

Zweiter Abschnitt.

Die Werkstoffe des Maschinenbaues.**I. Allgemeines über ihre Untersuchung und die an sie zu stellenden Anforderungen.**

Maßgebend für die Verwendung der verschiedenen Werkstoffe sind ihre Eigenschaften. Ihre Kenntnis, durch die Baustoffkunde vermittelt, bildet eine der Grundlagen des Gestaltens. Die Eigenschaften sind mechanisch-technologischer, physikalischer oder chemischer Natur und hängen nicht allein von der Art des Werkstoffes an sich, sondern auch von seiner Herstellung und dem Grad der mechanischen Bearbeitung, der er unterworfen war, manchmal auch von der chemischen Behandlung ab. Zu den mechanisch-technologischen Eigenschaften, die vor allem bei der Weiterbearbeitung des Rohstoffes und bei seinem Verhalten mechanischen Kräften gegenüber in Frage kommen, gehören die Gießbarkeit, die Bildsamkeit im warmen und im kalten Zustande, die Festigkeit, Elastizität, Härte, Zähigkeit und Sprödigkeit, die Bearbeitbarkeit durch Werkzeuge, die Schweißbarkeit, Lötbarkeit und andere mehr. Wichtige physikalische sind: die Lage der Schmelz-, Erstarrungs- und Siedepunkte, die Wärmeleitfähigkeit und das Ausstrahlungsvermögen sowie die elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Von größtem Einfluß ist die Zusammensetzung der Werkstoffe, indem oft schon ganz geringfügige Beimengungen weitgehende Änderungen des Verhaltens bedingen. Chemische Eigenschaften spielen bei der Gewinnung, aber auch bei der Berührung der Werkstoffe mit Flüssigkeiten, Dämpfen oder Gasen, die als Betriebsmittel in Frage kommen, eine entscheidende Rolle.

Die Ermittlung der Eigenschaften ist die Aufgabe der Werkstoffprüfung. Einfache Proben technischer Art sind uralte; das wissenschaftliche Prüfwesen unter Messen und Vergleichen der Eigenschaften auf Grund von Normen ist erst in der neueren Zeit entstanden, gewinnt aber immer größere Bedeutung, je höhere und schärfere Anforderungen an die Stoffe gestellt werden. Neben der Ermittlung der Eigenschaften neuer Baustoffe obliegt dem Prüfungswesen vor allem die laufende Überwachung der Herstellung der Werkstoffe (Werkprüfung), die Nachprüfung der fertigen sowie die Untersuchung ausgeführter ganzer Bauteile (Abnahmeprüfung).

Gründliche Kenntnisse der Eigenschaften der Werkstoffe und ihres Verhaltens gegenüber den in den Maschinen auftretenden Kräften und Betriebsmitteln braucht sowohl der gestaltende Konstruktions-, wie der die Ausführung leitende Betriebsingenieur; aber auch bei der Festlegung der Abnahmebedingungen und der Aufstellung von Lieferverträgen sind sie unentbehrlich. Stets gilt es, den beabsichtigten Zweck auf wirtschaftlichste Weise zu erreichen. Man muß für den betreffenden Fall sorgfältig die passenden Werkstoffe auswählen, für untergeordnete Zwecke mit gewöhnlichen, billigen auszukommen suchen, die Eigenschaften der teureren, besseren aber, so weit irgend möglich, auszunutzen bestrebt sein. In schwierigen oder in Zweifelsfällen tut man gut, mit dem Erzeuger wegen der Angabe geeigneter Werkstoffe in Verbindung zu treten.

Eine allmähliche Steigerung der Ansprüche an die Werkstoffe seitens der Verbraucher wirkt im allgemeinen fördernd auf die Herstellung. Andererseits schaden unberechtigt hohe oder gar einander widersprechende Bedingungen, weil sie die wirtschaftliche Herstellung des Baustoffes erschweren.

a) Entnahme der Proben und Durchführung der Versuche.

An Werkstoffen und Teilen, die größeren Beanspruchungen ausgesetzt sind, werden Festigkeitsuntersuchungen vorgenommen: Zug-, Druck-, Biege-, Falt- und Schlagbiegeversuche sowie Härteprüfungen, seltener Dreh-, Scher- und Lochversuche. Vielfach

dienen technologische Versuche, ohne Messung der aufgewandten Kräfte, zur raschen Beurteilung des Zustandes des Baustoffs während seiner Herstellung und vor der weiteren Verwendung.

