagen seitlich aufgehängt sind und so den Betrieb nicht stören können. Die Maschine zeigt Abb. 25, siehe auch S. 42, wo die an den Werkstoff Gußeisen zu stellenden Anforderungen und die sich daraus ergebenden Folgerungen für das Brennhärten gußeiserner Betten näher beschrieben sind.

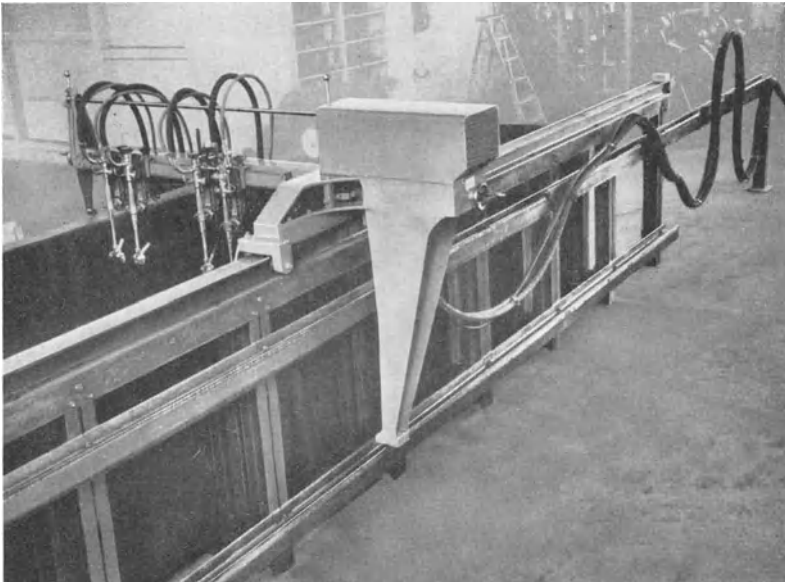


Abb. 25. Spezialmaschine zum gleichzeitigen Härten der vier Führungsbahnen von Drehbankbetten.

Gleitbahnen, Preßstempel und ähnliche allseitig zu härtende Werkstücke werden zweckmäßig auf einer Senkrechthärtemaschine, Abb. 26 u. 27, gehärtet, an der die Arbeit am besten überwacht werden kann. Gefordert werden muß eine solche Anordnung sämtlicher Bedienungshebel, daß eine vollkommene Regelung vom Beobachtungsstand aus möglich ist. Der Reitstock ist mechanisch verfahrbar, eine elektrische Verriegelung schützt die Maschine vor Schäden beim Auflaufen auf die Endstellung. Durch Verwendung eines polumschaltbaren Motors kann die Arbeitsgeschwindigkeit schnell verdoppelt werden, die Leerlaufzeiten sind daher gering.

Das Vorschubverfahren wird mit gutem Erfolg auch bei Rundflächen größeren Durchmessers ausgeführt. Sofern ein Werkstück ringsum gehärtet wird, entsteht an der Anfangs- bzw. Endstelle ein Schlupf (Abb. 28), da die bereits fertiggestellte Härteschicht durch die voreilende Wärme der Flamme wieder angelassen wird. Um diesen Schlupf möglichst gering zu halten, kann man Werkstoff mit hoher Anlaßbeständigkeit benutzen, oder vor dem Brenner eine zusätzliche Wasserbrause anordnen. Die Flamme muß dabei das Wasser nach vorne wegdrücken, was bei geeigneter Formung der Brause leicht sichergestellt werden kann.

Vorsicht ist bei der Anwendung der Vorschubhärtung auf Rundkörper zu empfehlen bei solchen Werkstoffen, die zu Anlaßsprödigkeit neigen.

Zur Vermeidung des Schlupfes hat man auch vorgeschlagen, mit zwei gegenläufigen Brennern zu arbeiten. So einleuchtend dieser Gedanke an sich ist, so begegnet seiner praktischen Durchführung am Anfang, wo sich die beiden Wasserbrausen, und am Ende, wo sich die Brenner stören können, doch Schwierigkeiten.

In den meisten Fällen spielt der Schlupf jedoch keine Rolle, da er durch die angegebenen Maßnahmen auf wenige mm begrenzt werden kann, so daß Laufrollen, Kranräder, Steuerungskurven an Werkzeug- und Verpackungsmaschinen, Nockenscheiben und ähnliche Teile mit gutem Erfolg auf diese Art gehärtet werden.

Ob das Werkstück senkrecht auf einer waagerechten Welle oder waagrecht auf einer senkrechten Welle langsam umläuft,



Abb. 26. Brennhärten von Brikettprädestempeln auf einer Senkrecht-Härtemaschine.

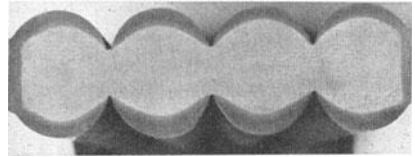


Abb. 27. Schlibbild eines nach Abb. 26 brenngehärteten Prädestempels.

ist praktisch in den meisten Fällen gleichgültig. Je nach der Form des Werkstückes wird man die Ausführungsform wählen, die die beste Übersicht über den Härtevorgang gestattet.

Die senkrechte Lage des Rades (mit waagerechter Achse) ermöglicht, beide Seitenflächen gleichzeitig zu härten, die waagerechte Lage benötigt keinerlei Spannvorrichtung für das Werkstück, ist also bei geringen Stückzahlen oder dünnen Querschnitten vorteilhaft.

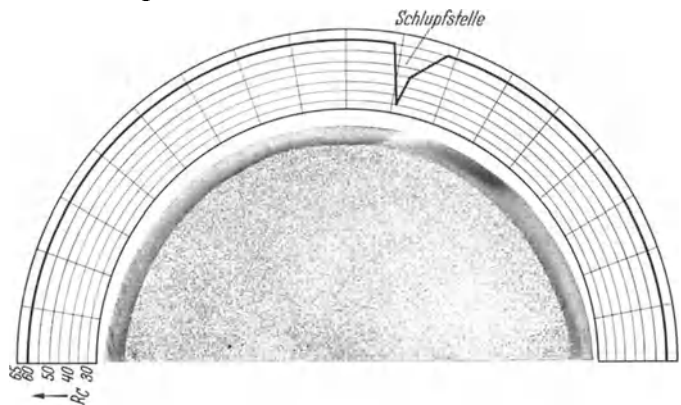


Abb. 28. Gefügeausbildung und Härteverlauf an der Schlupfstelle bei Anwendung des Vorschubverfahrens für Rundkörper.

Das Brennhärten der Stirnflächen wird wie bei ebenen Flächen durchgeführt, bei den Seitenflächen muß u. U. der unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeit Rechnung getragen werden, entweder durch Vergrößern des Brennerquerschnittes

nach außen oder durch größeren Abstand des Brenners vom Werkstück nach innen.

Bei den Räderhärtemaschinen mit waagerechter Arbeitsachse, d. h. senkrechter Werkstückeinspannung versieht man häufig den verstellbaren Arm, der den Brenner

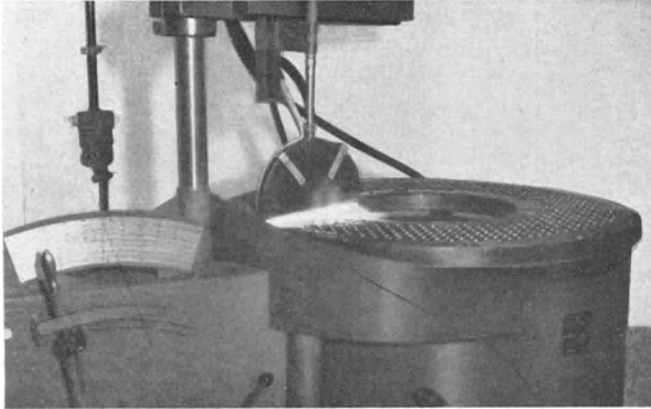


Abb. 29. Radkörper-Härtemaschine mit waagerechtem Arbeitstisch zum Härten von Lochplatten, Ringen und Rädern nach dem Vorschubverfahren.

trägt, zusätzlich mit einer, wenn auch meist nur kurzen, mechanisch angetriebenen Hubbewegung, um auf der Maschine auch Zahnräder härten zu können. Häufig ordnet man zwei oder mehrere Gänge an, um innerhalb eines möglichst großen Durchmesserbereichs stets mit der passenden Vorschubgeschwindigkeit arbeiten zu können.

Zentrier- und -vorrichtungen erleichtern das Ausrichten. Eine ausrückbare Kupplung ermöglicht den Freilauf des Härtetisches, so daß die richtige Lage des Werkstückes leicht überprüft werden kann, wichtig besonders dann, wenn nicht in größeren Serien gearbeitet wird.

Bei beiden Ausführungsformen kann der Brenner beim Auswechseln des Rad-

körpers so weit ausgeschwenkt werden, daß Brennerbeschädigungen, besonders wenn infolge des Werkstückgewichtes mit einem Zug gearbeitet werden muß, verhindert werden. Abb. 29 zeigt das Brennhärten von Lochplatten für die Zement- und Buna-Herstellung, die infolge ihrer Größe nur durch Brennhärten verschleißfest zu machen sind. Die Härtung eines Schrotringes für die Kugelherstellung auf der gleichen Maschine zeigt Abb. 30.

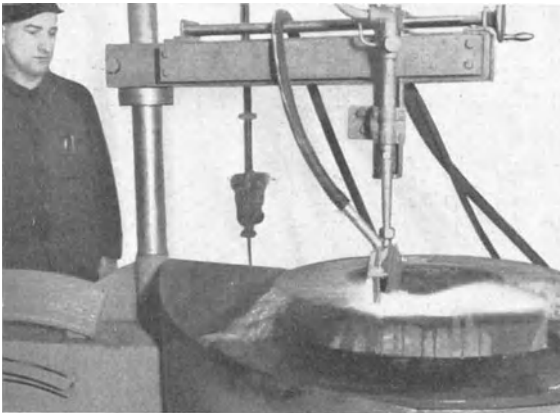


Abb. 30. Brennhärten von Schrotringen für Kugelmühlen.

Flache Kurven, Steuer- und Führungsliniale werden, wenn sie in größeren Mengen anfallen, mit Hilfe von Kopiervorrichtungen gehärtet. Zweckmäßig führt man den Brenner an einem zweiten Werkstück gegen das die Kopierrolle durch eine Feder gedrückt wird. Sofern die Kurven steiler, d. h. über  $25^\circ$  gegen die Gerade geneigt sind, muß der Brenner oder das Werkstück schwenkbar angeordnet werden, damit der Flammenstrahl stets annähernd senkrecht auf das zu härtende Werkstück

auftrifft. Abb. 31 zeigt das Brennhärten einer Kulisse durch zwei am Brennerschlitten befestigte Rollen, die an den beiden Seiten einer entsprechend der zu härtenden Kurve gebogenen Führungsleiste eingreifen und nun das Werkstück immer so ausrichten, daß der Brenner senkrecht nach oben fahren kann. Zum Brennhärten größerer Nocken, Exzenter und Kurvenscheiben dienen mit ähnlichen Einrichtungen arbeitende Sondermaschinen.

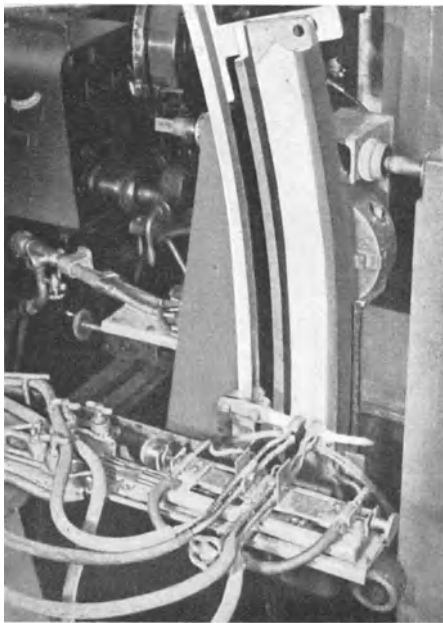


Abb. 31. Zum Brennhärten der Schwingen und Kulissen wird das Werkstück durch Führungsrollen so geführt, daß der Brenner in gerader Richtung fahren kann.

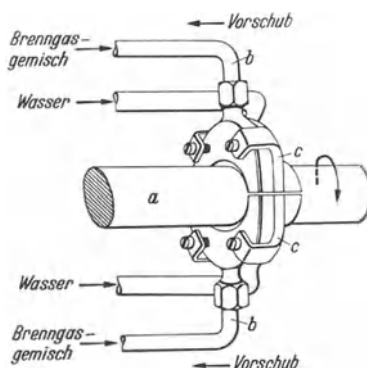


Abb. 32. Umlauf-Vorschubhärtung. Die auf der ganzen Länge zu härtende Welle *a* läuft mit gleichbleibender Geschwindigkeit um. Die Erhitzung durch Segment- oder Ringbrenner *b* beginnt an einem Ende. Dem Brenner folgt die Brause *c* unmittelbar. Mit Hilfe eines Supports werden Brenner und Brause mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über die sich drehende Welle hinweggeführt.

### 19. Linienhärtung nach dem Umlauf-Vorschubverfahren.

Bei langen Wellen würde die Anwendung des Umlaufverfahrens wegen der übertriebenen Brennerbreite zu großen Schwierigkeiten führen, die das Umlauf-

Vorschubverfahren in einfachster Weise überwindet. Ein Segment- oder Ringbrenner mit angebauter Abschreck-

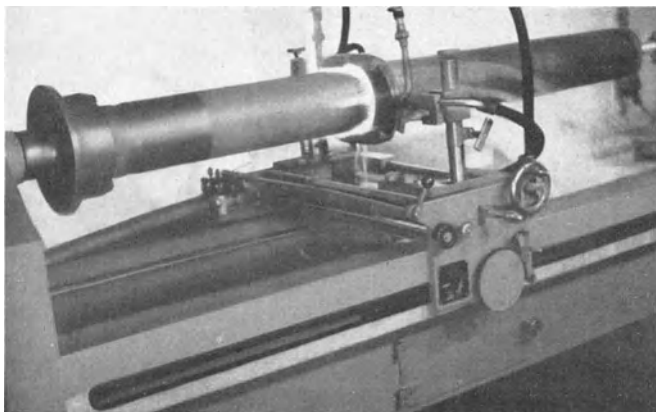


Abb. 33. Härten eines Plungers für eine Höchstdruckpumpe nach dem Umlauf-Vorschubverfahren.

brause wird über die sich drehende Welle, an einem Ende anfangend, in Längsrichtung hinweggeführt, so daß nach einmaligem Überfahren die Härtung beendet ist (Abb. 32 und 33). Segmentbrenner sind günstiger als Ringbrenner, da sie beim Einlegen der Welle ausgefahren werden können und so den Weg frei-

geben, während beim Ringbrenner die Welle durch den Brenner hindurchgesteckt werden muß. Ringbrenner haben dafür einen größeren Arbeitsbereich, etwa 100·150 mm Spielraum zwischen kleinster und größter Welle gegen 25 mm beim Segmentbrenner.

Innerhalb dieses Durchmesserbereichs können Wellen mit ein und demselben Brenner gehärtet werden, so daß mit wenigen Brennern vielseitige Härtemöglichkeiten gegeben sind.

Der auftretende Verzug ist meist sehr gering, besonders wenn das Werkstück vor der Härtung spannungsfrei geglüht oder einwandfrei vergütet ist.

Ob die Welle in waagerechter oder senkrechter Lage gehärtet wird, ist für den auftretenden Verzug und die erreichbare Oberflächenhärte praktisch bedeutungslos.

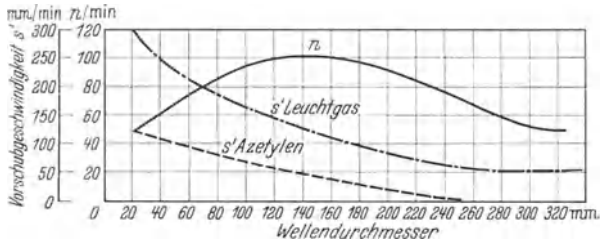


Abb. 34. Vorschubgeschwindigkeit und Drehzahl beim Brennhärten langer Wellen mit Leuchtgas bzw. Azetylen nach dem Umlauf-Vorschubverfahren.

bei waagerechter Härtung, die Drehzahl der umlaufenden Welle. Je geringer der Durchmesser, um so langsamer muß die Welle umlaufen, damit nicht durch auftretende Fliehkräfte ein Verzug hervorgerufen wird, der sich bei der Härtung infolge der dann auftretenden ungleichmäßigen Erwärmung schnell verstärkt.

Die günstigste Drehzahl kann für den jeweiligen Durchmesser der praktisch ermittelten Kurve des Schaubildes (Abb. 34) entnommen werden.

Wesentlich ist, besonders für Vollwellen können, da die Verhältnisse stets gleich sind, auch die günstigsten Vorschubgeschwindigkeiten angegeben werden. Die eingezeichneten Werte beziehen sich auf Kohlenstoffstähle und übliche Härtetiefen von 2·3 mm.

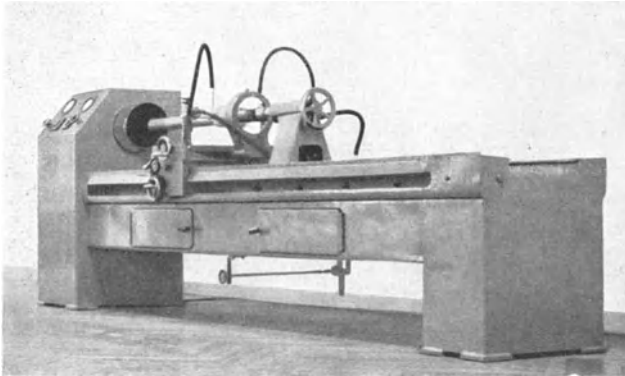


Abb. 35. Nach dem Umlauf-Vorschubverfahren arbeitende Wellenhärtmaschine für Waagerechthärtungen.

Die Temperaturmessung läßt sich bei diesem Verfahren notfalls durchführen, indem der Segment- oder Ringbrenner nicht den ganzen Wellenumfang beaufschlagt, sondern an der Meßstelle eine kleine Öffnung freiläßt, deren Ausstrahlung die Temperaturanzeige durch ein optisches Pyrometer ermöglicht. Nach dem Umlauf-Vorschubverfahren werden Wellen von rund 20 mm Durchmesser bis zu ~ 200 mm Durchmesser mit Azetylen-Sauerstoff und bis zu 750 mm Durchmesser



mit Leuchtgas-Sauerstoff einwandfrei brenngehärtet, wobei oftmals Längen von vielen Metern in Frage kommen und keine Mühe bereiten.

Die weitaus häufigste Ausführungsform einer Maschine zum Härten von Wellen nach dem Umlauf-Vorschubverfahren zeigt die Abb. 35. Bei dieser ist die zu härtende Welle waagrecht angeordnet, so daß die Länge der Maschine ohne weiteres jedem Bedarf angepaßt werden kann. Arbeitslängen von 5, 8 und sogar 12 m wurden schon ausgeführt. So lange Wellen werden durch leicht austauschbare Lünetten unterstützt.

Spindel- und Schlittenantrieb sind völlig voneinander unabhängig und können in den erforderlichen Grenzen stufenlos verändert werden. Große Tachometer zeigen die jeweils eingestellten Geschwindigkeiten an.

Brenngas, Sauerstoff und Wasser werden den Härtebrennern durch auf der Rückseite der Maschine geführte Schläuche, die durch Spiralen gegen Knickung geschützt sind, zugeführt. Die Einstellorgane des Brenners befinden sich vorn am Schlitten, ebenso wie die Einrückung für den Vorschub. Gegen Überfahren der Endstellung ist der Schlitten durch Anschläge, die die Einrückung auslösen, geschützt.

Nach diesem Verfahren werden auch die Innenhärtungen von Zylinderbüchsen durchgeführt. Bei geeigneten Brennerbauformen kann die Härtung, die meist lotrecht vorgenommen wird, ohne Schaden auch waagrecht durchgeführt werden, so daß für die Auswahl der Maschine nur die Zweckmäßigkeit der einen oder anderen Ausführungsform im Hinblick auf etwa sonst noch anfallende Werkstücke entscheidend ist. Der Härtevorgang wird dabei durch Einblasen von Preßluft während des Härtens erleichtert, da die entstehenden Abgase dadurch schneller abgeführt und die Zweitluftzufuhr zum Brenner verbessert wird.

Bei den Senkrechthärtemaschinen (Abb. 36) wird auch der Reitstock me-

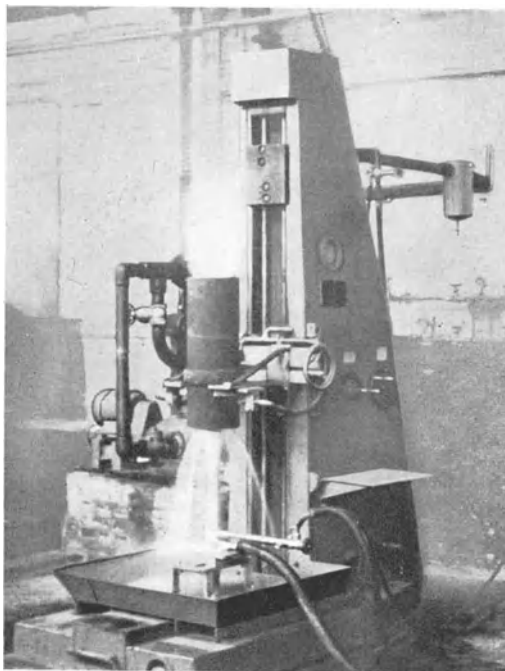


Abb. 36. Innenhärtung einer Zylinderbüchse nach dem Umlauf-Vorschubverfahren auf einer Senkrechthärtemaschine.

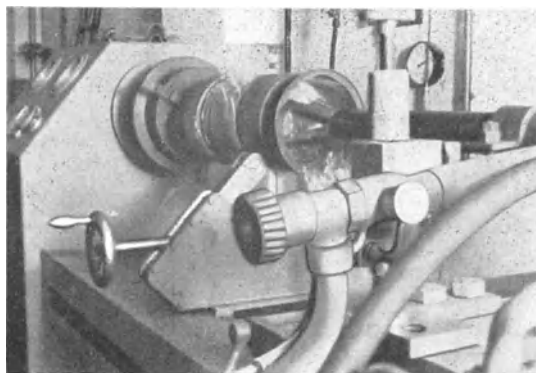


Abb. 37. Innenhärtung auf einer Waagrecht-Härtemaschine.

chanisch verfahren, da sonst das Einrichten der Maschine sehr unbequem sein würde. Sonst ändert sich an der Maschinenausführung, abgesehen von der Stellung des Arbeitsstückes, praktisch nichts.

Die Abb. 36 zeigt eine vollständige Anlage zum Brennhärten von Zylinderbüchsen in senkrechter Anordnung, Abb. 37 eine Waagerechthärtemaschine für den gleichen Zweck.

**20. Auswahl der Maschinen für das Brennhärten.** Für die Frage, ob eine einfache Vorrichtung, eine Ein- oder Mehrzweckmaschine, oder gar eine Universalmaschine beschafft werden soll, ist die Form, Größe, das Gewicht und die Anzahl der zu härtenden Werkstücke maßgebend. Vorrichtungen empfehlen sich beim Härten einzelner, schwerer Teile, deren Transport und Einspannung Schwierigkeiten bereitet. In solchen Fällen kann man beispielsweise eine alte Drehbank umbauen und diese mit einem Schlitten für das Umlaufverfahren bzw. mit stufenlos veränderlichem Antrieb für das Umlauf-Vorschubverfahren ausrüsten.

Soll die Härteanlage innerhalb der Fließfertigung aufgestellt werden und kommt stets ein und dasselbe Werkstück in Frage, so wird man bei kleineren Abmessungen mit einfachen Vorrichtungen bereits gute Erfolge erzielen. Bei schwierigeren und größeren Werkstücken ist dagegen eine Einzweckmaschine, die den Härtevorgang weitgehend zu überwachen und zu regeln gestattet, vorteilhafter. Die meisten Härteanlagen können durch Auswechseln der Brenner die verschiedenartigsten Werkstücke härten. Es ist in jedem Fall aber richtiger, für jede Arbeitsart besondere Maschinen zu beschaffen, da die Universalmaschinen, die ein Arbeiten nach den verschiedensten Verfahren gestatten, meist unhandlich und teuer sind, und dabei die Einrichtezeit wesentlich länger als die Härtezeit wird, so daß die Wirtschaftlichkeit leidet.

**21. Anforderungen an die Härteanlage.** Härteanlagen müssen eine leichte Auswechslung der Brenner und Brausen gestatten, damit beim Übergang auf das Härten eines anderen Werkstückes die Einrichtezeiten möglichst kurz werden. Brenner und Brausen müssen in allen drei Raumrichtungen leicht beweglich sein, damit sie an die zu härtende Oberfläche leicht herangeführt werden können. Ist diese infolge ihrer Form nicht genau parallel zur Führungsbahn des Brennerschlittens auszurichten und lohnen sich Kopiervorrichtungen nicht, kann man dann mit dem Brenner leicht der Gestalt des Werkstückes folgen und so eine einwandfreie Härtung erzielen. Manchmal ist es zweckmäßig, den Brenner nur in zwei Richtungen beweglich zu machen und in der dritten Richtung das Werkstück.

Sofern das Werkstück zum Einspannen in die Maschine besondere Vorrichtungen benötigt, müssen diese der durch das Erhitzen verursachten Ausdehnung Rechnung tragen und sie ausgleichen können, da sonst Verzug hervorgerufen werden könnte. Anschläge, Zentriervorrichtungen sollen vorgesehen, zumindest leicht angebracht werden können, damit das Ausrichten der Werkstücke auf der Maschine reibungslos vonstatten geht.

Die Regel-, Bedienungs- und Kontrollorgane sollen leicht zugänglich und handlich angeordnet, die Steuerbewegungen sinnfällig sein. Vom Bedienungsstand aus müssen alle Regel- und Kontrollorgane erreichbar sein und gleichzeitig muß das zu härtende Werkstück gut beobachtet werden können, damit man erforderlichenfalls den Brenner oder die Arbeitsgeschwindigkeit leicht nachstellen kann. Daraus ergibt sich, daß die waagerechte Anordnung zu bevorzugen ist für zylindrische Körper, die umlaufen, oder für das Brennhärten einer ebenen Fläche, die senkrecht dagegen, wenn zwei oder mehr Flächen gleichzeitig gehärtet werden sollen. Der Bedienungsstand soll ferner frei von störenden Schläuchen sein, auf guten Spritzwasserschutz ist zu achten. Bei Einzweckmaschinen ist eine möglichst weitgehende

Automatisierung des Härtevorganges anzustreben. Bei Beachtung dieser Gesichtspunkte dürfte auch dem Neuling die richtige Maschinenauswahl und -beschaffung nicht schwer fallen.

**22. Aufstellung der Härteanlagen.** Die richtige Aufstellung der Härtemaschinen ergibt sich aus ihrem Verwendungszweck. Einzweckmaschinen, die für das Härten eines bestimmten Werkstückes vorgesehen sind, werden zweckmäßig innerhalb der Fließfertigung aufgestellt, so daß zusätzliche Transportwege für das Härtegut fortfallen. Der Arbeitsplatz ist dadurch gegeben und in den meisten Fällen nicht zu beeinflussen.

Vielzweckmaschinen werden zweckmäßigerweise innerhalb der betreffenden Arbeitsgruppe zusammengefaßt, um die Installation zu vereinfachen. Die Transportwege bleiben bei einer derartigen Aufstellung ebenfalls gering, andererseits ist unter Umständen eine bessere Ausnutzung der Anlage sichergestellt. Nur dort, wo mehrere Betriebsabteilungen laufend die verschiedenartigsten Werkstücke zu härten haben, ohne daß sich für sie die Beschaffung einer besonderen Maschine lohnt, wird man auch die Brennhärtemaschinen in der Zentralhärterei zusammenfassen. In solchem Fall empfehlen sich gut lüftbare Räume, die nicht zu hell sind. Man sollte auf eine möglichst gleichmäßige Beleuchtung Wert legen, da dann dem Härter die Beurteilung der Härtetemperatur erleichtert wird. Ein fensterloser Raum mit stets gleicher, künstlicher Beleuchtung ist, einwandfreie Lüftung vorausgesetzt, am vorteilhaftesten.

## B. Härtebrenner und Brenngase.

Bei den Härtebrennern unterscheiden wir das Griffrohr und das Brennermundstück.

**23. Das Handgriffrohr.** Am Griffrohr befinden sich, ähnlich wie beim Schweißbrenner, die zum Regeln und Abstellen dienenden Hähne für Brenngas und Sauerstoff. Eingebaut sind die Einrichtungen zum Mischen beider Gase, meist auf dem Injektorprinzip beruhend.

**24. Das Maschinengriffrohr.** Vor den Regelhähnen werden vielfach noch gemeinsam gesteuerte Schnellschlußventile angebracht, deren Bedienung von Hand vorgenommen werden kann, die aber meist durch Bewegungsvorgänge der Härtemaschine selbsttätig gesteuert werden. Das jedesmalige Neueinstellen des Brenners erübrigt sich bei diesen Griffrohren. Da dem Brenner stets die gleiche Gasmenge zugeführt wird, finden diese Schnellschlußgriffrohre, auch Maschinenbrenner genannt, bei allen unterbrochenen Härtevorgängen (z. B. Umlaufverfahren) umfangreiche Anwendung. Der heutige Stand des Härtemaschinenbaus mit seiner weitgehenden Automatisierung und Spezialisierung wäre ohne diese Griffrohre kaum möglich gewesen.

Insbesondere bei Härtemaschinen kann eine räumliche Trennung des Ventilblockes vom Injektor zweckmäßig sein, letzterer sollte möglichst nahe dem Mundstück angebracht werden, während die Einstell- und Regelorgane leicht zugänglich und handlich zu bedienen sein müssen.

Bei den Leuchtgas-Sauerstoff-Maschinengriffrohren wird die Steuerung so eingerichtet, daß zunächst Leuchtgas und, erst wenn dieses sich an der ständig brennenden Zündflamme entzündet hat, Sauerstoff zum Brenner gelangt. Beim Abstellen wird in umgekehrter Reihenfolge zuerst Sauerstoff und dann Leuchtgas weggenommen, diese Schaltung vermeidet jeden Rückschlag. Die Brenner arbeiten völlig geräuschlos.

Bei den Azetylenbrennern kann eine derartige Steuerung nicht vorgenommen werden. Azetylen rußt bei der Verbrennung ohne Sauerstoff sehr stark, die Brenner

würden verschmutzen. So schalten die Maschinenbrenner hier Azetylen und Sauerstoff gleichzeitig, der Knall beim Entzünden und Abstellen wird in Kauf genommen.

**25. Bauformen der Brennermündstücke.** Die Härtebrenner werden nach dem von ihnen zu verarbeitenden Brenngas unterschieden in Leuchtgas-, Azetylen-, Propan- und andere Brenner.

Nach der Ausbildung ihrer Mündstücke werden sie Schlitz-, Loch- oder Düsenbrenner genannt. Die Abb. 38...41 zeigen den grundsätzlichen Aufbau dieser Brennermündstücke für die meist benutzten Brenngase Leuchtgas und Azetylen.

Die Anpassung an die zu härtenden Formen gab ihnen Namen wie Flächen-, Profil-, Lagerstellen-, Innen-, Segment- oder Ringhärtebrenner, um hier nur die wichtigsten Formen zu nennen.

Außerdem ist zu beachten, daß die Brenner entweder wasser- oder luftgekühlt sein können.

**26. Schlitzbrenner.** Die Schlitzbrenner Abb. 38 und 39 lassen sich leicht der Form des zu härtenden Werkstückes anpassen. Sie werden daher gern als Härtebrenner für die verschiedenartigsten Profile benutzt. Ihre Wartung ist verhältnismäßig einfach, die genaue Schlitzweite kann durch Einlegen passender Bleche leicht überprüft und notfalls berichtigt werden.

Das Reinigen erfolgt mühelos durch Einführen eines etwa 0,1 mm dünneren Blechstreifens, der im Schlitz hin- und herbewegt wird. Dabei wird das Sauerstoffventil geöffnet, damit der Sauerstoffstrom die kleinen Verunreinigungen mit sich fortführen kann.

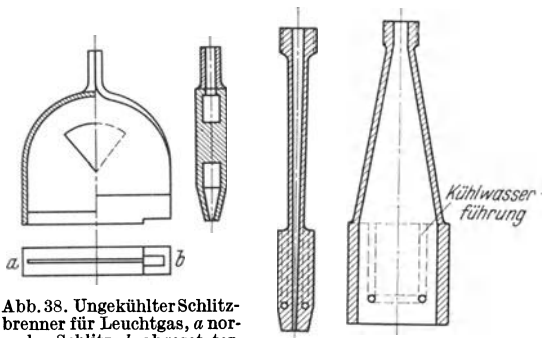


Abb. 38. Ungekühlter Schlitzbrenner für Leuchtgas, *a* normaler Schlitz, *b* abgesetzter, erweiterter Schlitz für Stellen stärkerer Wärmeableitung, z. B. Kurbelwangen.

Abb. 39. Wassergekühlter Schlitzbrenner für Azetylen.

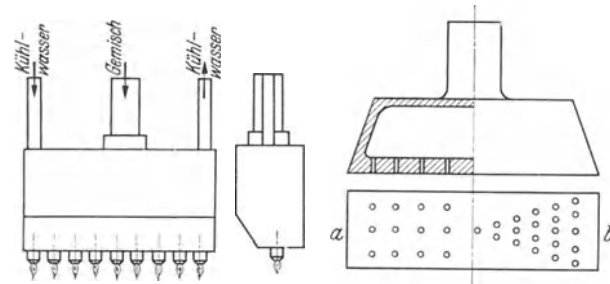


Abb. 40. Wassergekühlter Düsenbrenner für Azetylen.

Abb. 38...41. Die wichtigsten Brennerbauformen für Leuchtgas und Azetylen.

Abb. 41. Ungekühlter Lochbrenner für Leuchtgas, *a* regelmäßige Lochreihen, *b* unregelmäßige Lochverteilung, entsprechend der unterschiedlichen Wärmeaufnahme des Werkstückes.

Schlitzbrenner ergeben einen scharfen messerartigen Kern und ermöglichen deshalb einen guten und gleichmäßigen Wärmeübergang auf das zu härtende Werkstück. Durch Ändern der Schlitzweite kann man eine unterschiedliche Wärmeaufnahme der Werkstücke einwandfrei ausgleichen. Dabei ist es praktisch, den verbreiterten Schlitz so weit gegen den Brennermund zurückzusetzen, daß der Flammenkern, der infolge der größeren Schlitzweite ja länger wird, wieder mit dem normalen Kern abschließt, wie dies am Beispiel des Schlitzbrenners in Abb. 38 bei *b* gezeigt ist.

Die Schlitzbrenner ergeben sowohl für Azetylen als auch für Leuchtgas die beste Wirtschaftlichkeit. Mit Rücksicht auf die Rückschlagsicherheit werden für Aze-

lenbrennern die Schlitzweiten so gewählt, daß der Flammenkern bei Abstellen des Brenners nicht über das Werkstück hinausragt.

tylen nur kurze Schlitzlängen ausgeführt, für Leuchtgas dagegen wesentlich größere. Schlitzbrenner arbeiten meist ohne Wasserkühlung.

Die Anschlußwerte dieser Brenner sind allerdings nur in engen Grenzen regelbar, da man mit der Schlitzweite nicht über ein bestimmtes Maß, bei Azetylen etwa 0,25 mm, bei Leuchtgas etwa 0,5...0,6 mm, hinausgehen kann. Zwei oder mehr parallele Schlitzlöcher haben sich nicht durchsetzen können, da derartige Brenner zu empfindlich werden.

Für die üblichen Härtegeschwindigkeiten genügen die Leistungen der Schlitzbrenner jedoch vollkommen, so daß derartige Brenner auf Grund ihrer sonstigen Vorteile in größtem Maße gebraucht werden. Eine nachträgliche Verkürzung der Schlitzlänge ist zwar durch Einlegen passender Kupferblechstreifen möglich, aber wenig empfehlenswert, weil der Brenner dann ungleichmäßig arbeitet und außerdem der Brennermund durch wiederholtes Auswechseln derartiger Bleche leicht beschädigt wird.

**27. Düsenbrenner** nach Abb. 40 haben den Vorteil, daß ihre Flammenleistung sehr gut unterschiedlichen Werkstücken angepaßt werden kann. Man hat die Möglichkeit, beispielsweise einzelne Düsen durch Blindstopfen zu ersetzen und so die Arbeitslänge des Brenners zu verändern. Einzelne Düsen können durch solche mit kleineren Bohrungen in ihrer Wärmeleistung geschwächt, andere durch größere verstärkt werden.

Nachteilig ist der verhältnismäßig große Abstand zwischen den Einzeldüsen; um einen ausreichenden Wärmeausgleich in der erhitzten Oberfläche und eine gleichmäßige Härteschicht sicherzustellen, darf die Erhitzungsgeschwindigkeit nicht zu groß gewählt werden.

Für die Wartung ist das schnelle Auswechseln der Düsen, das ihre Reinigung sehr erleichtert, vorteilhaft. Die Anpassung an Profilformen ist schwierig, weshalb Düsenbrenner ausschließlich für glatte, gerade oder zylindrische Flächen gebaut werden. Die Düsenbrenner werden gern wegen ihrer leichten Reinigung für Azetylen, das bei Rückschlägen stark rußt, benutzt, wobei meist eine Wasserkühlung vorzusehen ist.

**28. Lochbrenner** (Abb. 40). Durch geeignete Verteilung der Löcher kann die Wärmeleistung derartiger Lochbrenner in weiten Grenzen geregelt werden. Die einzelnen Löcher können wesentlich dichter gebohrt werden als bei der Anordnung von Düsen, was sich günstig auf einen schnellen Wärmeausgleich auswirkt, so daß auch bei größeren Härtegeschwindigkeiten eine genügend gleichmäßige Härteschicht entsteht.

Durch Anordnung mehrerer Lochreihen nebeneinander kann die Leistung weitgehend gesteigert werden, allerdings auf Kosten der Wirtschaftlichkeit, da bei so eng nebeneinander liegenden Brennöffnungen der Zutritt der Luft zur Sekundärverbrennung behindert wird.

Die Wartung derartiger Brenner ist schon schwieriger; man kann die einzelnen Öffnungen durch kleine Holzstäbchen zwar säubern, wird aber meist nach kurzer Zeit ein Aufweiten und damit einen unerwünschten Gasmehrverbrauch beobachten müssen.

Lochbrenner sind für Azetylen günstiger als für Leuchtgas, da nur beim Azetylen ein scharfer Flammenkegel zu erzielen ist, während der Kegel der Leuchtgas-Sauerstoff-Flamme leicht streut und deshalb nur schwer ein optimales Temperaturfeld bildet. In solchen Fällen kann es zweckmäßig werden, das Werkstück etwas in den Flammenkern eintauchen zu lassen.

Durch winklige Anordnung der einzelnen Lochreihen zueinander, wobei die Spitzen der Flammenkerne in einer einzigen Linie zusammentreffen, hat man beim Leuchtgas Vorteile erzielt.

**29. Leuchtgas- und Azetylenbrenner (Abb. 38...41).** Für Leuchtgas werden hauptsächlich Schlitzbrenner (Abb. 38), in Sonderfällen auch Lochbrenner (Abb. 41) benutzt, während für Azetylen die Düsen- (Abb. 40) und Lochbrenner überwiegen. Die Leuchtgasbrenner sind, soweit sie nicht für Innenhärtungen benutzt werden, nicht gekühlt, während die Azetylenbrenner größtenteils wassergekühlt sind. Zu beachten ist, daß für jedes Brenngas auch die dafür ausgebildeten Brenner benutzt werden müssen, da andernfalls weder Betriebssicherheit noch Wirtschaftlichkeit vorhanden ist.

**30. Verstellbare Brenner.** Die Härtebrenner müssen, damit ein guter und gleichmäßiger Wärmeübergang gewährleistet ist, stets der Form des zu härtenden Gegenstandes angepaßt sein. Ein ausreichender Anfall gleichartiger Werkstücke ist bei ihnen mithin Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung des Brennhärtens.

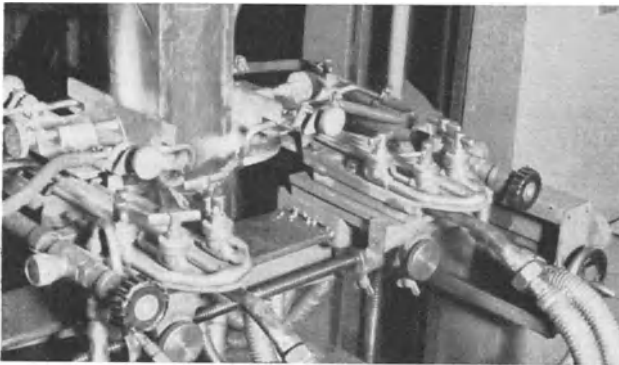


Abb. 42. Brennhärten von Lokomotivgleitbahnen in Ausbesserungswerken mit regel- und verstellbaren Spezialbrennern.

Handwerksbetriebe empfanden den Mangel universal verwendbarer Brenner als störend. Die Anschaffung vieler Einzelbrenner lohnte sich nicht, einmal wegen

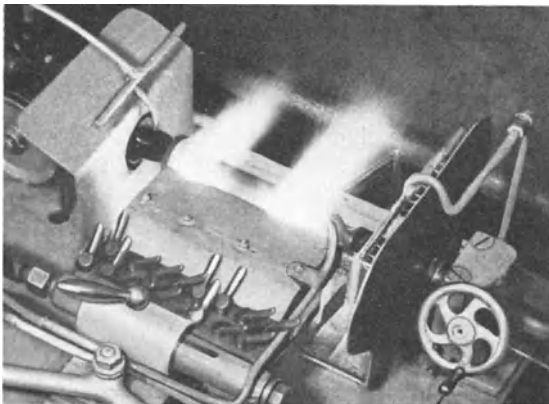


Abb. 43. Brennhärtung von Bolzen mit regelbaren Brennern (Blockbrenner), die die Anwendung dieses Härteverfahrens auch bei stark wechselnden Bolzenabmessungen wirtschaftlich gestalten.

mehr Zwischenstufen vorhanden, die durch Hähne zu- oder abgeschaltet werden können. Da diese Hähne zugleich die Gemischmenge regeln, wird auf diese Weise ein Überhitzen der Kanten sicher vermieden und ein einwandfreies Härten sämt-

Wir haben gesehen, daß bei den üblichen Brennerbauarten nur der Düsenbrenner eine nachträgliche Änderung der Arbeitslänge gestattet. Nachteilig ist dabei, daß die Änderung nur innerhalb der durch den Abstand der Düsen gegebenen Stufen möglich ist und während des Betriebes keine Regelung erfolgen kann.

Besonders die Reparatur- und mittleren

der hohen Anlagekosten, zum ändern wegen des dauernden Brennerwechsels.

Ausgehend von der Tatsache, daß z. B. eine Lokomotivgleitbahn vom Rohzustand bis zur endgültigen Ausmusterung laufend nachgearbeitet und daher in ihrem Querschnitt verringert wird, entstanden Gleitbahnhärtebrenner, deren größte Abmessung der neuen Gleitbahn entspricht und deren kleinste dem Ausschußmaß angepaßt ist. Zwischen dem Größt- und Kleinstmaß sind, abhängig von den jeweiligen Verhältnissen, vier oder

licher Zwischenabmessungen sichergestellt. Es können also die verschiedensten Gleitbahnen in ununterbrochener Folge ohne Brennerwechsel gehärtet werden. Das Härten mit einem solchen Brenner zeigt die Abb. 42.

Für das Härten von Bolzen ist ein ähnlicher Brenner entwickelt. Dabei war darauf Rücksicht zu nehmen, daß häufig zu einer Maschine eine ganze Anzahl sehr unterschiedlicher Bolzen gehört, bei denen zum Teil der mittlere Schaft, zum Teil nur ein oder beide Enden, bei manchen aber auch die gesamte Schaftlänge zu härten ist. All die vielen Möglichkeiten berücksichtigt der Blockbrenner, der nach den Erfordernissen kleinerer Betriebe für kleine Stückzahlen ungleicher Teile gebaut wird und dann zuverlässig das Brennhärten sämtlicher anfallenden Bolzen ebenfalls ohne Brennerwechsel ermöglicht (Abb. 43). Damit haben auch Reparaturbetriebe, für die sich die Beschaffung üblicher Brenner nicht lohnen würde, die Möglichkeit, das Brennhärten anzuwenden.

**31. Brennerpflege.** Für die Lebensdauer der Brenner ist eine sachgemäße Pflege wichtig. Das Prüfen, Einstellen und Säubern von Schlitzbrennern durch Einlegen entsprechend starker Bleche wurde schon in Abschnitt 26 besprochen.

Bei Loch- und Düsenbrennern dürfen verstopfte Öffnungen nicht durch Draht oder ähnliche harte Gegenstände gesäubert werden. Hier ist vielmehr ein weiches Hölzchen zu verwenden, da sonst die Bohrungen aufgeweitet werden und ein unvermeidlicher Gasmehrverbrauch die Folge ist. Die Ausbesserung derartiger Brenner ist wesentlich schwieriger als bei Schlitzbrennern, nur bei sorgfältiger Pflege wird eine ausreichende Lebensdauer erzielt.

Zweckmäßig stellt man beim Reinigen Sauerstoff an, der kleine Verunreinigungen mitreißt.

Die Lebensdauer von Azetylenbrennern erreicht bis zu 2000 Brennstunden, in günstigen Fällen etwas mehr; bei Leuchtgashärtebrennern sind 5000 Brennstunden und mehr bei sachgemäßer Wartung und Pflege erreicht worden. Der Verschleiß ist also verhältnismäßig gering, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wesentlich gefördert wird.

Sachgemäße Behandlung und sorgfältige Lagerung schonen die Brenner beträchtlich.

**32. Brenngase.** Es ist bereits bekannt, daß zum Brennhärten eine große Flammenleistung erforderlich ist, um den gewünschten Wärmestau zu erzwingen. Aus diesem Grunde kommen für das Brennhärten nur wenige der heute in der Technik gebräuchlichen Brenngase zur Anwendung. Den weitaus größten Anteil haben Leuchtgas und Azetylen; daneben werden nur gelegentlich Propan, Butan und Wasserstoff benutzt. Die heizwertarmen Generatorgase werden bis heute noch kaum angewandt.

Zur intensiven Verbrennung wird das Gas im Brenner mit Sauerstoff gemischt, wodurch die Verbrennungsgeschwindigkeit etwa auf das Zehnfache gegenüber der Verbrennung mit Luft gesteigert wird. Auch die übrigen Brenneigenschaften werden günstig beeinflusst. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Brenneigenschaften der angewandten Brenngase zusammengestellt. Es zeigt sich, daß Leuchtgas aus Wasserstoff, Kohlenoxyd und Methan zusammengesetzt ist, während die andern Gase einheitliche Kohlenwasserstoffe sind. Aus dieser unterschiedlichen Zusammensetzung ergibt sich auch ein grundsätzlich anderer Ablauf des Verbrennungsvorganges.

**33. Der Verbrennungsvorgang.** Beim Azetylen können zwei Phasen deutlich unterschieden werden: 1. die Primärverbrennung und 2. die Sekundärverbrennung. Bei der Primärverbrennung spaltet sich zunächst das Azetylenmolekül in Kohlenstoff und Wasserstoff. Der Kohlenstoff verbrennt anfänglich nur zu Kohlenoxyd

Tabelle 2. Brenneigenschaften.

Brenngas	Leuchtgas	Azetylen	Propan	Wasserstoff
Zusammensetzung . . . . .	21,5...6,2 % CO 51,5...53,3 % H <sub>2</sub> 17,0...25,0 % CH <sub>4</sub> 2,0...2,1 % C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> 8...13,4 % O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	H <sub>2</sub>
Oberer Heizwert H <sub>o</sub> . . . . kcal/m <sup>3</sup>	4300...4600	14090	24320	3050
Unterer Heizwert H <sub>u</sub> . . . . kcal/m <sup>3</sup>	3800...4100	13600	22350	2570
Theoretischer Sauerstoffbedarf m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0,795...0,893	2,5	5	0,5
Praktische Zumischung in % des theoretischen Sauerstoffbedarfs . . %	~ 75	40...70	60...70	~ 70
Maximale Zündgeschwindigkeit cm/s	705	1350	370	890
Bei % Sauerstoff im Gemisch . . . .	45	72,5	88	29
Maximale Verbrennungstemperatur mit Sauerstoff . . . . . °C	2800	3100	2750	2650
Bei % Sauerstoff im Gemisch . . . .	35	55		22
Spez. Flammenleistung . . kcal/cm <sup>2</sup> s	3,03	10,7	2,56	3,34
Bei % Sauerstoff im Gemisch . . . .	42	70	72	25
Maximale Wärmedichte kcal/l	2,95	3,95	2,25	2,62
Bei % Sauerstoff im Gemisch . . . .	45	76	80	40

(CO). Das so gebildete CO verbrennt dann in der 2. Phase zu Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>), während zugleich der Wasserstoff (H<sub>2</sub>) zu Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) verbrennt.

Wenn man dem Azetylen vor der Verbrennung gerade so viel Sauerstoff zuführt, daß die Reaktion C zu CO sich vollziehen kann (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> = 2CO + H<sub>2</sub>), spricht man von einem neutralen Mischungsverhältnis. Bei diesem muß ein Teil Azetylen gerade mit einem Teil Sauerstoff gemischt werden. Neutrales Mischungsverhältnis also 1 : 1.

Beim Leuchtgas dagegen ist eine Unterteilung des Verbrennungsvorganges nicht zu beobachten. Hier stehen im wesentlichen zur sofortigen Verbrennung bereits aufgearbeitete Gase zur Verfügung; wir haben es daher beim Leuchtgas vergleichsweise nur mit einer Sekundärverbrennung zu tun, während die Primärverbrennung gleichsam ins Gaswerk vorverlegt wurde.

Aus diesen Gründen ist bei der Verbrennung des Azetylens ein viel größeres Flammenvolumen erforderlich als beim Leuchtgas. Die Wärmedichte, d. h. die in 1000 cm<sup>3</sup> Flammenvolumen entwickelte Wärmemenge ist also nicht sehr unterschiedlich (Abb. 44), für die üblichen Mischungsverhältnisse bei Leuchtgas sogar größer, obwohl der Heizwert des Azetylens etwa dreimal so hoch ist wie der des Leuchtgases. Man darf nämlich nicht annehmen, daß das Gebrauchswertverhältnis den Heizwerten entspricht. Einmal ist hier der unterschiedliche Ablauf der Verbrennungsvorgänge zu beachten, zum anderen aber auch die Tatsache, daß der Unterschied der Verbrennungstemperatur (s. Abb. 43) nicht bedeutend ist. Das Wärmegefälle ist in beiden Fällen so groß, daß ein gleich schneller Wärmeübergang gewährleistet ist.

Für die Rückschlagsicherheit der Brenner ist die nur halb so große Zündgeschwindigkeit des Leuchtgases gegenüber der des Azetylens von Vorteil.

Die spez. Flammenleistung, erläutert als die je cm<sup>2</sup> Kernoberfläche in einer Sekunde entwickelte Wärmemenge, ist stark von der Brennerform abhängig, so daß die Prüfbrennerwerte keine für das Brennhärten unmittelbar geeignete



Kenngrößen sind; hier sollte vielmehr aus den oben angeführten Gründen die je  $l = 1000 \text{ cm}^3$  Flammenvolumen in einer Sekunde erzeugte Wärmemenge eingeführt werden.

Wie die Schaubilder 44a und b erkennen lassen, liegen die Höchstwerte der einzelnen Brenneigenschaften nicht alle bei ein und demselben Mischungsverhältnis, sondern innerhalb eines gewissen Bereichs.

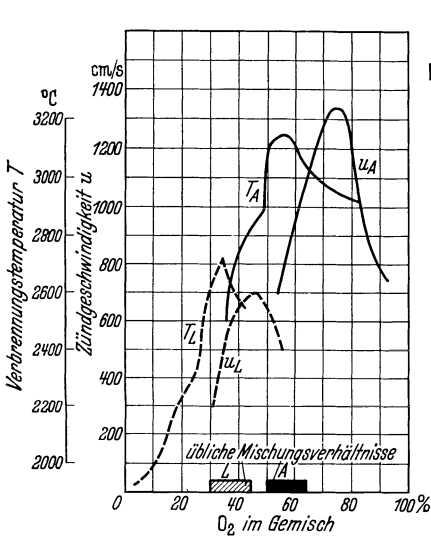


Abb. 44a. auf Flammentemperatur  $T$  und Zündgeschwindigkeit  $u$ .

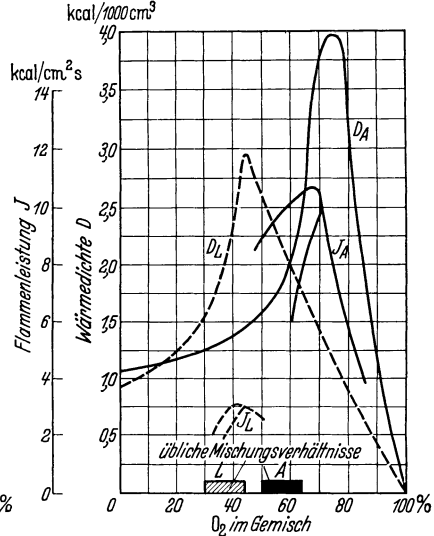


Abb. 44b. auf Flammenleistung  $J$  und Wärmedichte  $D$ .

Abb. 44a u. b. Einfluß des Brenngas-Sauerstoff-Gemisches bei Azetylen A und Leuchtgas L.

Man wird deshalb innerhalb dieser Grenzen arbeiten, um eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit zu sichern. Während man bei Leuchtgas üblicherweise mit einem Mischungsverhältnis Leuchtgas zu Sauerstoff wie 1 : 0,6 arbeitet, wird bei Azetylen das Mischungsverhältnis 1 : 1 bis 1 : 1,5 bevorzugt (vgl. Tabelle 2). Durch Steigerung der Sauerstoffzugabe kann eine Leistungssteigerung erreicht werden, während man bei Leuchtgas bis 1 : 0,75 geht, kommt man beim Azetylen bis 1 : 1,75. Ein derartig hoher Sauerstoffanteil vermag zwar die Leistung zu steigern, er ist aber stets mit einer Überhitzung der Randzone des Werkstückes verbunden, so daß dort, wo ein grobkörniges Randgefüge unerwünscht ist, die Leistungssteigerung durch Sauerstoffüberschuß begrenzt ist.

**34. Azetylen oder Leuchtgas?** In zahlreichen Vergleichsversuchen hat sich ergeben, daß der Sauerstoffverbrauch beim Brennhärten von dem benutzten Brenngas praktisch unabhängig, d. h. etwa gleich ist. Dem Verbrauch von 1 m<sup>3</sup> Azetylen entspricht ein solcher von 1,7 m<sup>3</sup> Leuchtgas. Damit erweist sich, daß der Energieaufwand beim Leuchtgas beträchtlich geringer ist, erklärlich durch die größere Wärmedichte der Flamme bei fast gleicher Flammentemperatur. Da auch die Arbeitszeiten praktisch gleich sind, ebenso hinsichtlich der erreichbaren Härte-tiefen kein Unterschied besteht, gibt der große Preisunterschied beider Brenngase dem Leuchtgas eine eindeutige wirtschaftliche Überlegenheit. Hinzu kommt, daß das Azetylen zu Rückschlägen und zur Rußbildung neigt, wodurch die Brenner stark beansprucht werden, während Leuchtgas rußfrei und praktisch vollkommen rückschlagsicher verbrennt.

Den günstigen Brenneigenschaften des Leuchtgases entsprechen auch zahlreiche technische Vorteile.

Die Erzeugung geschieht im Großen im Gaswerk, das den Betrieben jede notwendige Menge zur Verfügung stellen kann und infolge des großen Gasbehälters auch die stoßweise Belastung, wie sie beim Brennhärten großer Abmessungen auftritt, spielend aufnimmt.

Der benötigte Druck von mindestens 0,3 atü steht in den Fernleitungen meist unmittelbar zur Verfügung, bei der Entnahme aus dem Niederdrucknetz genügen einfache, billige Gebläse, die keiner Wartung bedürfen, zur Erzeugung dieses Druckes.

Demgegenüber muß das Azetylen dem Entwickler entnommen werden. Bau und Betrieb unterliegen behördlicher Überwachung. Die Bedienung erfordert Erfahrung und Sorgfalt. Zweckmäßig sind Hochdruckentwickler, die das Azetylen gleich mit dem benötigten Betriebsdruck von 0,5···0,8 atü liefern, so daß ein zusätzlicher Verdichter erspart werden kann. Die Unterbringung der entstehenden Rückstände (Karbidschlamm) bereitet, insbesondere bei großen Anlagen, manchmal Last.

Für große Abmessungen ist die Bereitstellung der erforderlichen Azetylenmengen schwierig, so daß man beispielsweise bei der Azetylenhärtung über Walzendurchmesser von 200 mm noch nicht hinausgekommen ist gegenüber 750 mm bei Leuchtgas. Selbst für verhältnismäßig geringe Abmessungen belasten die Entwicklerkosten die ganze Härteanlage erheblich, so daß sich schon aus diesem Grunde Azetylen für größere Werkstücke nicht durchsetzen konnte. Bei dem großen, ständig steigenden Umfang der Schweißung sind die meisten in den Betrieben vorhandenen Entwickler bereits so gut ausgenutzt, daß eine zusätzliche Belastung nur durch Neuanschaffung eines größeren Entwicklers befriedigt werden könnte, weshalb man auch aus diesem Grund dem Leuchtgas den Vorrang gibt. Dagegen kann für kleine und kleinste Abmessungen das Azetylen dem Leuchtgas gegenüber gleichwertig werden.

Beim Brennhärten empfindlicher Werkstücke, beispielsweise von Zahnrädern oder Kurbelwellen, macht sich das aus dem Entwickler mitgerissene Wasser störend bemerkbar, so daß man hier vielfach das etwa doppelt so teure Flaschenazetylen benutzt, sofern kein Leuchtgas zur Verfügung steht.

In den Fällen, wo weder Leuchtgas noch Azetylen beschafft werden kann, läßt sich die Brennhärtung auch mit Propan oder Wasserstoff durchführen, für welche beiden Gase die Brenneigenschaften zum Vergleich ebenfalls mit aufgeführt sind. Beim Propan fällt der hohe Sauerstoffbedarf und die geringe Zündgeschwindigkeit ins Auge, wodurch die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt wird.

### C. Abschreckvorrichtungen und Abschreckmittel.

Den Abschreckvorrichtungen kommt, was manchmal noch übersehen wird, mindestens ebensoviel Bedeutung zu wie den Brennern. Das richtig erhitzte Werkstück muß einwandfrei und gleichmäßig abgekühlt werden mit einer Geschwindigkeit, die über der kritischen Abkühlgeschwindigkeit des Stahles liegt. Der Kühlstrahl darf einerseits die Flamme nicht stören, andererseits muß er aber so kräftig sein, daß die Bildung feiner Dampfbläschen auf der erhitzten Oberfläche (Leidenfrostsches Phänomen) zuverlässig unterbunden wird, da sonst Weichfleckigkeit die Folge ist.

**35. Abschreckbehälter.** Das Einwerfen oder -tauchen des erhitzten Werkstückes in ein Bad kommt deshalb nur für kleine Bolzen, Schrauben, Scherenmesser und ähnliche Werkstücke geringer Abmessungen in Frage.

**36. Brausen.** Während beim Umlaufverfahren Brenner und Brause zwei selbständige Bauteile sind, arbeiten bei der Linienhärtung Brenner und Brause, zu einer Baugruppe vereinigt, zusammen. Für das Umlaufhärten werden die Brausen tunnelförmig ausgebildet und meist mit einer hinreichenden Anzahl von Lochreihen versehen. Die Durchmesser der einzelnen Löcher schwanken zwischen 0,75 und 2 mm, je nach Größe des abzukühlenden Werkstückes (vgl. Abb. 8 u. 10).

Wesentlich schwieriger ist die Herstellung der Brausen für das Linienvorverfahren (vgl. Abb. 19 und 32), da hier der Wasserstrahl unmittelbar der Flamme folgt und diese nicht stören darf, gleichzeitig aber mit genügender Geschwindigkeit auf die erhitzte Fläche auftreffen muß und sich dort gleichmäßig verteilen soll.

Als Brausen finden wir sowohl einzelne nebeneinander liegende, aus einer gemeinsamen Zuleitung gespeiste Kupferröhrchen, als auch Brausen mit einer oder mehreren Lochreihen. Gern werden auch Brausen benutzt, die in etwa 5·10 mm Abstand senkrechte Schlitze aufweisen.

Bei Lochbrennern findet man häufig die Brause fest mit dem Brenner verbunden, so daß dadurch gleichzeitig der Brenner wassergekühlt wird. Diesem Vorteil steht aber als Nachteil gegenüber, daß der einmal gewählte Abstand zwischen Brenner und Brause nachträglich nicht mehr geändert werden kann.

**37. Der Abstand Brenner — Brause** hat auf die Härtetiefe wesentlichen Einfluß und muß deshalb vergrößert oder verkleinert werden können. Man wird also, sofern es sich nicht um Sonderbrenner handelt, die nur für ein bestimmtes Werkstück benutzt werden können, besser Brenner und Brause unabhängig voneinander ausbilden. Die Abstandsregelung kann dann leicht durch Verschraubungen oder durch Höher- und Tiefersetzen der Brause am Brenner vorgenommen werden.

**38. Wasser als Kühlmittel.** Zum Abkühlen wird beim Brennhärten in der Mehrzahl der Fälle reines Wasser benutzt; man kann dieses entweder unmittelbar der Wasserleitung entnehmen oder aber aus einem Behälter umpumpen. Wird eine Betriebswasserleitung benutzt, so sind vor der Härteanlage Schmutzfilter einzubauen, damit eine Störung der Brausen sicher vermieden wird.

Besonders im Winter ist darauf zu achten, daß die Wassertemperatur nicht zu stark absinkt, 10 bis 15° C dürften wohl die unterste Grenze bilden. Bei niedrigeren Temperaturen neigen empfindliche Werkstücke, z. B. Zahnräder, Nockenwellen, zu Härterissen, insbesondere, wenn sie aus höher gekohlten oder stärker legierten Stählen angefertigt sind.

In solchen Fällen vermag das Umpumpen, besonders wenn der Auffangbehälter geschützt angelegt wurde, neben der Wassergeldersparnis Vorteile zu bringen. Notfalls kann man auch einen der kleinen selbsttätigen Gaswasserheizer, die heute bereits mit tadellos arbeitender, einstellbarer Temperaturregelung für wenig Geld zu haben sind, vorschalten.

Die Wassermenge beträgt meist nur wenige Liter und kann überschläglich mit etwa 10% der Sauerstoffmenge angesetzt werden.

Für die beim Brennhärten benutzten Stähle kommt man mit Wasser als Kühlmittel durchaus zurecht. Infolge der geringen Erhitzungstiefen können auch solche Werkstoffe, die auf Grund ihres Kohlenstoffgehaltes oder ihrer Legierung an sich Ölhärter sind, z. B. VCMo 240, Kugellagerstahl mit 1,1% C und ähnliche Stähle, wenn nicht gar zu ungünstige Querschnitte zu härten sind, mit Wasser ohne Ribildung abgeschreckt werden.

Der Wasserdruck sollte niemals zu schwach sein, die Leitungsquerschnitte dürfen daher nicht zu klein gewählt werden, damit die wünschenswerte Austrittsgeschwindigkeit des Wassers stets gewährleistet ist.

**39. Wassernebel.** An Stelle von Wasser hat man gelegentlich schon Wasser-

nebel, die von feinen Zerstäuberdüsen erzeugt werden, verwandt. Man kann solche Wassernebel auch durch Preßluft oder Naßdampf erzeugen und dadurch eine mildere Abschreckung erreichen.

Durch Regelung der Wassermenge ist es dabei möglich, einen allmählichen An- und Abstieg der Härte zu erzeugen, wie das u. a. für kurze Schienenstrecken erwünscht sein kann. Es ist dies ein Sonderfall, im allgemeinen ist es richtiger, daß das Werkstück zuerst voll ausgehärtet und hernach auf die gewünschte Härte angelassen wird, da nur so ein gleichmäßiges, einwandfreies Härtegefüge erzielt wird.

**40. Öl und Emulsionen.** Öl scheidet wegen seiner Brennbarkeit im allgemeinen aus. Nicht brennende Emulsionen sind zwar in genügender Anzahl auf dem Markt, haben sich aber noch nicht durchsetzen können, da sie besondere Anlagen zum Auffangen und Umpumpen erfordern und vielfach die Neigung haben, sich schon nach kurzem Gebrauch zu zersetzen.

Da für das Brennhärten Stähle mit allen nur wünschenswerten Eigenschaften zur Verfügung stehen, die mit Wasser einwandfrei und ohne Schwierigkeit gehärtet werden können, wird diesem Kühlmittel auch in Zukunft die überragende Bedeutung zukommen.

## D. Versorgungseinrichtungen und Hilfsmittel.

**41. Brenngasversorgung.** Soweit das erforderliche Brenngas nicht aus Flaschen, einer Fernleitung oder aus einem Hochdruckentwickler mit ausreichendem Druck zur Verfügung steht, muß ein Gasverdichter genügender Leistung aufgestellt werden. Rotationsverdichter eignen sich besser als Kolbenverdichter, zumal der benötigte Gasdruck 1 atü selten überschreitet, üblicherweise zwischen 0,3 und 0,5 atü bei Leuchtgas, 0,5 und 0,8 atü bei Azetylen liegt. Die Verdichter sind mit einer Umlaufleitung zu versehen, in dieser ist zweckmäßig ein selbsttätig arbeitender Umlaufregler einzubauen, der die überschüssige Gasmenge wieder auf die Ansaugseite zurückbefördert. Bei kleineren Anlagen kann man an Stelle des Umlaufreglers auch einen gewöhnlichen Absperrhahn einbauen, der dann so weit geöffnet wird, daß bei arbeitendem Brenner gerade noch der erforderliche Gasdruck vorhanden ist. Zum Schutz etwa vor dem Verdichter liegender Meßeinrichtungen ist eine ausreichende Ansaugleitung, am besten ein Ausgleichbehälter, vorzusehen.

Die Wichtigkeit großer Rohrleitungsquerschnitte kann nicht oft genug betont werden. Es ist besser, die Leitung möglichst weit zu wählen, da erfahrungsgemäß der Anwendungsumfang der Brennhärtung sehr schnell steigt und dann die ursprünglichen Leitungen zu klein werden. Wenn verhältnismäßig kleine Werkstücke zu härten sind, empfiehlt es sich, in die Druckleitung Druckregler einzubauen, die man auf eine bestimmte, als zweckmäßig erkannte Druckhöhe leicht von außen einstellen kann, ohne sie zu diesem Zweck auseinandernehmen zu müssen. Der Druck wird durch ein Manometer gemessen, das zweckmäßig in nächster Nähe der Maschine angebracht wird, damit vom Arbeitsplatz aus die Druckhöhe abgelesen und erforderlichenfalls nachgestellt werden kann.

Die Sicherung der Leitungen gegen Eintritt von Sauerstoff wird bei Verwendung von Azetylen durch eine Wasservorlage, bei Leuchtgas durch ein Rückschlagventil erreicht. Wird das Gas aus Flaschen entnommen, sind besondere Vorlagen nicht erforderlich.

**42. Sauerstoffversorgung.** Der Sauerstoff wird in Flaschen bezogen. Sofern größere Stückzahlen oder größere Werkstücke zu härten sind, empfiehlt es sich, mehrere Flaschen zu einer Batterie zusammenzustellen, wobei man zweckmäßig zwei Sammelleitungsstränge vorsieht, die entweder einzeln oder gemeinsam auf die Versorgungsleitung arbeiten können. Durch besondere Hauptabsperrhähne muß

jeder Sammelleitungsstrang für sich abschaltbar sein, so daß, während die eine Seite in Betrieb ist, die andere Seite erforderlichenfalls ausgewechselt werden kann. Auch die einzelnen Flaschen sollten stets über besondere Absperrflähe an die Sammelleitung angeschlossen werden, damit erforderlichenfalls undichte Flaschen getrennt ausgewechselt werden können. Der Flaschendruck wird am besten erst in Nähe der Härtemaschine auf den benötigten Arbeitsdruck durch ein zweistufiges Druckminderer herabgesetzt. Bei größeren Entnahmemengen empfiehlt es sich, einen Einfrierschutz am Druckminderer anzubringen, um einen störungsfreien Dauerbetrieb zu gewährleisten. Der Einfrierschutz besteht aus einer elektrisch geheizten Widerstandspatrone, die bequem zwischen das Entnahmeventil und den Druckminderer geschaltet werden kann. Der Arbeitsdruckbereich sollte nicht zu niedrig sein, bewährt haben sich solche Druckminderer, die bis zu 15, bei größeren Brennern bis zu 25 atü gehen. Sämtliche Sauerstoffleitungen, -ventile und -meßgeräte sind sorgfältig fettfrei zu halten.

**43. Wasserversorgung.** Das benötigte Wasser zum Abschrecken wird gewöhnlich unmittelbar der Wasserleitung entnommen. Bei größeren Härteanlagen empfiehlt es sich jedoch, einen unterirdischen Behälter mit einer Unterwasserpumpe vorzusehen, die das Härtewasser dauernd umpumpt. Selbstverständlich darf in solchem Fall die Möglichkeit einer Frischwasserzufuhr nicht vergessen werden. Es empfiehlt sich, vor die Härtemaschine einen Filter zu setzen, um kleine Verunreinigungen, die die Brause verstopfen könnten, fern zu halten.

**44. Betriebskontrolle.** a) Brenneinstellung. Die Gleichmäßigkeit des Härteergebnisses hängt, abgesehen von einer verständnisvollen Brennerpflege, davon ab, daß die Brenneinstellung stets gleichmäßig ist. Um diese Einstellung überwachen zu können, haben sich Mengemesser, die nach dem Durchflußprinzip arbeiten, bewährt. Indem man für sämtliche vorhandenen Brenner ein für allemal die günstigste Einstellung mit Hilfe dieser Meßgeräte festlegt, kann man auch im laufenden Betrieb leicht und schnell sich davon überzeugen, daß die einmal gewählte Einstellung gleichmäßig bleibt. Dazu ist selbstverständlich noch notwendig, daß auch der Gasdruck durch entsprechende Regler konstant gehalten wird. Eine solche Meßanlage zeigt Abb. 45.

b) Temperaturmessung. Die Temperaturmessung wird beim Brennhärten in den meisten Fällen dem Auge übertragen. Nur beim Umlaufverfahren (Abb. 7 und 8) und gegebenenfalls beim Umlaufvorschubverfahren (Abb. 32) läßt sich die Temperatur mit Hilfe optischer Pyrometer messen. Dieses gilt jedoch mit Einschränkung. Da die Meßgeräte eine gewisse Anzeigeverzögerung haben, arbeiten sie bei dünnen Durchmessern, die nur sehr kurze Härtezeiten erfordern, zu träge und sind daher nicht in der Lage, die Härtetemperatur richtig anzuzeigen. Man muß bei mittleren Querschnitten die Erhitzung bei verhältnismäßig niedriger Temperatur abbrechen, weil der Anzeigefehler bei diesen Abmessungen oft bis zu 50° C beträgt. Lediglich bei stärkeren Querschnitten ist das optische Pyrometer ein brauchbares Hilfsmittel. Bei dünnen Querschnitten muß man an Hand des Bruchgefüges und der Härte prüfen, ob die Härtetemperatur richtig war. Richtig gehärtet, zeigt der Rand

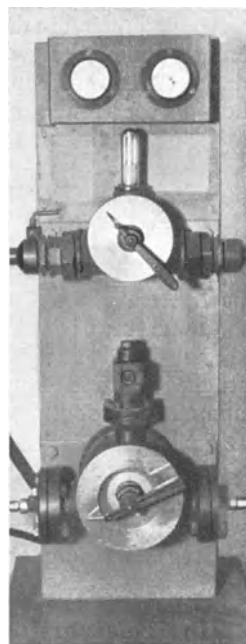


Abb. 45. Mengemeßanlage für Brenngas und Sauerstoff.

gleichmäßig samtartiges, mattes Aussehen; war die Temperatur zu hoch, zeigen sich am äußersten Rand grobe, glänzende Kristalle; war die Temperatur dagegen zu niedrig, wird keine oder nur unzureichende Härte gemessen. Der Anfänger neigt leicht dazu, die Temperatur übermäßig hoch zu wählen, er tut gut daran, häufiger Bruchproben vorzunehmen.

c) **Zeitmessung.** Für alle übrigen Fälle erweist sich das Messen der Anwärmezeit mit Hilfe einer Stoppuhr oder selbsttätig, durch ein einstellbares elektrisches Zeitrelais als vorteilhaft. Wenn die Druckregelung und Mengenkontrolle einwandfrei sind, ist eine gleichmäßige Wärmeleistung der Brenner sichergestellt, so daß die Flammenleistung der Brenner und damit die Erhitzungsgeschwindigkeit ein für allemal gleichbleibend festliegt; so stellt die Zeitmessung die genaueste Überwachung des Härtevorganges dar. Beim Linienverfahren tritt an Stelle der Zeitmessung das Messen der Vorschubgeschwindigkeit mit Hilfe geeigneter Tachometer.

### E. Vorausberechnung der Härtekosten.

Die beim Brennhärten aufzuwendenden Härtekosten umfassen die Lohnkosten für die Arbeitszeit, die Energiekosten und ferner die Abschreibungen für die Anlage.

45. Die **Arbeitszeit** setzt sich beim Mantelverfahren aus der Erhitzungszeit  $t_e$ , der Abkühlzeit  $t_a$  und der Nebenzeit  $t_n$  für das Auswechseln des Werkstückes, Schalten der Maschine usw. zusammen. Hierzu kommt der von der Stückzahl unabhängige Zeitbedarf für das Einrichten der Maschine, die Rüstzeit  $t_r$ . Abgesehen von  $t_r$  sind in den Zeitangaben die durch Störungen, Unregelmäßigkeiten usw. entstehenden Zeitverluste nicht enthalten (vgl. Refa<sup>1</sup>). Gegebenenfalls ist daher ein durch Beobachtungen zu ermittelnder Verlustzeitzuschlag  $t_v$  zu den für den ungestörten Arbeitsverlauf in Frage kommenden Zeiten hinzuzufügen.

$t_e$  und  $t_a$  können zur **Hauptzeit**  $t_h = t_e + t_a$  zusammengefaßt werden.

Wenn  $z$  Werkstücke nach dem Mantelverfahren zu härten sind, ergibt sich für diese  $z$  Stücke allgemein die Arbeitszeit in Minuten:

$$T_m = t_r + z(t_e + t_a + t_n + t_v).$$

Die in der Klammer dieses Ausdrucks enthaltenen Zeiten stellen in ihrer Summe nach Refa die Stückzeit  $t_{st}$  dar.

Beim Mantelverfahren sind  $t_e$  und  $t_a$  für sich zu bestimmen.

Die Erhitzungszeit  $t_e$  hängt im wesentlichen vom Durchmesser des Werkstückes ab und kann für Überschlagsrechnungen zu  $t_e = D/60$  Minuten angenommen werden, wobei für  $D$  der Werkstückdurchmesser in mm einzusetzen ist. Die Abkühlzeit  $t_a$  ist ungefähr halb so groß, also  $T_m = t_r + z(D/40 + t_n + t_v)$ .

Beim Linienverfahren sind die Verhältnisse die gleichen, nur sind Erhitzungs- und Abkühlzeit zur Hauptzeit  $t_h$  zusammengezogen; sie kann ermittelt werden aus der gesamten Härtelänge  $L$  in mm und der Vorschub- oder einfach Härtegeschwindigkeit  $s'$  in mm/min:  $t_h = L/s'$ , somit ergibt sich in Minuten:

$$T_l = t_r + z(L/s' + t_n + t_v).$$

Die Rüstzeit  $t_r$  wirkt sich, abhängig von der Maschine, um so geringer aus, je mehr diese ausschließlich für ein bestimmtes Werkstück entwickelt und je größer daher die Stückzahl ist.

Die Nebenzeit  $t_n$  für das Auswechseln des Werkstückes ist im wesentlichen bedingt durch dessen Größe und nimmt mit wachsenden Werkstückgewichten und Abmessungen zu.

<sup>1</sup> Reichsausschuß für Arbeitsstudien. Grundsätze s. Refa-Buch, Beuth-Vertrieb, Berlin SW 68.

Die Verlustzeit  $t_v$  ist von örtlichen Verhältnissen des betreffenden Betriebes abhängig und etwa derjenigen bei Dreharbeiten vergleichbar.

**46. Der Energieverbrauch** ist bedingt durch die Größe der zu härtenden Fläche, die gewünschte Härtetiefe und den Anschlußwert des Brenners. Zur Vorausberechnung des Gasverbrauches sind die Werkstückabmessungen und die gewünschte Härtetiefe schnell zu ermitteln. Der Anschlußwert der Brenner muß dagegen noch klargestellt werden. Da bei den Schlitzbrennern die Schlitzweite nur innerhalb sehr enger Grenzen verändert werden kann, ist der Anschlußwert des Brenners praktisch stets proportional der zu härtenden Flächenbreite.

Bei Loch- und Düsenbrennern kann dagegen der Anschlußwert in weiten Grenzen schwanken, je nachdem eine oder mehrere Lochreihen mit kleinem oder großem Querschnitt vorgesehen werden. Trotzdem ergibt sich auch für diese Brenner ein günstigster Anschlußwert. Wird dieser über- oder unterschritten, so sinkt die Wirtschaftlichkeit, weil bei Überschreitung die Ausnutzung der Flammenwärme und beim Unterschreiten dieses Wertes der erforderliche Wärmestau nicht erreicht wird.

Unter dieser Voraussetzung ergibt sich der Verbrauch

$$\text{beim Mantelverfahren: } V_m = b \frac{D L}{60000} \text{ m}^3,$$

$$\text{beim Linienverfahren: } V_l = b \frac{U L}{1000 s'} \text{ m}^3.$$

In diesen Formeln bedeutet:

$V$  = Verbrauch an Gas, Sauerstoff bzw. Wasser  
in  $\text{m}^3$ .

$b$  = Energiekonstante nach Tabelle 3.

$D$  = Durchmesser des zu härtenden Werkstückes in mm.

$L$  = Länge der zu härtenden Fläche in mm.

$U$  = Umfang bzw. Breite der zu härtenden Fläche in mm.

$s'$  = Vorschubgeschwindigkeit des Brenners  
in mm/min.

Tabelle 3. Energiekonstante  $b$ .

Azetylen	Leuchtgas	Sauerstoff	Wasser
1,2	2,0	1,2	0,1

Vorstehende Formeln gelten für eine Härtetiefe von 2...3 mm. Soll die Härtetiefe davon abweichen, so ist bei 1 mm Härtetiefe ein Abschlag von 30%, bei 5 mm dagegen ein Zuschlag von rund 50% zu machen.

Bei der Formel für das Mantelverfahren, die insbesondere für das Umlaufverfahren gilt, ist angenommen, daß bei Werkstückdurchmessern bis 30 mm ein, bei größeren dagegen zwei Brennermundstücke verwandt werden. Werden bei kleineren Durchmessern ebenfalls zwei Mundstücke benutzt, so tritt eine Ersparnis an Brenngas und Sauerstoff um etwa 20% auf. Wird bei größeren Durchmessern dagegen nur mit einem Brenner gearbeitet, so steigt der Gas- und Sauerstoffverbrauch bis zu 50% an.

Die errechneten Werte gelten für die üblichen Gas-Sauerstoff-Gemische nach Tabelle 2 (S. 30), und zwar Leuchtgas zu Sauerstoff gleich 1 zu 0,6, Azetylen zu Sauerstoff gleich 1 zu 1. Wird beispielsweise bei Azetylen mit Sauerstoffüberschuß gearbeitet, indem die Azetylenmenge herab- und die Sauerstoffmenge hinaufgesetzt wird, so ändert sich das Mischungsverhältnis

$$\text{C}_2\text{H}_2 : \text{O}_2 = 1 : 1 \text{ auf } \text{C}_2\text{H}_2 : \text{O}_2 = 0,8 : 1,2.$$

Der errechnete Wert für Azetylen ist dann mit 0,8, der für Sauerstoff mit 1,2 malzunehmen. Wird dagegen bei konstanter Azetylenmenge die Sauerstoffzufuhr und damit die Gemischmenge erhöht, so ist das Verhältnis 1 : 1,5 geworden, d. h. in diesem Falle wäre die Sauerstoffmenge mit 1,5 malzunehmen.

Wenn auch durch Sauerstoffüberschuß die Leistung der Brenner gesteigert werden kann, so ist von übertriebenem Überschuß abzuraten, da er leicht zu Überhitzungen oder Entkohlungen der äußersten Randschicht führt (vgl. Abschn. 33).

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren kann man mit Hilfe der angegebenen Formeln den Energieverbrauch auf  $\pm 10\%$  genau ermitteln.

### III. Werkstoffe.

#### A. Unlegierte und legierte Stähle.

**47. Kennzeichen.** Das grundsätzliche Kennzeichen aller für das Brennhärten geeigneten Stähle ist der höhere Kohlenstoffgehalt gegenüber den zum Einsatzhärten benutzten niedrig gekohlten Einsatzstählen (Abb. 1, S. 6). Da während des Erhitzungsvorganges keine Kohlenstoffanreicherung in der Oberfläche stattfindet, müssen die zum Brennhärten geeigneten Stähle bereits den zur Erzielung der gewünschten Oberflächenhärte notwendigen Kohlenstoffgehalt besitzen. Solche Stähle werden allgemein als Vergütungsstähle bezeichnet und haben einen Kohlenstoffgehalt von ungefähr 0,35 bis 0,6%. In Ausnahmefällen werden Stähle geringeren oder höheren Kohlenstoffgehaltes benutzt. Höherer Kohlenstoffgehalt ist meist unerwünscht, da derartige Werkstoffe zu Härterissen neigen.

Diese Stähle zeichnen sich gegenüber den Einsatzstählen durch größere Festigkeit aus, so daß man mit geringeren Querschnitten auskommt oder aber höhere Kräfte übertragen kann.

Da das Brennhärten nur den äußeren Rand erfaßt, kommen Einsatzstähle, auch wenn sie vorher aufgekohlt wurden, nur in Ausnahmefällen zur Anwendung, da eine einwandfreie Vergütung des Kerns beim Brennhärten nicht durchzuführen ist. Wo aber aufgekohlte Werkstücke bei üblicher Abschreckung zu Härterissen (Gleitbahnen!), Ablätterungen und Verzug (Kolbenstangen!) neigen und andererseits den Kerneigenschaften des Werkstoffes nicht allzu großer Wert beizumessen ist, wird das Brennhärten mit Vorteil auch auf aufgekohlte Einsatzstähle ausgedehnt. Dabei kann dann das Abdecken der weich zu haltenden Oberflächen unterbleiben und somit Vor- und Nacharbeit erspart werden.

**48. Werkstoffübersicht.** Bewährt haben sich für das Brennhärten zahlreiche unlegierte Kohlenstoffstähle und legierte Vergütungsstähle, wobei die vier Gruppen der Tabelle 4 auf Grund ihres Legierungsgehaltes unterschieden werden können.

Zur Gruppe 1 gehören die Maschinenbaustähle nach DIN 1611. Ab St 50.11 sind diese bedingt für die Brennhärtung brauchbar. Auf Grund ihrer Erschmelzung im Siemens-Martin-Ofen oder in der Thomas-Birne werden sie mit mehr oder weniger großer Gleichmäßigkeit und Reinheit hergestellt. Die Gleichmäßigkeit der Analyse ist nicht gewährleistet, sie werden gehandelt und geliefert auf Grund ihrer Festigkeitseigenschaften. Die Festigkeit wird nun aber nicht nur durch den

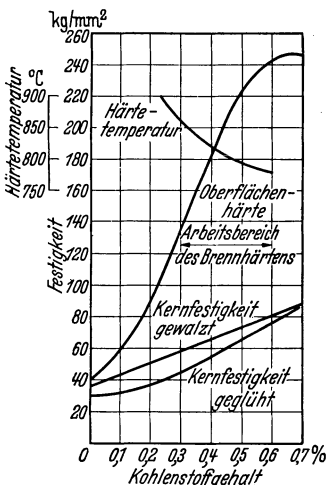


Abb. 46. Einfluß des Kohlenstoffgehaltes auf Kernfestigkeit und Oberflächenhärte unlegierter Kohlenstoffstähle.

Kohlenstoffgehalt, der für das Brennhärten ausschlaggebend ist, sondern auch durch die Art der Vorbehandlung (Walzvorgang, Kaltverformung usw.) beeinflusst (Abb. 46). Der Kohlenstoffgehalt schwankt daher in ziemlich großen Grenzen, mithin liegt die zu erreichende Oberflächenhärte ebenfalls innerhalb eines größeren



Tabelle 4. Werkstoffgruppen.

	Bezeichnung	Kohlenstoff-Gehalt	Sonstiges	Härte-temperatur °C	Erreichbare Oberflächen- härte Rockwell- härte C
Gruppe 1	Kohlenstoffstähle . . .	0,30···0,80 %	~ 0,8 % Mn	880···820	40···65
	Manganstähle . . . . .	0,30···0,50 %	1,6···1,9 % Mn	840···820	55···58
	Mangan-Silizium-Stähle	0,33···0,34 %	1,0···1,4 % Mn und 0,5···1,5 % Si	830···810	56···60
Gruppe 2	Mangan-Vanadin-Stähle	0,38···0,44 %	1,8 % Mn u. 0,15 % V	820···800	55···60
	Chrom Stähle . . . . .	0,30···0,55 %	max. 1,1 % Cr	850···820	50···55
	Chrom-Mangan-Stähle .	0,35···0,47 %	0,8···1,2 % Mn und 1,0···1,9 % Cr	870···830	58···63
	Chrom-Vanadin-Stähle .	0,30···0,55 %	0,8···1,11 % Cr und 0,15···0,20 % V	880···860	50···60
Gruppe 3	Chrom-Molybdän-Stähle	0,35···0,55 %	0,8···1,11 % Cr und 0,15···0,25 % Mo	860···820	50···60
	Chrom-Nickel-Stähle . .	0,25···0,40 %	0,5···1,1 % Cr und 0,65···4,0 % Ni	850···800	56···60
	Nickel Stähle . . . . .	0,35···0,55 %	3,25···3,75 % Ni	850···820	55···58
Gruppe 4	Rostfreie Stähle . . . .	0,20···0,40 %	14 % Cr	1030···980	35···55

Streubereiches. Für einfache Bolzen, glatte Wellen, Achsen und Zapfen sind diese Werkstoffe, sofern nicht allzu hohe Beanspruchungen auftreten, geeignet. Das ist sehr wichtig, da bisher schon die meisten Wellen aus diesem Werkstoff angefertigt und beim Auswechseln der Lager und Übergang vom Rotguß oder Weißmetall auf Kunstharz oder Sintereisen das nachträgliche Brennhärten der Lauffläche erforderlich wird.

Für schwierige Formen, insbesondere Zahnräder oder hoch beanspruchte Werkstücke, sind diese Stähle jedoch weniger brauchbar, da sie vor allem bei höheren Festigkeiten zu Härterissen neigen.

Nach seiner Zusammensetzung und seinem Verhalten beim Brennhärten gehört auch der unlegierte Stahlguß nach DIN 1681 zu dieser Gruppe. Für Kran- und Laufräder, Kettenräder und ähnliche Teile wird Stahlguß mit gutem Erfolg angewandt, wenn die Verschleißflächen brenngehärtet werden sollen.

Wesentlich mehr Sorgfalt wird auf die Reinheit und Härteeigenschaft des Vergütungsstahles DIN 1661 gelegt, bei dem annähernd gleicher Kohlenstoffgehalt eine gute Gleichmäßigkeit des Härteergebnisses sichert. Infolge der größeren Reinheit und besseren Gleichmäßigkeit eignen sich diese Vergütungsstähle in besonders gutem Maße für die Brennhärtung und geben auch für hoch beanspruchte Werkstücke ausgezeichnete Ergebnisse. StC 35.61 (Abb. 47···49) findet vornehmlich für dauerbeanspruchte, dagegen geringem Verschleiß ausgesetzte Maschinenelemente, ferner für Zahnräder sehr großen Durchmessers mit mittlerem Zahndruck, Verwendung. StC 45.61 und StC 60.61, Schliffbild siehe Abb. 21, sind die im Auto- und Fahrzeugbau, im Werkzeugmaschinenbau meist benutzten Vergütungsstähle für die Brennhärtung. Die erreichbaren Härtewerte bei günstigster Härte-temperatur können dem Vergütungsschaubild Abb. 46 entnommen werden.

Für besonders hohe Beanspruchungen entwickelten einige Edelstahlwerke auf der Grundlage der Kohlenstoff-Vergütungsstähle Sonderstähle, die sich als besonders erhitzungs- und rißunempfindlich für das Brennhärten hochbeanspruchter,

schwierig geformter Werkstücke eignen. Diese Sonderstähle werden daher gern für Kurbelwellen, Zahnräder mit höchster Umfangsgeschwindigkeit, Gewinde und ähnlich geformte Werkstücke benutzt, wo sie ein fehlerfreies Brennhärten gewährleisten. Hierher gehören auch besonders formbeständige Stähle, die z. B. auch bei langen, dünnen Wellen ein verzugfreies Härten ermöglichen.



Abb. 47. Oberfläche:  
Martensit-Härtegefüge.



Abb. 48. Übergangszone:  
Martensit, Troostit und  
Ferrit.



Abb. 49. Kerngefüge:  
Ferrit mit lamellarem  
Perlit.

Abb. 47···49. Gefügeausbildung des brenngehärteten Vergütungsstahles StC 35.61 ( $V = 500 \times$ ) (Ausschnitt).

Für tiefe Einhärtung, schwingende Belastung und größere Kernfestigkeit eignen sich die mit Mangan und Silizium legierten Stähle, die sich auch im Kern gut vergüten lassen (Abb. 50···52). Sie werden bereits mit Erfolg an Stelle der bisher verwandten Chrom-Molybdänstähle benutzt.



Abb. 50. Rand.



Abb. 51. Übergangszone.



Abb. 52. Kern.

Abb. 50···52. Gefügeausbildung eines brenngehärteten Silizium-Mangan-Stahles MS 135 ( $V = 200 \times$ ) (Ausschnitt).

In Gruppe 2 sind Stähle zusammengefaßt, die außer Mangan noch etwas Vanadin zur Verbesserung der Zähigkeit und Chrom zur Erhöhung der Härtebarkeit enthalten (Abb. 53···55). Diese Stähle findet man vor allem im Fahrzeug- und Motorenbau bei Werkstücken, die stoßweiser oder schwingender Belastung aus-

gesetzt sind, so z. B. Vorderachszapfen, Hinterachswellen und ähnliche Teile. Auch für starke Querschnitte sind diese Stähle gewöhnlich ausreichend vergütbar, so



Abb. 53. Rand.



Abb. 54. Übergang.

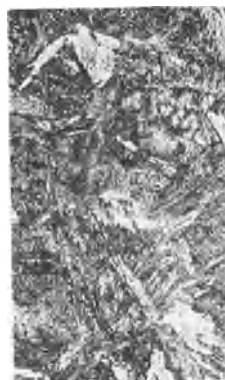


Abb. 55. Kern.

Abb. 53...55. Gefügeausbildung bei brenngehärtetem Chromstahl VC135 ( $V = 200 \times$ ) (Ausschnitt).

daß auch aus diesem Grund in den seltensten Fällen Veranlassung besteht, die mit Sparmetall stärker legierten Vergütungsstähle weiter zu benutzen.

Zu diesen Stählen gehört auch der niedrig legierte Stahlguß, dessen Eigenschaften durch geringe Zusätze von Chrom, Vanadin oder Molybdän gleichfalls wesentlich verbessert werden können, wodurch die Brennährtbarkeit in gleichem Maße erhöht wird.

Die Stähle der Gruppe 3, mit Molybdän (Abb. 56), Nickel und oder Chrom nach DIN 1662 und 1663 legiert, eignen sich insbesondere für größte Härtetiefen zum Brennährtens ausgezeichnet. Auf Grund der Notwendigkeit, Nickel und Molybdän einzusparen, ist ihre Verwendungsmöglichkeit heute jedoch auf wenige Sonderfälle beschränkt, und es darf als Erfolg des Brennährtens gebucht werden, daß sich ohne Qualitätseinbuße der Übergang auf unlegierte Kohlenstoffstähle reibungslos vollzog.



Abb. 56. Übersichtsaufnahme eines brenngehärteten Chrom-Molybdän-Stahles VCMo 135 ( $V = 200 \times$ ) (Ausschnitt).

Die Stähle der Gruppe 4 kommen nur in Ausnahmefällen, z. B. im Pumpenbau, in Frage, wo zugleich Rostangriff und Verschleiß zu bekämpfen sind, dabei nimmt durch die Härtung auch die Korrosionsfestigkeit beträchtlich zu.

## B. Gußwerkstoffe.

Interessant wird das Brennährtens sowohl für den Konstrukteur als auch für den Betriebsmann durch die Eignung zahlreicher Gußwerkstoffe für dieses Verfahren und die Möglichkeit, selbst größte Abmessungen schnell und wirtschaftlich mit geringstem Verzug zu härten. Sowohl Temperguß wie Grauguß sind, geeignete Zusammensetzung vorausgesetzt, geeignet.

**49. Temperguß.** Weißer oder deutscher Temperguß wird für die Herstellung von Landmaschinenteilen gern benutzt. Die auf Verschleiß beanspruchten Stellen kommen auf mittlere Oberflächenhärte, so daß man das Brennährtens auch für diesen Werkstoff z. B. für Finger, Daumen und Reibplatten einführen konnte.

Über das Verhalten des schwarzen oder amerikanischen Tempergusses liegen eingehende Untersuchungen vor. Durch Steigerung der Härtetemperatur kann eine weitgehende Auflösung der Temperkohle im Eisen erzwungen werden, so daß nicht nur rein martensitische, sondern auch zementitische Härteschichten entstehen, die sich als besonders anlaßbeständig erwiesen haben (Abb. 57 und 58).



Abb. 57. Die 500fache Vergrößerung zeigt, daß um die Temperkohlenester herum eine starke Aufkohlung stattgefunden hat, so daß sich bei der Abkühlung ein Martensitkranz um die Temperkohle gebildet hat. Das noch kaum beeinflusste ferritische Grundgefüge ist deutlich erkennbar. Härtetemperatur 800° C.



Abb. 58. Die 500fache Vergrößerung zeigt, daß bei Erhitzung auf 1100° C die Temperkohle fast vollständig aufgelöst wird. Neben ledeburitischen Mischkristallen ist grobnadeliger Martensit aufgetreten. Dieses Härtegefüge zeichnet sich durch große Anlaßbeständigkeit aus.

Abb. 57 ··· 58. Gefügeausbildung bei brenngehärtetem schwarzem Temperguß ( $V = 200 \times$ ) (Ausschnitt).

**50. Grauguß.** Das gewöhnliche Gußeisen kann durch geeignete Vorbehandlung härtbar gemacht werden. Da die notwendige Wärmebehandlung aber nur bei kleinen Abmessungen überhaupt durchzuführen und das gebildete Gefüge sehr unbeständig ist, geht man diesen Weg in der Praxis nicht.

Der erfahrene Gießer sorgt vielmehr dafür, daß von vornherein ein beträchtlicher Anteil des im Guß enthaltenen Kohlenstoffes mit dem Eisen sich zu Perlit fest bindet. Der Gehalt an gebundenem Kohlenstoff soll 0,5 ··· 0,9% betragen, der Gesamtkohlenstoffgehalt 3,0% nicht wesentlich übersteigen. Eine derartige Gefügeaus-

bildung ist durch geeignete Gattierung, zweckmäßiges Vergießen unter Berücksichtigung der Wandstärken stets zu bekommen. Das Maurer-Diagramm<sup>1</sup> gibt



Abb. 59. Rand: Martensit. Die eingelagerten Graphitadern sind erhalten geblieben.



Abb. 60. Übergang.



Abb. 61. Kern: Lamellarer Perlit mit eingelagerten Graphitadern.

Abb. 59 ··· 61. Gefügeausbildung bei brenngehärtetem Sondergußeisen ( $V = 200 \times$ ). (Ausschnitt).

z. B. für eine Wandstärke von 30 mm die Gefügeausbildung in Abhängigkeit vom

<sup>1</sup> Werkstattbuch Heft 19: Gußeisen, S. 14.

Kohlenstoff- und Siliziumgehalt wieder. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch auch der Mangangehalt, der die Perlitbildung begünstigt.

Im Ausland wird dem Gußeisen vielfach  $1 \cdot \cdot \cdot 1,5\%$  Ni zugesetzt, wodurch die erreichbare Härtetiefe vergrößert und noch bessere Verschleißigenschaften hervorgerufen werden. Zusätze von Molybdän haben sich in Deutschland bewährt.

Zahlreiche Sondergußeisen sind gerade im Hinblick auf eine nachträgliche Wärmebehandlung entwickelt und unter Namen wie Perlitguß, Meehanite (Abb. 59···61) usw. im Handel. Auch die als Lagerwerkstoffe größere Bedeutung erlangenden Sintereisen lassen sich gut brennhärten (Abb. 62).

Wenn schon beim Stahl die Analyse nicht unbedingt zuverlässige Rückschlüsse auf das Härteverhalten erlaubt, so ist dies beim Gußeisen noch weniger der Fall, man wird daher gut tun, von einmal erprobtem Guß nicht ohne eingehende neue Versuche auf andere Sorten, ja nicht einmal auf andere Lieferanten überzugehen.

Bei üblicher Härtetemperatur wird nur der Perlit umgewandelt, die im Gußeisen möglichst fein verteilten Graphitadern bleiben erhalten, was für den Schmiervorgang von größter Bedeutung ist.

Durch höhere Härtetemperatur ( $\sim 1100^\circ$ ) kann eine völlige Auflösung des Grundgefüges und Ledeburitbildung erzielt werden, das Gußeisen nimmt dann den Charakter von Hartguß mit all seinen Vor- und Nachteilen an (Abb. 63·· ·65).

Man hat deshalb schon daran gedacht, verschlissene Hartgußwalzen auf diese Weise nachzuhärten, dabei jedoch fast immer Härterisse erhalten, da der Hartgußwerkstoff infolge seiner Herstellung starke innere Spannungen besitzt, die sich



Abb. 62. Übersichtsaufnahme von brenngehärtetem Sintergußeisen ( $V = 35 \times$ ) (Ausschnitt).



Abb. 63. Ledeburitrand.



Abb. 64. Übergang.



Abb. 65. Kern.

Abb. 63·· ·65. Bei erhöhter Temperatur,  $\sim 1100^\circ$  C, gehärteter Grauguß ( $V = 200 \times$ ) (Ausschnitt).

beim Nachhärten auslösen. Ob durch geeignete Vorbehandlung im Ofen günstigere Ergebnisse zu erhalten sind, steht noch dahin.

Zum Erzeugen verschleißfester Führungsbahnen wird von der Möglichkeit, Gußeisen geeigneter Zusammensetzung brennhärten zu können, im Werkzeugmaschinenbau bereits Gebrauch gemacht.

Die Maschine Abb. 25 schafft die Voraussetzungen für ein nahezu verzugfreies Härten selbst längster Betten. Die Auswahl des Gusses bedarf sorgfältiger Er-

probung, da einzelne Sorten schlechte Wärmeleitfähigkeit aufweisen und deshalb

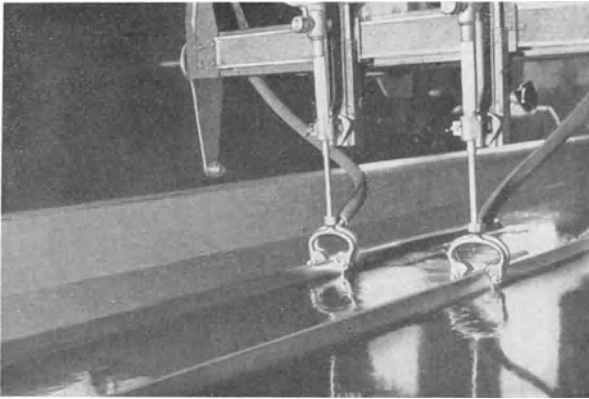


Abb. 66. Anwendungsbeispiel für die Gußhärtung: Das Bett ist bis zur Höhe der Führungsbahnen in Wasser eingetaucht, um den Verzug zu mindern.

die erreichte Härtetiefe zu gering bleibt, andere bei ungeeigneter Graphitverteilung zur Auflockerung des Gefüges neigen und daher nur schwierig einwandfrei zu härten sind.

Bei richtiger Werkstoffauswahl und genauer Anpassung der Erhitzungs- und Vorschubgeschwindigkeit an den Werkstoff Gußeisen lassen sich günstige Ergebnisse erzielen. Den richtigen Härteverlauf, der auch den geringsten Verzug zur Folge hat, zeigt

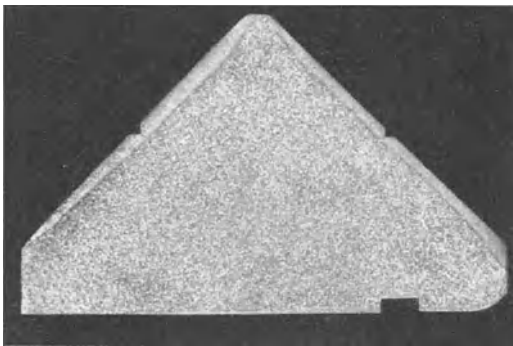


Abb. 67 a.

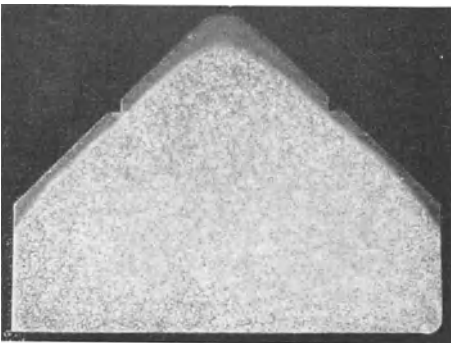


Abb. 67 b.

Abb. 67 a u. b. Schliffbild eines gehärteten Drehbankprofils. a) richtig gehärtet b) am Scheitel zu tief eingehärtet ( $V = 1 \times$ ). Abb.  $\sim 1/2$ .

Abb. 67 a, während eine zu tiefe Einhärtung am Scheitel Abb. 67 b ungünstig ist. Auch für Steuerkurven für Zigarren- und Verpackungsmaschinen hat die Gußhärtung Bedeutung erlangt, während günstige Erfolge bei Zylinderbüchsen aus Schleuderguß bislang noch nicht erreicht wurden.

Um beim Brennhärten von Gußeisen befriedigende Ergebnisse zu erreichen, sind an den Werkstoff folgende Anforderungen zu stellen:

a) ein möglichst großer Teil des vorhandenen Kohlenstoffes muß als Perlit gebunden vorliegen, mindestens 0,5%, zweckmäßig 0,7...0,9%;

b) der Gesamtkohlenstoffgehalt muß möglichst niedrig sein, zweckmäßig unter 3,0%;

c) der Graphit muß möglichst fein verteilt sein, grobe Graphitadern beeinträchtigen das Aussehen und die Verschleißfestigkeit des gehärteten Gußwerkstückes.

d) Der Guß muß möglichst dicht, poren- und lunkerfrei sein.

Beim Brennhärten ist zu beachten:

a) unter allen Umständen neutrale Flammeneinstellung, Sauerstoffüberschuß ist von Übel, da er die Graphitadern angreift;

b) milde Flamme, zu intensiv eingestellte Flamme ergibt Anschmelzungen der

Oberfläche und zu geringe Härtetiefe; daher größerer Abstand zwischen Brenner und Werkstück erforderlich.

c) ausreichende Ausgleichszeit;

d) möglichst hohe Vorschubgeschwindigkeit.

Nur bei Beachtung dieser Gesichtspunkte können einwandfreie Erfolge beim Brennhärten von Guß erzielt werden.

### C. Härtevorschriften und erreichbare Ergebnisse.

**51. Härtetemperatur.** Die richtige Härtetemperatur kann für die einfachen Kohlenstoffstähle und die wichtigsten legierten Stähle den Schaubildern Abb. 1 (S. 6) und Abb. 46 (S. 38) entnommen werden.

Zu beachten ist, daß die Härtetemperatur scheinbar niedriger liegt als bei der Ofenhärtung; das rührt daher, daß besonders bei geringen Härtetiefen der dunkle Kern noch durchschimmert und das Auge so den Eindruck einer niedrigeren Temperatur bekommt.

Für die legierten und Sonderstähle gibt der Stahllieferant die jeweils günstigste Härtetemperatur auf Wunsch an; sie kann im übrigen auch der Tabelle 4 entnommen werden.

Für Gußeisen ergibt sich die günstigste Härtetemperatur  $t$  nach der Zusammensetzung aus der Formel

$$t = 730 + 28 \text{ Si} - 25 \text{ Mn},$$

wobei für Si und Mn der Silizium- bzw. Mangangehalt in Hundertteilen einzusetzen ist.

**52. Härte und Härteprüfung.** Die vom Kohlenstoffgehalt abhängige Kernfestigkeit und Oberflächenhärte ist für die Kohlenstoffstähle in dem Schaubild Abb. 46 angegeben.

Mit wachsendem Kohlenstoffgehalt steigt die Oberflächenhärte bis auf etwa 68 Rockwell C. Zwischen 0,6 und 0,7% C-Gehalt wird beim Brennhärten bereits die höchste Härte erreicht, bei weiter steigendem C-Gehalt nimmt die Härte nicht mehr zu. Da über 0,7% der Stahl gegen Wasserabkühlung empfindlich wird, werden nur in Ausnahmefällen höher gekohlte Stähle zum Brennhärten benutzt.

Wichtig ist für den Betrieb eine genaue Überwachung der Härte, gibt sie doch schnell und unmittelbar Auskunft, ob mit richtiger Temperatur gehärtet wurde und der gewünschte Erfolg sich eingestellt hat.

Die Brinellpresse eignet sich für die Prüfung brenngehärteter Flächen nicht, da der geringe Härteunterschied zwischen Prüfkugel und Prüfling leicht eine Verformung der Kugel und damit ungenaue Prüfeindrücke bewirkt. Die Brinellprobe wird deshalb nur zur Prüfung des ungehärteten Werkstoffes, von Sonderfällen, die noch zu besprechen sind, abgesehen, benutzt.

Die größte Verwendung finden dagegen die Rockwellgeräte, mit denen sich, besonders wenn sie mit Einspannung des Prüflings arbeiten, die Oberflächenhärte schnell und sicher messen läßt. Da für geringste Härtetiefen und dünne Werkstücke die Vickersprobe Vorteile hat, sollte der Härteprüfer auch die Möglichkeit zu diesen Prüfungen bieten. Eine der Brinellprobe angepaßte Prüfung der Festigkeit mit einer Stahl- oder Hartmetallkugel ist bei den meisten Prüferäten dieser Art ebenfalls vorgesehen, so daß diese Geräte allen berechtigten Ansprüchen genügen.

Die Prüfung wird durch geeignete Vorrichtungen wesentlich erleichtert; für Kurbelwellen, Zahnräder, Innenflächen von Zylindern, Granatköpfe und ähnliche

Kurvengebilde sind Sonderaufnahmen handelsüblich, deren weitgehende Anwendung zur Vereinfachung der Prüfung nur empfohlen werden kann.

Sperrige Werkstücke, große Abmessungen und Gewichte bereiten der Prüfung unter dem Rockwellgerät Schwierigkeiten. Hier hat sich der Shore-Härteprüfer, vor allem aber auch der Sklerograph gut bewährt.

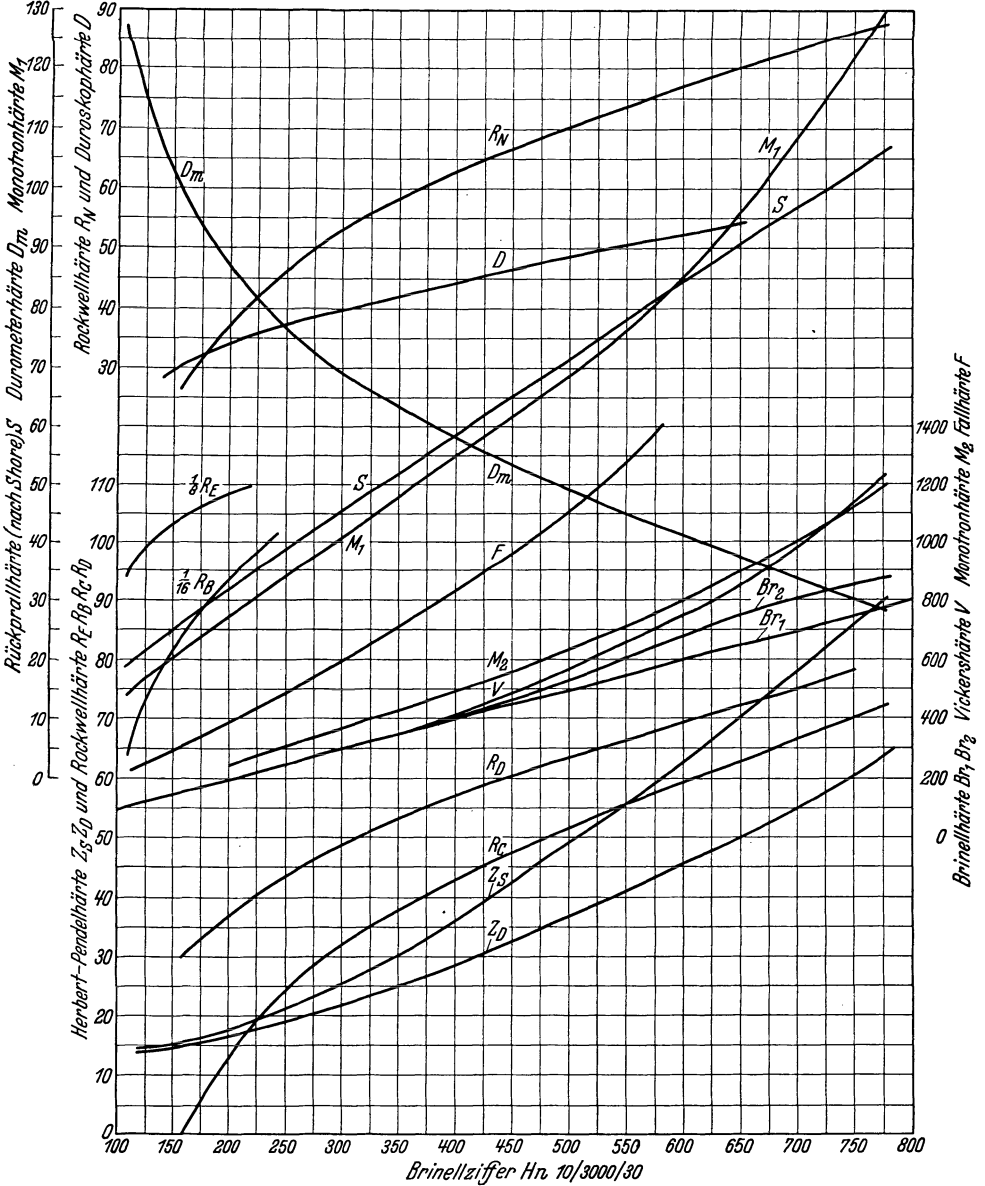


Abb. 68. Vergleich von Härtezahlen für Kohlenstoff- und legierte Stähle. Die Kurven gelten nur für chemisch und mechanisch einheitliche Stähle, die bis 4% C, Cr, Ni, V, Mo, Si oder Mn enthalten.

Den Vergleich der ermittelten Werte für die verschiedenen Prüfarten untereinander ermöglicht Abb. 68; die daraus zu entnehmenden Vergleichszahlen können jedoch nur einen angenäherten Wert ergeben.



**53. Härtetiefe.** Bei dem grundsätzlichen Bestreben, einen möglichst großen und zähen Kern zur Aufnahme der mechanischen Beanspruchungen zu behalten, vermag das Brennhärten gute Dienste zu leisten. Die Härtung *kann bei den meisten* Werkstücken praktisch verzugsfrei durchgeführt, die Schleifzugabe deshalb geringer gehalten werden. Damit besteht die Möglichkeit, dort mit Härtetiefen von 1···2 mm auszukommen, wo man bei der Einsatzhärtung wegen des Verzuges 3···4 mm vorschreiben mußte.

Es gibt selbstverständlich auch Fälle, in denen die mechanische Beanspruchung gering, der Verschleiß dagegen beträchtlich, also eine möglichst große Härtetiefe erwünscht ist. Diese erfordert beim Einsetzen eine erhebliche Verlängerung der Arbeitszeit, während beim Brennhärten wenige Sekunden mehr genügen.

Während man mit Rücksicht auf die Kosten beim Einsatzhärten die Härteschicht so tief wählt, daß man das Werkstück ohne Wiederholung der Härtebehandlung mehrmals nacharbeiten kann, braucht man beim Brennhärten darauf keine Rücksicht zu nehmen, da dieses mit geringstem Zeit- und Kostenaufwand durchgeführt werden kann.

Die Härtetiefe kann beim Brennhärten einmal von seiten der Erhitzungsbedingungen, also wärmetechnisch, zum andern von seiten des Stahles, mithin metallurgisch beeinflußt werden. Bei der großen Bedeutung, die der richtigen Wahl der Härtetiefe zukommt, sollen beide Einflüsse in ihrer Wirkung untersucht werden.

**54. Einflüsse des Verfahrens auf die Härtetiefe.** a) Brennerleistung. Mit zunehmender Brennerleistung steigt zunächst die Härtetiefe an. Die auf diese Weise bewirkte Vergrößerung der Härteschicht ist jedoch durch die Wärmeleitfähigkeit des Stahles begrenzt. Sobald die Brennerleistung zu groß wird, tritt eine Überhitzung der Randzone ein, die vermieden werden muß, weil dadurch die Härte absinkt und das Gefüge grobkörnig wird. Um diese Überhitzung zu vermeiden, muß mit weiter steigender Brennerleistung die Erhitzungszeit abgekürzt werden, man erhält damit bei steigender Wärmeleistung geringere Härtetiefen.

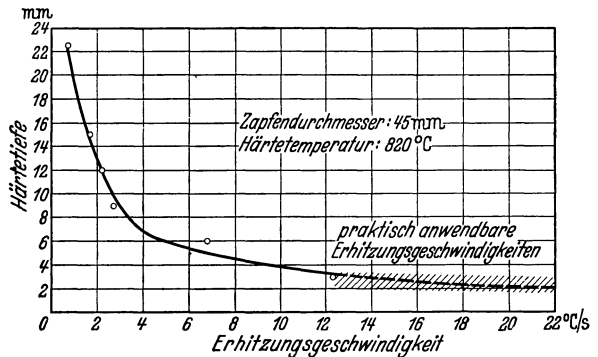


Abb. 69. Einfluß der Erhitzungsgeschwindigkeit (Temperaturanstieg in °C/s) auf die erreichbare Härtetiefe.

Umgekehrt drosselt man die Brennerleistung, wenn große Härtetiefen verlangt werden. Abb. 69 zeigt den Einfluß der Erhitzungsgeschwindigkeit beim Umlaufverfahren auf die Härtetiefe.

b) Die Ausströmgeschwindigkeit des Brenngasgemisches bei gleicher Flammenleistung hat ebenfalls Einfluß auf die Härtetiefe. Für Azetylen—Sauerstoff ergab ihre Herabsetzung von 181 m/s auf 147 m/s im Mittel eine Abnahme der Härtetiefe von 29%. Diesem Einfluß kann praktisch nur der Brennerhersteller Rechnung tragen, da eine Veränderung der Austrittsquerschnitte bei den Brennern ja nicht ohne weiteres möglich ist. Man wird gut daran tun, sich die Frage der Härtetiefe rechtzeitig zu überlegen, um dem Lieferanten genaue Unterlagen für die Konstruktion des Brenners geben zu können.

c) Ausgleichszeit. Bedeutend ist ferner die Zeit zwischen Ende der Erhitzung und Beginn der Abkühlung, die Ausgleichszeit. In dieser kann sich die

zugeführte Wärme ausgleichen, die am Rande vielleicht vorhandene Überhitzung geht zurück und dafür wird auf größere Tiefe Härtetemperatur erreicht.

Beim Mantelverfahren kann diese Ausgleichszeit durch die Geschwindigkeit des Schwenkvorganges leicht geregelt werden. Je geringer die erstrebte Härtetiefe, um so schneller muß die Abschreckung der Erhitzung folgen und umgekehrt.

Beim Linienverfahren kann die Ausgleichszeit nur durch Veränderung des Abstandes zwischen Brenner und Brause geregelt werden. Wenn Werkstücke unterschiedlicher Härtetiefen mit ein und demselben Brenner gehärtet werden sollen, muß durch eine Verstellvorrichtung der Abstand regelbar sein. Sofern der Wasserstrahl, wie meist üblich, nicht senkrecht, sondern etwas geneigt auf die erhitzte Oberfläche auftrifft, kann durch Höhersetzen der Brause der gleiche Zweck erreicht werden.

Der Verstärkung der Härteschicht durch die Ausgleichszeit sind natürliche Grenzen gesetzt, da die Temperatur infolge der verhältnismäßig dünnen erwärmten Schicht in kurzer Zeit unter den oberen Umwandlungspunkt absinkt und dann keine Härteannahme mehr möglich ist.

Die Ausgleichszeit beträgt deshalb längstens wenige Sekunden.

Mit steigender Brennerleistung wird durch Verlängerung der Ausgleichszeit eine größere, durch Verkürzung eine geringere Härtetiefe innerhalb der durch die Eigenschaften des Stahles gezogenen Grenzen erzeugt.

d) Arbeitsmethoden. Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß die erreichbare größte Härtetiefe beim Mantelverfahren größer ist als beim Linienverfahren, da Erhitzungsgeschwindigkeit, Ausgleichszeit und Abkühlgeschwindigkeit sich hier am einfachsten in weitesten Grenzen regeln lassen. Vgl. auch Abb. 9 und 69.

55. Einflüsse des Werkstoffes auf die Härtetiefe. a) Wärmeleitfähigkeit. Der Stahl setzt je nach seiner Zusammensetzung dem Eindringen der Wärme mehr oder weniger Widerstand entgegen. Je größer die Wärmeleitfähigkeit, desto schneller dringt die Wärme in größere Tiefen, um so größer wird die Härtetiefe.

b) Kritische Abkühlgeschwindigkeit. Die der Oberfläche zugeführte Wärmemenge muß beim Abkühlen möglichst schnell wieder abgeführt werden. Zum Härten muß die Abkühlungsgeschwindigkeit größer sein als die sog. „kritische“ Abkühlgeschwindigkeit des Werkstoffes. Diese beträgt bei den üblichen Kohlenstoffvergütungsstählen etwa  $90 \cdots 100^{\circ} \text{C/s}$ ; sie wird durch Legierungsbestandteile, wie Mangan, Molybdän und Chrom herabgesetzt. Die legierten Stähle ergeben mithin leichter größere Härtetiefen als unlegierte. Durch Chrom und Mangan wird gleichzeitig die Härteannahme und damit die Verschleißfestigkeit gesteigert. Kohlenstoff und Mangan erhöhen die Überhitzungsempfindlichkeit, während Nickel, Molybdän, Chrom und Vanadin dieselbe verringern. Die Anlaßbeständigkeit wird durch Molybdän bedeutend vergrößert, auch Vanadin wirkt in dieser Richtung.

Anlaßbrüdigkeit ist bei stark mit Mangan legierten Stählen vorhanden, durch Molybdän und Vanadin kann sie verringert werden.

Bei Kohlenstoffgehalten über 0,7% und bei Chromgehalten über 1% besteht die Gefahr, daß Härterisse auftreten, solche Werkstoffe sind daher für das Brennhärten nur mit Vorsicht zu gebrauchen. Zu beachten ist ferner, daß durch gleichzeitiges Zusetzen mehrerer Metalle sich die Wirkungen nicht immer summieren, manchmal verringern, oftmals aber auch erhöhen, was bei der Auswahl legierter Stähle für große Einhärtetiefen zu beachten ist.

c) Hysteresis. Der obere Umwandlungspunkt der Stähle hat eigentümlicherweise eine andere Lage, je nachdem, ob er beim Erhitzen aus niedrigerer oder beim Abkühlen von höherer Temperatur aus erreicht wird. Die beim Erhitzen bei der

Temperatur  $A_{r_3}$  erfolgte Umwandlung des Gefüges wird beim Abkühlen erst bei der Temperatur  $A_{r_3}$  rückgängig gemacht, die je nach Stahllart um  $20 \cdots 40^\circ \text{C}$  und mehr niedriger liegen kann. Es ist also bei großer Hysteresis möglich, den Stahl ziemlich zu unterkühlen, man hat damit größere Freiheit in der Wahl der Ausgleichszeit. Da mit Zunahme der Hysteresis auch die kritische Abkühlgeschwindigkeit absinkt, kommt man so zu Stählen, die eine große Härtetiefe ermöglichen.

d) Wandlungskennzahl. Die neuerdings vorgeschlagene Wandlungskennzahl<sup>1</sup> für das Härteverhalten der Edelstähle dürfte die Werkstoffauswahl, wenn bestimmte Einhärtetiefen verlangt werden, auch beim Brennhärten erleichtern. Die Zukunft muß zeigen, inwieweit man von dieser neuen Bewertungsgröße in der Stahlerzeugung zum Zwecke der Schaffung von Stählen gleichen Härteverhaltens und in der Stahlverarbeitung zur Vermeidung von Härteausschuß allgemein Gebrauch machen kann.

**56. Erreichbare Härtetiefen.** Es braucht wohl nicht besonders betont werden, daß auch der Querschnitt des zu härtenden Werkstückes von Einfluß auf die Härtetiefe ist. Mit abnehmendem Querschnitt steigt die Härtetiefe unter sonst gleichen Bedingungen an, will man eine Durchhärtung vermeiden, so sind dem Querschnitt Grenzen nach unten gesetzt etwa bei  $8 \cdots 10 \text{ mm}$  Wandstärke oder Durchmesser. Als Faustregel kann gelten, daß die Wandstärke mindestens dreimal so groß wie die verlangte Härtetiefe sein soll.

Unter Berücksichtigung des vorstehend Gesagten ergibt sich, daß bei den normalen Vergütungsstählen die Härtetiefen zwischen 1 und 4 mm liegen können. Für geringere und größere Tiefen sind besondere Vorkehrungen erforderlich, man kann sowohl Härtetiefen von 0,5 mm als auch von  $15 \cdots 20 \text{ mm}$ , in günstig gelegenen Fällen sogar noch mehr erzeugen.

**57. Eigenschaften der Brennhärtesschicht.** a) Verschleißfestigkeit. Gegen das Brennhärten von Maschinenteilen, wie gegen das Härten allgemein, wird oftmals eingewandt, daß durch den härteren Bolzen auch ein stärkerer Verschleiß des Lagers zu befürchten sei. Zur Prüfung dieser Frage wurde bei einer Lokomotive die Hälfte aller Brems- und Steuerungsbolzen brenngehärtet (Abb. 43). Die Härtekosten betragen  $10 \cdots 12,5\%$  der Anschaffungskosten der ungehärteten Bolzen. Nach einer Laufdauer von rund 100000 km wurden die Bolzen wieder ausgebaut. Es ergab sich dabei, daß die ungehärteten Bolzen  $2 \cdots 3$  mal so stark abgenutzt waren wie die brenngehärteten Bolzen, deren außerordentlich geringe Abnutzung den sofortigen Wiedereinbau ohne jede Nacharbeit gestattete. Man kann im Mittel mit einer Verlängerung der Lebensdauer um das  $2\frac{1}{2}$ fache rechnen. Die ungehärteten Lagerbuchsen wurden gleichfalls genauestens ausgemessen. Es zeigte sich, daß in keinem Fall der Verschleiß größer war als bei der Verwendung ungehärteter Bolzen, in den meisten Fällen wiesen die mit einem gehärteten Bolzen gepaarten Buchsen einen  $30 \cdots 50\%$  geringeren Verschleiß auf. Dieses Ergebnis überrascht nicht, wenn man bedenkt, daß ein glatter, gehärteter Bolzen die Lageroberfläche viel weniger angreifen kann als ein zerfressener, riefiger, ungehärteter Bolzen, und daß zweitens schon nach verhältnismäßig kurzer Betriebszeit bei gehärteten Bolzen eine wesentlich größere Auflagefläche erhalten bleibt als bei ungehärteten, sich schnell abnutzenden Bolzen. Die spezifische Lagerbelastung bleibt daher beim gehärteten Bolzen wesentlich geringer, während sie infolge des Verschleißes beim ungehärteten Bolzen sehr rasch ansteigt und die vorzeitige Zerstörung des Lagers damit begünstigt.

Bei hochbeanspruchten Kranbolzen ergab der Prüfstandversuch bei ungehärteten Bolzen mit Rotgußlagerschale nach 200 Stunden einen Gesamtverschleiß von

<sup>1</sup> KUBATKA: Das Härteverfahren der Edelstähle. Halle: Verlag Wilh. Knapp 1940.

0,10 mm. Wurde die Rotgußbuchse gegen eine solche aus Sintergußeisen ausgetauscht, so stieg der Verschleiß auf 0,17 mm beim ungehärteten Bolzen an. Durch Brennhärten der Laufflächen ging der Verschleiß auf 0,02 mm zurück; daraus folgt, daß durch Brennhärten die Lebensdauer einer Lagerverbindung auch dann beträchtlich gesteigert werden kann, wenn an Stelle der bisher benutzten Rotguß- oder Weißmetallager Lager-schalen aus Kunstharz oder Sintergußeisen benutzt werden, die infolge ihrer höheren Härte den ungehärteten Bolzen wesentlich stärker angreifen würden. Sowohl bei Instandsetzungsarbeiten wie bei Neukonstruktionen gehört daher das Brennhärten zu den wirkungsvollsten Verbesserungen (vgl. Tabelle 8, S. 62).

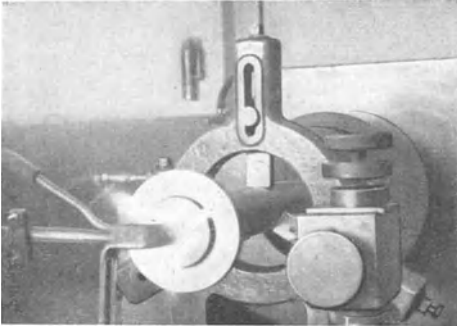


Abb. 70. Brennhärten des Morsekegels einer Drehbankspindel.

(Abb. 70) gleich gute Laufeigenschaften aufweisen wie die bisher benutzten einsatzgehärteten Spindeln aus Chrom-Nickel-Stahl. Auch bei Schnecken und Zahnrädern konnte ein gleich günstiges Verschleißverhalten beobachtet werden.

Der Verschleißwiderstand von Braunkohlenbrikettschwabungen (Abb. 19) und Preßstempeln (Abb. 26 und 27) konnte durch Brennhärten wesentlich gehoben werden. In vielen Fällen wurde ein zwei- bis dreifach geringerer Verschleiß als bei den bisher benutzten Manganhartstahlwerkzeugen beobachtet.

Für große Lochplatten (Abb. 30), wie sie in der Zementindustrie und bei der Bunaherstellung Verwendung finden, ist das Brennhärten das einzige Härteverfahren, das überhaupt wirtschaftliche Anwendung finden kann. Die Erhöhung der Lebensdauer ist gegenüber dem naturharten Werkstoff so beträchtlich, daß auch hier das Brennhärten nicht mehr entbehrt werden kann.

b) Laufeigenschaften. Weitere Laufversuche erbrachten den Nachweis, daß die im Dauerbetrieb sich einstellende Lagertemperatur je nach den Betriebsbedingungen um 20...40° niedriger liegt als bei der Verwendung ungehärteter Zapfen (Abb. 71). Die Wirkung des Schmiermittels bleibt daher wesentlich länger erhalten, es wird weniger beansprucht und braucht daher seltener ausgewechselt zu werden.

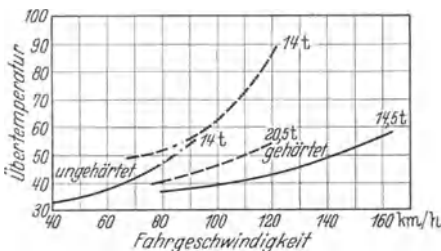


Abb. 71. Lagertemperatur bei Radsätzen mit ungehärteten und brenngehärteten Achsschenkeln.

Zahnrädern versucht, durch schlag- oder stoßartige Beanspruchung die Härteschicht vom Kern zu trennen, jedoch vergeblich. Auch bei Gewaltproben unter dem Fallhammer konnte niemals ein Abspringen der Härteschicht beobachtet werden, ein Beweis dafür, daß die Spannung zwischen Härteschicht und Kern beim Brennhärten wesentlich geringer als bei der Einsatzhärtung ist.

Man hat brenngehärtete Achsen und Bolzen auf Biegung beansprucht und dabei Biegewinkel von 20° bis zum ersten Anriß der Härteschicht ermittelt. Auch wenn

c) Mechanische Eigenschaften. Die Härteschicht selbst ist außerordentlich gut mit dem weichen, zähen Kern verbunden. Man hat bei brenngehärteten

eine an zwei Lagerstellen gehärtete Achse verdreht wurde, ist niemals die Härteschicht abgesprungen, ein Zeichen dafür, daß auch der Übergang der Härteschicht in die benachbarte, ungehärtete Oberfläche allmählich und spannungsfrei vor sich geht.

d) Dauerfestigkeit. Durch stufenweises Ausdrehen wurden die Spannungen in einem brenngehärteten Achsschenkel ermittelt. Abb. 72 zeigt, daß sehr beträchtliche Druckvorspannungen in der brenngehärteten Schicht vorhanden sind, die einen günstigen Einfluß auf die Dauerfestigkeit derartig gehärteter Werkstücke erwarten lassen. Bei auftretenden Biegebeanspruchungen wird die am Rand vorhandene Spitze der Zugspannung durch die Druckvorspannung abgebaut, das Werkstück damit weit weniger als ungehärtet beansprucht. Man erkennt aus der Darstellung aber auch, daß zu große Einhärtetiefen die Zugspannungen im Kern vergrößern, die Einhärtetiefe soll daher nicht größer als unbedingt notwendig gewählt werden.

Die Tabelle 5 zeigt das Ergebnis von verschiedenen Umlaufbiegeversuchen an glatten, gekerbten und abgesetzten Proben. Die Steigerung der Dauerfestigkeit, die am Werkstoff StC 35.61 beobachtet wurde, ist so beträchtlich, daß das Brennhärten hier neue Wege erschließt. Bisher versuchte man dem Dauerbruch durch Steigerung der Stahlfestigkeit entgegenzutreten, ohne damit aber stets Erfolg zu haben. Heute kann man verhältnismäßig weichen, leicht bearbeitbaren Werkstoff für dauerbeanspruchte Maschinenteile verwenden und ihn durch Brennhärten bruchsfest machen.

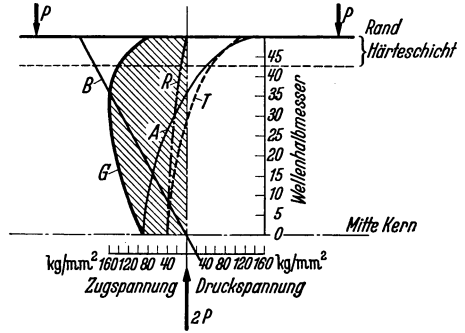


Abb. 72. Spannungsverlauf zwischen Rand und Kern bei einem brenngehärteten Achsschenkel. A = Axialspannung; R = Radialspannung; T = Tangentialspannung. Bei auftretender Biegebelastung 2P (Kurve B) werden die gefährlichen Spannungsspitzen am Rand abgebaut, Restspannung G zeigt den günstigen Einfluß der Vorspannung.

Tabelle 5. Steigerung der Dauerfestigkeit von glatten und gekerbten Konstruktionen durch Brennhärten. Werkstoff: StC 35.61.

Stabform	Beanspruchung	Dauerhaltbarkeit in kg/mm <sup>2</sup>	
		ungehärtet	brenngehärtet
	Wechselnde Verdrehung	18,8	> 34,7*
		30,5	56,5
	Umlaufende Biegung	20,4	> 50,0*
		16,7	> 32,6*
		18,0	30,0
		18,5	35,5

Für den Stahl StC 45.61, der in großem Umfang brenngehärtet wird, zeigt die Tabelle 6 die Steigerung der Dauerfestigkeit für die verschiedenartigsten Wärmebehandlungen an. Es zeigt sich, daß das Brennhärten die günstigsten Werte ergibt und sich dieses Verfahren damit allen anderen eindeutig überlegen erweist. Wertvoll ist, daß solch günstiges Verhalten gegenüber Dauerbeanspruchung auch die brenngehärteten Gußwerkstoffe zeigen (Tabelle 7), die infolge ihrer Graphiteinschlüsse an sich besonders kerbunempfindlich sind. Man hat damit die Möglichkeit, auch diese Werkstoffe stärker als bisher heranzuziehen, wo ihre Verwendung auf Grund ihrer Verarbeitungsmöglichkeiten Vorteile verspricht, wie z. B. bei der

\* Diese Proben brachen im ungehärteten Teil, die Dauerhaltbarkeit der brenngehärteten Gebiete liegt also höher als die gemessenen Werte.

Tabelle 6. Dauerfestigkeit von verschiedenen wärmebehandelten glatten und und gekerbten Probestählen aus StC 45.61.



Stabform	Zustand	Normalisiert	Öl zäh vergütet	Öl hart vergütet	Wasser zäh vergütet	Wasser hart vergütet	Brenngehärtet	
							nur Kerbe	ganze Länge
	Dauerbiegefestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	29	35	36	37	40		44
	Dauerbiegefestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	12,7	18,3				22,5	31,6

Tabelle 7. Dauerfestigkeit von Kurbelwellenmodellen aus schwarzem Temperguß.

Zapfendurchmesser mm Konstruktion . . . . . Zustand . . . . .	14		14	
	ohne Querbohrung ungehärtet	brenngehärtet	mit Querbohrung ungehärtet	brenngehärtet
Verdrehdauerhaltbarkeit . . . kg/mm <sup>2</sup>	11,5...12,5	13,5...13,9	8,0...9,0	13,5...13,9

Anfertigung von Kurbelwellen (Abb. 73). Überall da, wo durch scharfe Querschnittsübergänge, Schmierlöcher und sonstige Bohrungen gefährliche Spannungsspitzen auftreten, kann daher das Brennhärten als wirtschaftlichstes Verfahren zur Beseitigung der Dauerbruchgefahr angesehen werden. Eine beträchtliche Gefahrenstelle sind die Preßsitze und Einspannstellen. An diesen tritt eine zusätzliche Beanspruchung des Wellenwerkstoffes auf, die zu Ermüdungsbrüchen führt. Solche Stellen sind z. B. die Radnabensitze im Eisenbahn- und Fahrzeugbau, an Transmissions- und Vorgelegewellen, die Zahnradsitze, ferner die Einspannstellen der Kupplungen, Riemenscheiben, Schwungräder und Kolbenstangen, nicht zu vergessen die Kugellagersitze. An all diesen Stellen besteht eine erhöhte Dauerbruchgefahr, die man eindeutig am besten beheben kann durch Brennhärten der Sitzflächen, die sich zweckmäßig auch auf die Nachbarstellen noch erstreckt.

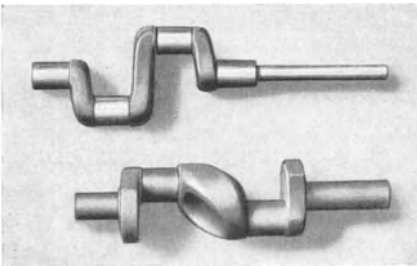


Abb. 73. Das Brennhärten ermöglicht die Herstellung von Gußkurbelwellen, wobei die Form auf die Spannungsverteilung wesentlich besser als bei der Stahlkurbelwelle Rücksicht nehmen kann.

Ausgedehnte Versuche erbrachten den Nachweis, daß beim Brennhärten die Dauerfestigkeit derartiger, gegen Ermüdungsbrüche empfindlicher Verbindungen etwa verdreifacht werden kann. Auch hier erwies sich das Brennhärten jeder anderen Schutzmaßnahme überlegen. Obwohl im allgemeinen an den auf Dauerbruch beanspruchten Werkstückoberflächen kein Verschleiß auftritt, wird man doch brennhärten, um auf diese Weise die Betriebssicherheit und Lebensdauer der Maschine zu erhöhen und die Dauerbruchgefahr auszuschalten.

## IV. Werkstücke und besondere Anwendungsgebiete für das Brennhärten.

### A. Gestaltung der Werkstücke und praktische Durchführung des Brennhärtens.

**58. Zeichnungsangaben.** Wie jede Bearbeitung erfordert auch das Brennhärten sorgfältiges Planen und gutes Vorarbeiten. Diese Arbeiten müssen bereits im Konstruktionsbüro einsetzen; der Konstrukteur muß sich mit dem Härteverfahren, seinen Eigenschaften und Möglichkeiten vertraut machen, damit die darauf bezüglichen Zeichnungsangaben klar verständlich und vor allen Dingen zweckmäßig sind.

Die brennzuhärtenden Flächen sind im Querschnitt durch Kreuzschraffur, in Aufsicht durch Strich-Punkt-Schraffur zu kennzeichnen, wie das in allen Abbildungen durchgeführt ist. Durch eine gestrichelte, dünne Linie ist der Härteverlauf zu umgrenzen. Nur so kann der Konstrukteur dem Betriebsmann eindeutig klarmachen, welche Flächen zu härten sind. Das Weichhalten einzelner Stellen innerhalb der Härteschicht bereitet viel Mühe, solche Konstruktionen sind daher möglichst zu vermeiden.

Zu beachten ist, daß auf Grund der vorgeschriebenen Werkstoffe nur bestimmte Oberflächenhärten zu erreichen sind, die den Ausführungen im Abschnitt „Werkstoff“ zu entnehmen sind. Man sollte grundsätzlich Angaben, wie Oberflächenhärte 60 R<sub>C</sub>, vermeiden, da das Brennhärten einen gewissen Spielraum in der Oberflächenhärte verlangt. Die Härteangaben müssen also lauten, beispielsweise mindestens 55 R<sub>C</sub> oder 62··65 R<sub>C</sub>, so daß der Betrieb einen gewissen Spielraum zur Verfügung hat. Auch die Angabe der Härtetiefe empfiehlt sich mit  $\pm 1$  mm Spiel anzugeben, oder aber, besonders bei dünnen Querschnitten, die maximale Einhärtetiefe festzulegen, die wohl unter-, aber nicht überschritten werden darf. Nur so können Fehlergebnisse im Betrieb und Schwierigkeiten bei der Abnahme derartiger Werkstücke vermieden werden.

**59. Bearbeitungszugaben.** Der Konstrukteur muß weiterhin beachten, daß eine ausreichende spanabhebende Bearbeitungszugabe vorzusehen ist. Durch das Walzen und Schmieden wird die Oberfläche beträchtlich entkohlt. Die Bearbeitungszugabe sollte daher wenigstens 2··3 mm betragen, damit der völlig gesunde, gleichmäßige Werkstoff an die Oberfläche kommt. Da auch bei blankgezogenem Material derartige Randentkohlung bis zu etwa 0,5 mm Tiefe festzustellen ist, muß hier entweder die verlangte Mindesthärte ermäßigt werden, oder aber eine mechanische Bearbeitung stattfinden, da sonst die dem Werkstoff zugehörige Oberflächenhärte nicht einwandfrei erreicht werden kann.

Die Schleifzugaben können allgemein wesentlich geringer gehalten werden als bei der Einsatzhärtung. Man braucht deshalb mit Rücksicht auf den Verzug die Härtetiefe nicht unnötig groß zu wählen. Im allgemeinen kommt man mit einem Schleifmaß von maximal 0,5 mm durchaus zurecht, in vielen Fällen kann dieses Maß auf 0,1 mm ermäßigt werden.

Ein Herausschleifen der Härteschicht ist, im Gegensatz zur Einsatzhärtung, nicht zu befürchten, da die übliche Härtetiefe stets größer als der auftretende Verzug ist.

**60. Lagerspiel.** Auf genügend großes Lagerspiel ist zu achten, wenn die Brennhärtenschicht sich auch im Dauerbetrieb bewähren soll. Bei Kurbelwellen und Drehbankspindeln mit selbstverständlich engem Lagerspiel unter 0,01 mm wurde gelegentlich eine Zerstörung der Brennhärtenschicht beobachtet, weil das Lager infolge ungenügender Schmierung heiß lief. Sofern das Lagerspiel wegen der geforderten

Genauigkeit nicht vergrößert werden kann, muß unter allen Umständen für ausreichende und zuverlässige Schmierung gesorgt werden, da nur dann die brenngehärteten Werkstücke allen Anforderungen genügen.

In vielen Fällen soll nach dem Brennhärten nicht mehr geschliffen werden, weil der Verwendungszweck eine solche zusätzliche Bearbeitung nicht rechtfertigt. Bei den bisher benutzten, im Ofen gehärteten Bolzen hat man deshalb ein größeres Lagerspiel, oft bis zu 0,6 mm vorzusehen, um die Bolzen überhaupt verwenden zu können. Hier zeigt nun die Brennhärtung deutliche Vorteile, derartig gehärtete Werkstücke lassen sich praktisch verzugfrei härten, so daß das Lagerspiel auf 0,1 mm verringert werden kann, wodurch das Eindringen von Verschleißmitteln sehr erschwert wird. Zugleich mit der höheren Härte ist damit eine beträchtliche Verminderung der Abnutzung die Folge.

**61. Zweckmäßige Formgebung.** Infolge der Eigenschaften des Verfahrens lassen sich regelmäßige symmetrische Flächen und Körper gleichen Querschnitts am einfachsten härten. Unregelmäßige Formen, beispielsweise schiefe Kegelstümpfe, lassen sich schlecht oder gar nicht härten. Aussparungen, Löcher, dicht unter der Oberfläche verlaufende Bohrungen usw. verlangen zusätzliche Maßnahmen, erfordern oftmals teure Spezialbrenner und erschweren die Anwendung des Brennhärtens. In den meisten Fällen lassen sich solche Schwierigkeiten durch geeignete Konstruktionen vermeiden. Der Betrieb wird dem Konstrukteur solche Rücksichtnahme stets danken. Wie z. B. an scharfen Querschnittsübergängen durch einfache konstruktive Änderungen auftretende Schwierigkeiten zu überwinden sind, zeigen die Schmiernuten an Federbolzen. Diese werden üblicherweise mit halbkreisförmigem Querschnitt in einer Schlangenform um den Bolzen herumgelegt. Dabei entstehen an den Übergängen zum zylindrischen Teil starke Härtespannungen, die zum Abblättern der Härteschicht führen können. Der Schmiererfolg wird in besserer Weise sichergestellt durch die flache Schmiernut (Abb. 74), die einfach herzustellen ist und doch alle Schwierigkeiten beim Brennhärten ausschaltet.

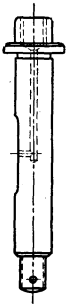


Abb. 74. Zum Brennhärten richtig konstruierter Bolzen mit flacher Schmiernut. Die Längsbohrung wird erst nach dem Härten hergestellt.

**62. Normung.** Genaue Kenntnis der Betriebseinrichtungen ist für den Konstrukteur von größter Wichtigkeit. Sie verhindert Terminüberschreitungen und Verärgerungen, da andernfalls die Möglichkeit besteht, daß der Betrieb die vorgesehenen Arbeiten nicht ohne weiteres ausführen kann. Bei neu zu entwickelnden Maschinen ist zweckmäßig mit dem Betrieb Rücksprache zu nehmen, welche Neuanschaffungen von Brennern oder Maschinen gegebenenfalls notwendig werden und ob die zu erwartenden Stückzahlen die Beschaffung dieser zusätzlichen Vorrichtungen zweckmäßig erscheinen lassen. Dies wird in vielen Fällen der Fall sein, da alle anderen Härteverfahren entweder überhaupt nicht oder nur mit großen Kosten und Schwierigkeiten für das betreffende Werkstück angewandt werden können.

Normung schafft hier wie anderswo Erleichterung der Arbeit. Mit Rücksicht auf die notwendigen Brenner sollten möglichst nur wenige Bolzenabmessungen und Lagergrößen angewandt werden. Zwischenmaße lassen sich erfahrungsgemäß leicht vermeiden, so daß dadurch die Lagerhaltung an Brennern wesentlich verringert wird. Im Automobilbau ist man so z. B. schon seit langem dazu übergegangen, die Abmessungen der Lager bei den 4-, 6- und 8-Zylinder-Kurbelwellen gleich zu halten. Der Vorteil einer derartigen Maßnahme für das Brennhärten liegt klar auf der Hand.

**63. Neue Möglichkeiten.** So bietet das Brennhärten dem Konstrukteur zahlreiche neue Möglichkeiten. Der Vorschlag, Gleitbahnen durch Schweißen aus Nor-



malprofilen aufzubauen und dadurch bedeutende Werkstoffersparnisse bei gleichem Widerstandsmoment zu erzielen, konnte nur durch die Möglichkeit, durch Brennhärten eine praktisch verzugfreie, einwandfreie Härtung durchzuführen, verwirklicht werden.

Da auch Gußwerkstoffe durch Oberflächenhärtung verschleißfest gemacht werden können, hat man schon mit überraschendem Erfolg versucht, schwierige Gesenkschmiedestücke, z. B. Kurbelwellen, durch Gußstücke zu ersetzen. Wenn dabei die Möglichkeiten des Gießverfahrens durch eine werkstoffgerechte Formgebung ausgenutzt werden, können sehr beachtliche Ergebnisse erzielt werden (Abb. 73 und Tabelle 7).

Vielfach werden schon Hartgußwalzen und andere Hartgußwerkstücke, die bei der Bearbeitung Schwierigkeiten machen, durch Stahlwalzen ersetzt, die wesentlich günstigere Festigkeitseigenschaften haben, so z. B. im Bau von Textil-, Papier- und Pulverkalandern (Abb. 75).

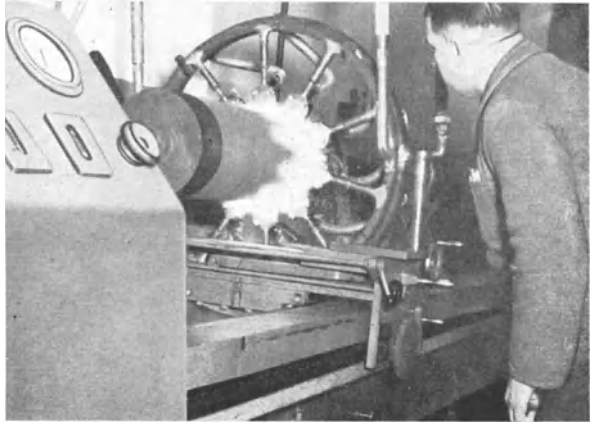


Abb. 75. Brennhärten einer Kalandervalze aus St C 60.61. Diese Kalandervalze wurde früher aus Hartguß hergestellt, der sich wegen seiner Sprödigkeit nicht immer bewährte.

Der Konstrukteur, der sich mit den Möglichkeiten des Brennhärtens eingehend vertraut gemacht hat, wird manche solcher Vorteile finden und sie seinem Betrieb nutzbar machen können.

## B. Vor- und Nachbehandlung der Werkstücke.

**64. Werkstoffprüfung.** Die Härtung bildet meist den Abschluß teurerer Bearbeitungsgänge, deshalb muß der Betrieb auf die Durchführung große Sorgfalt legen, um Ausschuß zu vermeiden.

a) Festigkeitsprüfung. Dazu gehört, daß man sich vor der Anfertigung des Werkstückes vergewissert, daß der Werkstoff die für das Brennhärten erforderlichen Eigenschaften hat. Man wird also gut daran tun, eine sorgfältige, getrennte Lagerung dieser Stähle vorzunehmen und sie entweder schon bei der Einlagerung, spätestens aber bei der Verwendung prüfen.

Am genauesten gibt die Analyse Aufschluß, sie ist jedoch zeitraubend und kann auch nur von eingearbeiteten Leuten durchgeführt werden.

Man kann aber aus der Festigkeitsprüfung einigermaßen zutreffende Rückschlüsse auf den Kohlenstoffgehalt als den für das Brennhärten wichtigsten Bestandteil ziehen. Je höher die Festigkeit, desto größer der Kohlenstoffgehalt. Dabei sollte man aber nicht vergessen, daß bei ein und demselben Kohlenstoffgehalt, bedingt durch Zufälligkeiten bei der Herstellung und die erfolgte Vorbehandlung, die Festigkeit innerhalb bestimmter Grenzen schwankt (siehe auch Abb. 46).

Wenn eine Mindesthärte nicht unterschritten werden darf, soll man bei der Auswahl des Werkstoffes auf Grund der Festigkeit stets an die obere Grenze gehen, um Fehlergebnisse sicher auszuschließen.

b) Auch die Funkenprobe ist in der Hand erfahrener Betriebsmänner ein

geeignetes Hilfsmittel, schnell eine richtige Einstufung unbekannter Stähle vorzunehmen. Dazu wird man sich zweckmäßig von den meist benutzten Stählen Probestücke bekannter Zusammensetzung als Vergleichsgrundlage beschaffen.

**65. Vergütung.** Bei den unlegierten Stählen ist eine Vergütung vor dem Brennhärten nicht erforderlich, wenn dafür Sorge getragen wird, daß das Stahlwerk sie mit hinreichend feinem Korn anliefert. Ist hierfür keine Gewähr gegeben, so vermag eine vorherige Vergütung die Kerneigenschaften wesentlich zu verbessern.

Bei verwickelter Gestalt wird man vor dem Härten zweckmäßig spannungsfrei glühen, wozu bei Kohlenstoffstählen Temperaturen zwischen 500<sup>o</sup> und 600<sup>o</sup> erforderlich sind. Durch eine solche Wärmebehandlung kann die Gefahr von Härterissen und Verzug wesentlich vermindert werden. Die legierten Stähle werden dagegen meist vergütet verwandt, da nur so die Legierungsbestandteile ihren vollen Einfluß auf die Festigkeitswerte des Kerns auszuüben vermögen.

Lange, dünne Wellen, Kurbelwellen, Zahnräder und ähnliche Maschinenteile, die auf Grund ihrer Form zum Verziehen beim Vergüten neigen, wird man zweckmäßig vor der mechanischen Bearbeitung als Rohlinge vergüten.

Wichtig ist dabei, daß beim Brennhärten die Vergütung praktisch nicht einfließt wird. Wenn auf sehr hohe Festigkeit vergütet wurde, findet man zwischen Rand und Kern eine sehr schmale Zone, die unter die Vergütungsfestigkeit angelassen ist (s. Abb. 11). Ein nachteiliger Einfluß dieser Schicht auf die Bewährung des Werkstückes im praktischen Betrieb ist noch in keinem Fall festgestellt.

**66. Praktische Beispiele von Sondermaßnahmen.** Durch geschicktes Einschalten des Härten in die übrigen Bearbeitungsgänge kann die Arbeit beträchtlich erleichtert werden. Eine derartige Zwischenschaltung ist um so leichter möglich, als die Härtemaschinen und Vorrichtungen sich durchaus in ihrem Arbeitstempo und in ihrer Handhabung den gewöhnlichen Werkzeugmaschinen anpassen, so daß sie innerhalb der Fließfertigung aufgestellt werden können.

Ein Beispiel soll das Gesagte erhärten. Den Feder- und Kettenbolzen (Abb. 74) wird häufig das Schmiermittel durch eine in Längsrichtung des Bolzens bis zur Mitte verlaufende Bohrung zugeführt. Bei geringen Abmessungen wird dadurch die Wandstärke des Bolzens so ungleichmäßig, daß sich die gebohrte Seite viel schneller erwärmt als die ungebohrte. Man kann zwar durch entsprechende Sonderbrenner eine derartig unterschiedliche Wärmeaufnahme ausgleichen, günstiger ist es aber, wenn der Betrieb versucht, mit den gewöhnlichen und daher allgemein verwendbaren Brennern auszukommen.

Das ist ohne weiteres möglich, wenn der Bolzen erst nach dem Härten gebohrt wird. Der Härteverlauf ist, besonders wenn das Brennhärten halb- oder vollselbsttätig durchgeführt wird, sehr genau zu begrenzen. Das nachträgliche Bohren bereitet daher keine Schwierigkeiten.

Manchmal lassen sich jedoch ungleichmäßige Wandstärken nicht vermeiden. Wenn das Werkstück größere Bearbeitungszugaben hat, wird man zunächst nur die zu härtenden Flächen bearbeiten und die Bearbeitung der anderen Flächen im Anschluß an das Härten vornehmen.

Gelegentlich ist es auch zweckmäßig, die Bearbeitungszugabe zu erhöhen, um so für das Härten eine gleichmäßige Wandstärke herzustellen. Nach dem Fertigbearbeiten wird so ein einwandfreies Werkstück erreicht.

Manchmal lassen sich derartige Maßnahmen nur sehr schwierig oder gar nicht durchführen, wie z. B. bei Lagerschilden (Abb. 76), an denen seitlich zwei Befestigungsaugen angebracht sind. Infolge der größeren Wärmeableitung an den Augen bleibt die Härtetemperatur dort zurück, und es besteht Gefahr, daß die dünnen Wandstärken durchhärten, bevor an den Augen überhaupt Härtetempe-

ratur erreicht wird. Hier half sich der Betriebsmann, indem er die Augen mit einem einfachen Flachbrenner vorwärmte, wozu bei der großen Wärmeleistung der Härtebrenner nur wenig Zeit erforderlich ist. Die anschließend durchgeführte Härtung ergab jetzt in jedem Falle eine gleichmäßige Wärmeaufnahme und damit eine einwandfreie Härteschicht.

Zwei gegenüberliegende Flächen sollten möglichst gleichzeitig gehärtet werden, z. B. die beiden Flanken eines Zahnes. Der Verzug ist dann praktisch gleich Null, (Abb. 77).

Auch bei Gleitbahnen (Abb. 42) und Briquettpreßstempeln (Abb. 26) macht man von der gleichzeitigen Härtung beider Arbeitsbahnen zur Verzugsverringerung Gebrauch. Dabei wird man solche Werkstücke zweckmäßig senkrecht stellen und von unten nach oben härten, um den Härteverzug gut beobachten zu können.

Ringe großen Durchmessers mit kleinem Querschnitt werden dagegen zweckmäßig in waagerechter Lage gehärtet, weil dadurch jede Aufspannung überflüssig wird und das Werkstück sich frei dehnen kann.

Die infolge der Erwärmung auftretende Ausdehnung geht beim nachfolgenden Abschrecken fast völlig zurück, die auftretende bleibende Maßänderung wird so sehr gering.

Bei langen stabförmigen Körpern mit einseitigen Verschleißflächen kann der Verzug verringert werden, wenn die gegenüberliegende Seite, trotzdem sie auf Verschleiß nicht beansprucht ist, mitgehärtet wird. Wo sich eine derartige Maßnahme im Hinblick auf nachträgliche Bearbeitungsvorgänge nicht durchführen läßt, kann der Härteverzug durch Aufspannen des Werkstückes auf eine starre Unterlage herabgesetzt werden. Gelegentlich ist es sogar praktisch, dem Werkstück durch Unterlegen von 1···2-mm-Blech in der Mitte eine Vorspannung zu geben, so daß nach dem Härten ein vollkommen gerades Werkstück anfällt.

Beim Härten von Wellen muß die Aufspannung in Achsenrichtung nachgiebig sein, also der Reitstock mit einer Feder ausgerüstet werden. Bewährt haben sich mitlaufende Körnerspitzen mit eingebauten Federdrucktellern.

Wenn größere Stückzahlen laufend zu härten sind, kann der Härteverzug oft wesentlich beschleunigt werden, wenn das Härten im zusammengebauten Zustand vorgenommen wird. Das Oberflächenhärten von Schraubstöcken (Abb. 78) ist hierfür ein gutes Beispiel. Die vier Arbeitsflächen des Schraubstockmaules werden gleichzeitig gehärtet. Dabei wird durch eine Lehre der für den Brenner notwendige richtige Abstand beim Aufsetzen auf die Härtemaschine geprüft, so daß der Brenner dann einfach durch das geöffnete Schraubstockmaul hindurchfahren kann.

Oft ist ein Eintauchen des Werkstückes bis zu den Härteflächen in Wasser günstig. Man macht hiervon bei der Oberflächenhärtung von Drehbankbetten allgemein Gebrauch, da die zu härtenden Flächen ziemlich lang sind und daher die Verzuggefahr verhältnismäßig groß (Abb. 66).

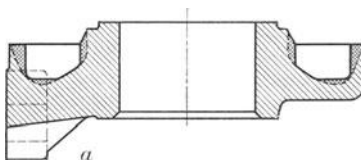


Abb. 76. Die starken Querschnitte bei *a* werden zum Brennhärten vorgewärmt, um einen gleichmäßigen Härteverlauf über den gesamten Umfang des Lagerschildes zu erzielen.

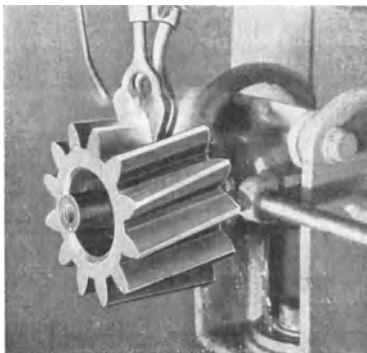


Abb. 77. Beidflankenhärtung von schräg verzahnten Zahnrädern.

Durch Eintauchen bis zur Höhe der zu härtenden Führungsbahn in Wasser wird zuverlässig das Eindringen der Wärme in den Maschinenkörper verhindert, gegebenenfalls kann durch seitlich angebrachte Wasserbrausen eine verstärkte Wirkung erzielt werden.

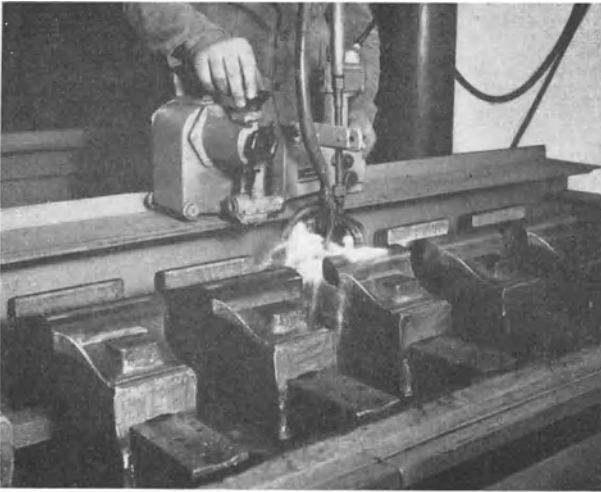


Abb. 78. Zur Zeitersparnis werden die vier Arbeitsflächen des Schraubstockmaules gleichzeitig gehärtet.

Unterbrechungen der Oberfläche durch Keilnuten, Schmierlöcher, Bohrungen oder sonstige Aussparungen müssen vor dem Brennhärten abgedeckt werden, damit eine Überhitzung der Kanten und ihr Anschmelzen verhindert wird. Dafür haben sich nicht zu feuchter Lehm, zweckmäßig mit etwas Asbest gemischt, Schamotte, Spezialkitt oder Gußeisenstücke gut bewährt und sind leicht anzuwenden. Wegen der besonders bei Lehm und Schamotte auftretenden hellen Strahlen ist die Benutzung einer Schutzbrille zum Beobachten des Härtevorganges nötig, die sonst nur beim Brennhärten mit Azetylen getragen zu werden braucht.

Die neben der Härteschicht liegenden weichen Stellen brauchen nicht besonders abgeschirmt zu werden, da die Brenner sich genau dem gewünschten Härteverlauf anpassen lassen.

67. Anlassen. Nach dem Brennhärten werden die meisten Werkstücke ohne weiteres eingebaut, solche mit engen Toleranzen oder höchsten Ansprüchen an die Laufeigenschaften noch geschliffen oder poliert.

67. Anlassen. Nach dem Brennhärten werden die meisten Werkstücke ohne weiteres eingebaut, solche mit engen Toleranzen oder höchsten Ansprüchen an die Laufeigenschaften noch geschliffen oder poliert.

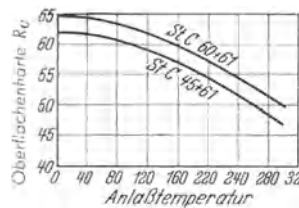


Abb. 79. Bei Vergütungsstahl DIN 16.61.

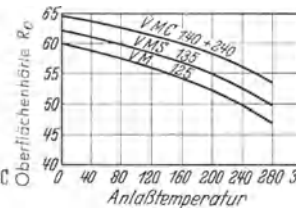


Abb. 80. Bei Mangan-Silizium- und Mangan-Chrom-Stählen DIN Vor-norm 16.65.

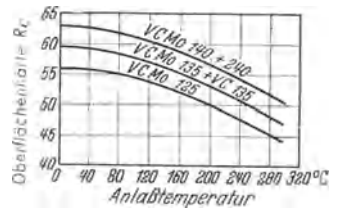


Abb. 81. Bei Chrom- und Chrom-Molybdän-Stählen DIN 16.63.

Abb. 79...81. Einfluß der Anlaßtemperatur auf die Oberflächenhärte.

Nur im Fahrzeugbau hat sich bisher auch das nachträgliche Anlassen der brenngehärteten Werkstücke durchsetzen können. Viele Motorenteile sind so stark schwingender oder stoßweiser Belastung ausgesetzt, daß die Anlaßbehandlung zur Verbesserung der Werkstoffeigenschaften gebieterische Notwendigkeit wird.

Auch im übrigen Maschinenbau sollte man, sofern die Form des Werkstückes eine solche Behandlung überhaupt zuläßt, mehr und mehr zum nachträglichen Anlassen übergehen.

Die Wirkung dieser Maßnahme bei den wichtigsten Stahlgruppen zeigen innerhalb des praktisch üblichen Temperaturbereichs die Abb. 79...81.

Man braucht nun keineswegs zu befürchten, daß infolge des Härteverlustes durch das Anlassen der Verschleiß zunimmt. Überraschenderweise ist das Gegenteil festzustellen, die zweckmäßig angelassenen Werkstücke zeigen bessere Laufeigenschaften und geringeren Verschleiß als die unbehandelt eingebauten.

Bei Werkstücken, die auf Grund ihrer Form zu Härterissen neigen, z. B. sehr spitzen Nocken, ist das Anlassen nicht zu entbehren.

**68. Rostschutz.** Leider neigen die brenngehärteten Kohlenstoffstähle stark zum Rosten, wenn sie nicht sofort nach dem Härten abgetrocknet werden.

Da dies meist nicht durchzuführen ist oder für den im Akkord arbeitenden Härter solche zusätzliche Arbeit sehr störend ist, wird man zweckmäßig Rostschutzbäder verwenden. Unmittelbar nach dem Härten kurze Zeit eingetaucht, erhalten die Stähle einen längere Zeit ausreichenden Rostschutz.

Vorteilhaft ist auch, die Spritzwassermenge so zu bemessen und so abzuführen, daß das Werkstück nur auf Handwärme, etwa 70°, abgekühlt wird. Dadurch verdunstet das anhaftende Wasser besser, das Werkstück trocknet schneller und die Rostgefahr wird verringert.

### C. Anwendungsgebiete.

An Hand von praktischen Anwendungsbeispielen aus den verschiedensten Industriezweigen sollen nochmals das Wesen des Brennhärtens und dessen besondere Vorzüge besprochen werden.

**69. Auto- und Motorenbau.** Der erste Industriezweig in Deutschland, der zur Großserienfertigung und damit zur Fließfertigung überging, ist wohl der Auto- und Motorenbau gewesen. Hier machte sich daher das Bedürfnis nach einem zeitsparenden Härteverfahren besonders früh geltend, so daß der Auto- und Motorenbau die ersten erfolgreichen Versuche mit dem Brennhärten machte.

Waren es zunächst nur kleine Werkstücke, wie Kipphebel (Abb. 5), Kopfschrauben (Abb. 6), Druckstücke (Abb. 14...17) und ähnliche kleine Teile, wie Feder- und Kolbenbolzen, so wurden bald auch größere Werkstücke, vor allen Dingen Kurbel- und Nockenwellen (Abb. 13 und 18) gehärtet. Gerade bei diesen Werkstücken machte sich die technische Überlegenheit des neuen Verfahrens besonders deutlich in einer außerordentlichen Verringerung des Verzuges geltend, die beispielsweise bei Nockenwellen eine Verkürzung der Richtzeit von 30 Minuten auf etwa 30 Sekunden zur Folge hatte. Bei Nockenwellen, insbesondere solchen mit sehr spitz verlaufenden Kurven, darf der Kohlenstoffgehalt nicht zu hoch sein. Die Erhitzung hat in Mitte zu erfolgen, die Seiten dürfen nicht zu stark erwärmt werden, da sonst Überhitzungen und damit Härterisse auftreten. Trotz des ungleichen Querschnittes erfolgt das Brennhärten nach dem Umlaufverfahren, die Brenner bleiben fest stehen, eine Beweglichkeit, die eine Anpassung an den Nocken ermöglicht, erwies sich als unnötig. Anlassen nach dem Brennhärten ist zweckmäßig.

Neben den verschiedenartigsten Verschleißteilen im Motor wurden bald auch solche des Fahrgestells und des Getriebes für das Brennhärten erschlossen. Abb. 82 zeigt das Brennhärten eines Tragarmes, bei dem, ähnlich wie beim Kurbelwellenhärten, beide Lagerstellen gleichzeitig gehärtet werden, obgleich die zu härtenden Durchmesser verschieden sind.

Die Hinterachswellen werden nach dem Umlauf-Vorschub-Verfahren gehärtet, wobei die Segmentbrenner sich durch Kopiervorrichtungen den unterschiedlichen Durchmessern dieser Wellen anpassen. Achszapfen, Federböcke und die ver-

schiedenartigsten Bolzen des Fahrgestells sind weitere Anwendungsgebiete aus dem Autobau. Keilwellen erwiesen sich nach dem Brennhärten den vergüteten Wellen bedeutend überlegen. Es war durch das Brennhärten ein kaum meßbarer Verzug aufgetreten, und nach 30000 km Laufzeit konnte noch keine Abnutzung dieses hochbeanspruchten Fahrzeugteiles festgestellt werden.

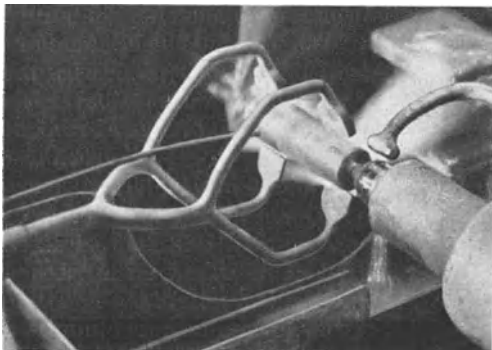


Abb. 82. Die beiden Lagerstellen des Tragarmes werden gleichzeitig brenngehärtet.

lagern tritt sowohl an den Wellen als auch an den Lagerschalen ein Verschleiß auf, der zuverlässig wirkende Maßnahmen erforderlich macht. Die mitgeteilten Versuchsergebnisse (Abschn. 57) zeigen, daß durch Brennhärten bedeutende Verbesserungen erzielt werden können, daß vor allen Dingen dann, wenn Austauschlagerwerkstoffe benutzt werden sollen, das Brennhärten der Zapfen eine

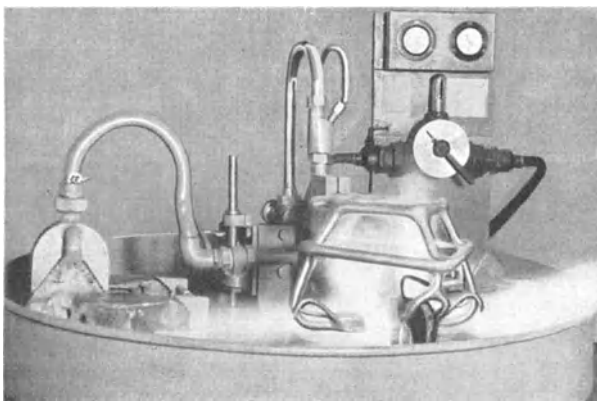


Abb. 83. Die vier Arbeitsflächen des Kettenzahnes werden gleichzeitig auf Härtetemperatur erhitzt, der Werkstücktisch senkt sich dann selbsttätig so weit ab, daß durch Drehung um 90° der erhitzte Zahn unter die Brause gelangt.

unbedingte Notwendigkeit ist, wenn die Güte der Maschine nicht leiden soll. Werden Wälz- oder Kugellager benutzt, so tritt auf der Welle zwar kein Verschleiß auf, dagegen aber eine sehr starke Dauerbeanspruchung, deren Folgen am einfachsten durch das Brennhärten zu begegnen ist.

Während bei kleinen Abmessungen die Wälzlager durchgehärtet werden, ist für große Abmessungen das Brennhärten nach dem Vorschubverfahren möglich. Durch Über-

gang auf das Brennhärten konnte die Zeit für das Schleifen auf 1% der bisherigen herabgesetzt werden. Im Werkzeugmaschinenbau sind die Arbeitsgeschwindigkeiten, Schnittleistungen und Spanquerschnitte immer größer geworden, die Lager- und Gleitführungen daher entsprechend stärker beansprucht. Laufversuche mit brenngehärteten Hauptspindeln (Abb. 70) aus Kohlenstoffvergütungsstahl StC 60.61 erbrachten den

Im Schlepperbau werden am Motor die gleichen Teile wie beim Auto gehärtet. Dazu kommt das Differentialkreuz (Abb. 10) und, sofern die Schlepper mit Raupenantrieb ausgerüstet werden, Kettenräder, Kettenbolzen, Leitrollen und Laufräder, Raupenglieder (Abb. 83), die besonders starkem Verschleiß ausgesetzt sind.

**70. Allgemeiner Maschinenbau.** Jede Maschine besitzt zahlreiche Lager, von deren zweckmäßiger Gestaltung die Genauigkeit, Betriebssicherheit und Lebensdauer der Maschine abhängt. Bei Gleit-

lagern tritt sowohl an den Wellen als auch an den Lagerschalen ein Verschleiß auf, der zuverlässig wirkende Maßnahmen erforderlich macht. Die mitgeteilten Versuchsergebnisse (Abschn. 57) zeigen, daß durch Brennhärten bedeutende Verbesserungen erzielt werden können, daß vor allen Dingen dann, wenn Austauschlagerwerkstoffe benutzt werden sollen, das Brennhärten der Zapfen eine

unbedingte Notwendigkeit ist, wenn die Güte der Maschine nicht leiden soll. Werden Wälz- oder Kugellager benutzt, so tritt auf der Welle zwar kein Verschleiß auf, dagegen aber eine sehr starke Dauerbeanspruchung, deren Folgen am einfachsten durch das Brennhärten zu begegnen ist.

Während bei kleinen Abmessungen die Wälz-

lager durchgehärtet werden, ist für große Abmessungen das Brennhärten nach dem Vorschubverfahren möglich. Durch Über-

Nachweis, daß diese den bisher benutzten einsatzgehärteten Spindeln aus Chrom-Nickel-Stählen in keiner Weise nachstehen.

Das Brennhärten von Führungen bietet keine Schwierigkeiten. Sowohl eingesetzte Stahlleisten als auch gußeiserne Führungen lassen sich durch dieses Verfahren verschleißfest machen (Abb. 66 und 67). Die Stößel und Messerplatten von Profilen- und Knüppelscheren (Abb. 4) werden ebenfalls mit Vorteil brenngehärtet.

Die Werkzeughalter der Karusselldrehbänke haben oft beträchtliche Abmessungen. Bei der meist achteckigen Form werden vier Flächen auf Verschleiß beansprucht, die zweckmäßig auf einer Senkrecht Härtemaschine gehärtet werden, wobei alle vier Flächen gleichzeitig behandelt werden. Die Richt- und Schleifarbeiten können dann zum größten Teil fortfallen.

Die Kalandervalzen für die Textil-, Papier- und Pulverindustrie aus Hartguß wurden mit Erfolg durch brenngehärtete Stahlwalzen ersetzt (Abb. 75). Von Vorteil ist, daß auch gravierte Walzen, Präge- und Riffelwalzen (Abb. 84) gehärtet werden können, ohne daß die Muster durch das Brennhärten beschädigt werden.

Auch die Zerfaserungsflügel der Reißmaschinen unterliegen stärkstem Verschleiß. Diese meist aus Stahlguß hergestellten Werkstücke werden unbearbeitet eingebaut; das Brennhärten wird daher vorteilhaft nach dem Pendelverfahren vorgenommen. Brenngehärtete Wickelwalzen für Kunstseide haben sich auch in anstrengendem, rauhem Betrieb bewährt. Die Fallerschnecken mit ihren großen Längen seien als weiteres Anwendungsgebiet aus der Textilindustrie erwähnt.

Bei Kolbenstangen hat sich das Brennhärten dem Einsetzen bedeutend überlegen gezeigt, da bei diesem Verfahren keine schädlichen Kernspannungen auftreten, die Härteausschuß oder Ablätterungen verursachen könnten.

Im Pumpen- und Verdichterbau werden die Wellen zum Teil aus nichtrostendem Stahl angefertigt und durch Brennhärten gegen vorzeitige Abnutzung geschützt.

Die Höchstdruckpumpen für die chemische Industrie und Benzinsynthese werden mit gutem Erfolg mit brenngehärteten Plungern (Abb. 33) ausgerüstet, die sich auf Grund ihrer großen Härtetiefe selbst nitrierten Werkstücken überlegen zeigen. Auch die Ventilsitze erhalten durch Brennhärten eine erheblich längere Lebensdauer.

Die zahlreich benutzten verschiedenartigsten Zahnräder werden an den Zahnflanken durch Brennhärten verschleißfest gemacht (Abb. 23, 24 und 77). Das Brennhärten bietet hier besonders bei Teilungen über Modul 6 bedeutende Vorteile. Bei der Fertigung von Schnecken wurde die Hälfte der Werkstoffkosten eingespart durch den beim Brennhärten möglichen Übergang von legiertem Einsatzstahl auf unlegierten Vergütungsstahl.

**71. Berg- und Hüttenwesen.** Außerordentlich vielseitig ist die Anwendung des Brennhärtens im Berg- und Hüttenwesen, wo die Betriebe bislang unter starkem Verschleiß ihrer Betriebsmittel leiden.

Die Achsen der Förder- und Grubenwagen und Feldbahnen werden nach dem Härten zweckmäßig bei 250...300° angelassen, und zwar eine Stunde lang, um so möglichst zähe, stärksten Stößen gewachsene Achsen zu erzeugen. Bei der Auf-

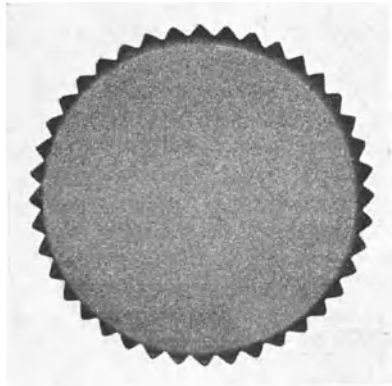


Abb. 84. Schliffbild einer brenngehärteten Riffelwalze.

bereitung der geförderten Kohle würden die Schlagstäbe der Kohlenmühlen schnell verschleifen, wenn nicht mit geringen Betriebskosten das Brennhärten einen zuverlässigen Verschleißschutz ermöglichte. Kettenlaschen und -bolzen, Kettenräder und Achsen der mannigfaltigen Förderanlagen des Bergbaues werden im großen Maße brenngehärtet.

Im Braunkohlenbergbau werden die Raupenglieder, Transportrollen und Zahnstangen (Abb. 85) der Bagger- und Förderanlagen brenngehärtet. Bei der Briket-

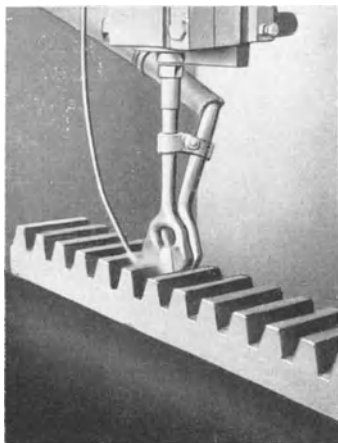


Abb. 85. Im Baggerbau vorkommende lange Zahnstangen können nur durch Brennhärten verschleißfest gemacht werden.

rierung der geförderten Braunkohle unterliegen die Schwalbungen und Preßstempel stärkstem Verschleiß. Je nach Beschaffenheit der geförderten Kohle werden nur wenige Betriebsstunden erreicht. Durch das Brennhärten der Schwalbungen (Abb. 19) und der Stempel (Abb. 26) konnte die Betriebsdauer dieser Werkzeuge auf das Zwei- bis Dreifache der bisherigen Zeit gesteigert werden; auch gegenüber Manganhartstahl konnten in vielen Fällen beachtenswerte Verbesserungen beobachtet werden.

Bei den Bohrgeräten nutzen sich die Gewindekaliber sehr leicht ab. Auch die Fangdorne unterliegen starken Beanspruchungen. In beiden Fällen vermag das Brennhärten Abhilfe zu verschaffen. Die Zylinder der Spülpumpen verziehen sich beim Einsatzhärten sehr stark, so daß an einzelnen Stellen die Härteschicht wieder herausgeschliffen wird. Die zeitraubende und teure Behandlung wird daher nur in den seltensten Fällen angewandt.

Durch Brennhärten ging der Härteverzug auf 0,02 mm zurück, so daß diese Büchsen nach dem Härten ohne weiteres eingebaut werden können (Abb. 36). Auch für die Bohrgestänge erscheint das Brennhärten zweckmäßig.

Der rauhe Betrieb in Hüttenwerken bringt stärksten Verschleiß der Kranbolzen, Laufrollen sowie Kranschienen mit sich. In Tabelle 8 sind Versuchsergebnisse wiedergegeben, die eindeutig beweisen, daß der Verschleiß durch Brennhärten stärkstens zurückgeht. Die langen Rollgangswellen konnten bisher nicht gehärtet werden, da die hierfür notwendigen Einrichtungen viel zu viel Platz in Anspruch nahmen. Häufig findet man jetzt in den Ausbesserungsbetrieben der Hüttenwerke Wellenhärtemaschinen (Abb. 35), auf denen derartige Werkstücke, ebenso wie die Walzenzapfen, ja sogar auch die Ballen, gehärtet werden können.

Tabelle 8.

Werkstoffe		Laufzeit in Std.	Verschleiß in mm			Laufzonen- einfluß <sup>2</sup>
Büchsen	Bolzen		Bolzen- durchmesser	Bohrungs- durchmesser	Gesamt	
Rotguß . . . . .	St 50.11	200	0,03	0,07	0,10	+ 60
Preßkö . . . . .	„	190	0,13	0,04	0,17	+ 19
Preßkö . . . . .	„	190	0,12	0,03	0,15	+ 18
Gerohlex GR . . . .	„	200	0,12	0,05	0,17	+ 25
Gerohlex GR . . . .	„	200	0,10	0,03	0,13	+ 25
Preßkö . . . . .	St 60.11 <sup>1</sup>	190	0,02	~ 0	0,02	+ 80

<sup>1</sup> Oberflächen mit Leuchtgas gehärtet.

<sup>2</sup> Diese Zahl gibt an, um wieviel % die Laufzonenpressung größer ist als die mittlere auf die gesamte Lauffläche bezogene Flächenpressung.



Vielfach lohnt es sich, für die Kegelräder der Walzenstraßen besondere Zahnradhärtemaschinen aufzustellen.

Die Richtwalzen unterliegen, besonders beim Richten breiter Flächen, größten Beanspruchungen, zumal ihr Durchmesser mit Rücksicht auf die Richtwirkung möglichst gering sein soll. Die Kosten für das Härten derartiger Richtwalzen sind sehr gering. Vergleichsversuche zwischen brenngehärteten Richtwalzen mit Azetylen und mit Leuchtgas gibt Tabelle 9 wieder.

Tabelle 9. Brennhärten von Richtwalzen.  
Länge: 2000 mm. Durchmesser: 38 mm. Werkstoff: St 70.11

Brenngas	Azetylen	Leuchtgas
Vorschubgeschwindigkeit . mm/min	100	220
Härtezeit . . . . . min/m	10	4,55
Gasverbrauch . . . . . cbm/m	0,833	1,365
Sauerstoffverbrauch . . . cbm/m	0,833	0,820
Oberflächenhärte . . . . . Rc	60...63	60...63
Härtetiefe . . . . . mm	3	3

Auch die Stützwalzen, die die Richtwalzen abstützen, werden brenngehärtet, wobei diese aus einem Werkstoff mit einem etwas geringeren Kohlenstoffgehalt angefertigt werden. Die beträchtliche Erhöhung der Dauerbiegefestigkeit durch Brennhärten ist für solche Werkstücke besonders vorteilhaft.

Der Kraftantrieb der Hüttenwerke erfolgt häufig durch große Gasmaschinen, deren auf Verschleiß beanspruchten Teile ebenfalls brenngehärtet werden. Die Wälz- und Ventilhebel sind geradezu ein Schulbeispiel für die Vorteile des Brennhärtens (Abb. 86). Durch Fortfall der Aufkohlung entfällt auch die Notwendigkeit, den Einsatz an den weich zu halten-

den Stellen abzuarbeiten. Die Zahl der Bearbeitungsgänge wird dadurch beträchtlich abgesetzt und die Herstellung wesentlich vereinfacht. Die Härtezeit und -kosten betragen etwa nur 2% der bisherigen Härtekosten.

**72. Eisenbahnwesen.** Im Lokomotivbau hat das Brennhärten die bisherige Einsatzbehandlung der Gleitbahnen abgelöst

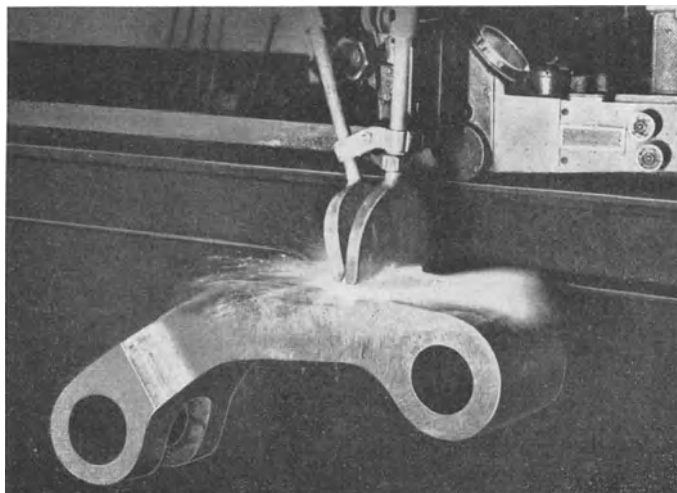


Abb. 86. Die Brennhärtung von Wälzhebeln erfordert nur 2% der für das Einsatzhärten aufzuwendenden Zeit und Kosten.

(Abb. 87). Die Vorteile sind beträchtlich, da der Härteausschuß um 100% verringert wird und gleichzeitig die erforderliche Nacharbeit auf einen Bruchteil der bisherigen Zeit zurückgeht (Tabelle 10). Das Brennhärten der Steuerungs- und Bremsbolzen, Treib- und Kuppelzapfen hat sich außerordentlich bewährt, zumal die entwickelten Blockhärtebrenner (Abb. 43) ein pausenloses Härten selbst unterschiedlicher Abmessungen gestatten. Achslagerstellkeile und -führungen, Kolbenstangen sind weitere Verschleißteile, die bisher überhaupt nicht gehärtet wurden, da die Einsatzbehandlung zu hohe Kosten verursachte. Auch aufgeschweißte Gleit-

Tabelle 10. Kosten für das Härten von 500 Gleitbahnen nach verschiedenen Härteverfahren.

Stoff	Härteart	Kosten RM
Einsatzstahl	Aufkohlen im Zyanbad und Abschrecken im Wasser . . . . .	19520
	Aufkohlen im Zyanbad und Härten mittels Azetylen-Sauerstoff	12815
	Aufkohlen im Zyanbad und Härten mittels Leuchtgas-Sauerstoff	11674
Vergütungsstahl	Härten mittels Azetylen-Sauerstoff . . . . .	2969
	Härten mittels Leuchtgas-Sauerstoff . . . . .	1820

bahnen haben sich brenngehärtet gut bewährt und neuen ebenbürtig gezeigt. Das Brennhärten ermöglicht auch bei solchen Werkstücken die Härtebehandlung durchzuführen.

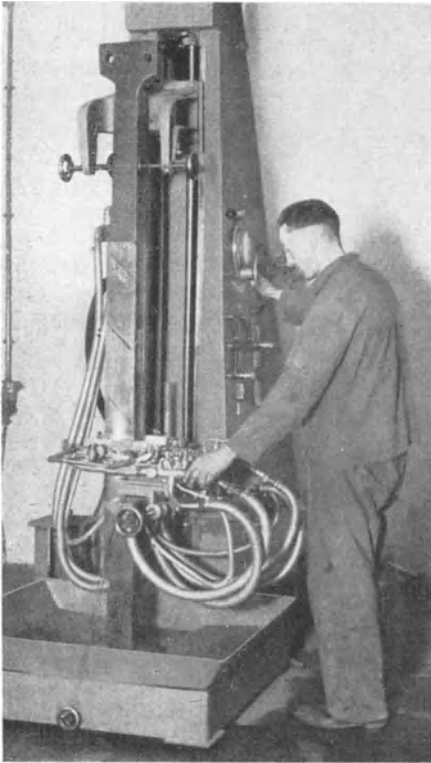


Abb. 87. Gleitbahnhärtemaschine.

Weiter kommen vor allen Dingen die Siegener Bolzen, Pufferstangen und ähnliche Teile in Frage. Für die Fahrzeugachsen würde das Brennhärten bedeutende Vorteile bringen, da zugleich mit einer Verminderung des Verschleißes und Herabsetzung der Lagertemperatur eine beträchtliche Steigerung der Dauerfestigkeit zu erzielen ist. Schienenstöße lassen sich ebenso wie Schienenköpfe in Kurven und an Haltestellen brennhärten. Durch entsprechende Regelung der Vorschub- und Abkühlgeschwindigkeit kann ein allmählicher Anstieg auf die dem Kohlenstoffgehalt entsprechende Oberflächenhärte erzielt werden. Für Herzstücke von Weichen und Weichenzungen sind geeignete Härtemaschinen und -brenner entwickelt.

**73. Patentschutz- und Schlußbemerkungen.** Das Brennhärten hat sich bereits in den verschiedensten Industriezweigen bestens bewährt, obwohl seine Entwicklung noch keineswegs abgeschlossen ist, und daher bestehen auch schon eine Reihe von Schutzrechten, von denen hier einige ohne Anspruch auf Vollständigkeit genannt seien<sup>1</sup>.

Man wird deshalb gut daran tun, vor Einführung des Verfahrens einen Fachmann zu Rate zu ziehen oder gleich mit einer erfahrenen Fachfirma zusammen zu arbeiten. Da die Anwendung des Brennhärtens noch dauernd Fortschritte macht, kann man so, ohne selbst allzuviel Lehrgeld zu zahlen, die im Brennhärten liegenden Vorteile restlos für den eigenen Betrieb auswerten, Vorteile, wie gezeigt, in der Ersparnis von Werkstoff, Legierungs- und Lagermetallen und erheblichen Arbeitszeiten.

<sup>1</sup> Benutzung bestimmter Heiz- oder Abschreckmittel: DRP. 689206, 697995. — Anwendung des Verfahrens bei gewissen Werkstücken: DRP. 546337, 626579, 688246, 688325. — Brenner: DRP. 530884, 655521, 656597, 672834. — Vorrichtungen: DRP. 667477, 668238. — Maschinen: DRP. 657072, 684060.

## 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. (Im Druck)	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. 2. Aufl. Von W. Sellin . . . . .	25
Hydraulische Preßanlagen für die Kunstharzverarbeitung. Von H. Lindner . . . . .	82

### IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 4. Aufl. Von P. Schimpke . . . . .	13
Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl. Von E. Klosse . . . . .	43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. Von Rud. Hesse . . . . .	74
Widerstandsschweißen. Von Wolfgang Fahrenbach . . . . .	73
Das Schweißen der Leichtmetalle. Von Theodor Ricken . . . . .	85
Das Löten. 2. Aufl. Von W. Burstyn . . . . .	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-Schachtelofen im Aufbau und Betrieb. 3. Aufl. von „Kupolofen-Betrieb“. Von Joh. Mehrstens. (Im Druck) . . . . .	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 Fritz Beinert und Hans Birett	84
Die Getriebe der Werkzeugmaschinen I (Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen). Von H. Rögnitz . . . . .	55
Maschinelle Handwerkzeuge. Von H. Graf . . . . .	79
Die Zahnformen der Zahnräder. Von H. Trier . . . . .	47
Die Kraftübertragung durch Zahnräder. Von H. Trier. (Im Druck) . . . . .	87
Einbau und Wartung der Wälzlager. Von W. Jürgensmeyer . . . . .	29
Teilkopfarbeiten. 2. 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. (Im Druck) . . . . .	33
Der Vorrichtungsbau II (Typische Einzelvorrichtungen, Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen). 3. Aufl. Von F. Grünhagen . . . . .	35
Der Vorrichtungsbau III (Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vor- richtungen). 2. Aufl. Von F. Grünhagen . . . . .	42

### VI. Prüfen, Messen, Anreißen, Rechnen

Werkstoffprüfung (Metalle). 2. Aufl. Von P. Riebensahm . . . . .	34
Metallographie. 2. Aufl. Von O. Mies. (Im Druck) . . . . .	64
Technische Winkelmessungen. 2. Aufl. Von G. Berndt . . . . .	18
Messen und Prüfen von Gewinden. Von K. Kress . . . . .	65
Das Anreißen in Maschinenbau-Werkstätten. 2. Aufl. Von F. Klautke . . . . .	3
Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau. Von A. Dorl . . . . .	38
Technisches Rechnen I. 2. Aufl. Von V. Happach . . . . .	52
Der Dreher als Rechner. 3. Aufl. Von E. Busch. (Im Druck) . . . . .	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. Von P. Heinze . . . . .	67