Die Proben sind der Art der Inanspruchnahme der Maschinenteile entsprechend zu wählen. So sollte z. B. an Werkstoffen, die beim Gebrauch Biegebeanspruchungen unter Stößen und harten Schlägen ausgesetzt sind, größerer Wert auf Schlagbiegeversuche gelegt werden, als auf den noch vielfach vorgeschriebenen Zugversuch. — Bei Schienen ist in neuerer Zeit richtigerweise die Härteprüfung durch das Kugeldruckverfahren neben den Zugversuch getreten.

Die Entnahme der Proben nach Zahl und Art an Form-, Stab- und Breitereisen, sowie an Schrauben- und Nieteisen regeln die DIN 1612 und 1613. Vgl. Seite 82 u. 83. Wichtig ist die Art der Probeentnahme an vorgeschmiedeten und fertigen Maschinenteilen. Wenn irgend möglich, sollen die Versuchsstücke unmittelbar aus dem betreffenden Teil herausgearbeitet werden, wie Abb. 76 an einem Turbodynamoanker zeigt. An dem vorgedreht gelieferten Anker ist der Absatz *a* nur am linken Ende vorgesehen, am rechten dagegen weggelassen, in der Absicht, dort bei der endgültigen Bearbeitung einen Ring abzustechen, dem die Festigkeitsproben entnommen werden. Auf jeden Fall muß das Schmieden der Proben im warmen oder das Recken im kalten Zustande, das die Eigenschaften wesentlich beeinflußt, vermieden werden. Daher auch die Vorschrift, daß bei Achsen und Wellen das angeschmiedete, zur Untersuchung bestimmte Stück im rohen Zustande mindestens den Durchmesser des schwächsten Teiles der ganzen Welle haben,

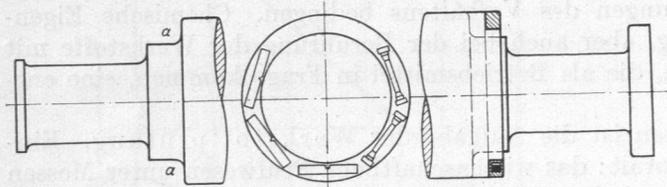


Abb. 76. Entnahme von Festigkeitsproben an einem Turbodynamoanker nach Lasche.

jedenfalls durch Schmieden nicht weiter gestreckt werden soll. An Walzeisen ist die Walzhaut auf den Probestücken möglichst zu belassen. Eine Ausnahme bilden Proben für Kugeldruckversuche. Wird das Gebrauchsstück gegläht, so sind auch die Proben in gleicher Weise auszuglühen. Bei Guß-

stücken ist die Dicke der Biegestäbe, die zweckmäßigerweise unmittelbar angegossen werden, den Wandstärken entsprechend zu wählen.

Einheitliche Vorschriften über die Ausführung der Versuche sowie Zahlen für die zu verlangenden Festigkeitseigenschaften sind neuerdings in den deutschen Industrienormen festgelegt worden.

Diejenigen für Stahl und Eisen sind zusammengefaßt im Beuth-Heft 1 [II, 40] herausgegeben. Unter der Mitwirkung der folgenden Behörden und Verbände aufgestellt, dürften sie auf allseitige Anerkennung und baldige allgemeine Einführung rechnen. Sie sind den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt.

An den Normen für Stahl und Eisen arbeiteten mit:

für die Erzeuger
 der Verein deutscher Eisenhüttenleute,
 der Verein deutscher Stahlformgießereien,
 der Verein deutscher Eisengießereien;
 für die Verbraucher
 das Eisenbahnzentralamt,
 das Reichswehrministerium,
 das Ministerium für Handel und Gewerbe,
 die Arbeitsgemeinschaft der eisenverarbeitenden Industrie,
 der Verein deutscher Maschinenbauanstalten,
 der deutsche Eisenbau-Verband,
 der Handelsschiff-Normen-Ausschuß,
 der Reichsverband der Automobilindustrie,
 der Verein für die bergbaulichen Interessen in Essen,
 der Verband deutscher Elektrotechniker,

der Verband deutscher Waggonfabriken,
 der Verein der märkischen Kleineisen-Industrie;
 für die wissenschaftliche Materialprüfung
 der deutsche Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Neben den Normen gelten aber vielfach noch die von den Behörden und Verbänden herausgegebenen Liefervorschriften, von denen die folgenden genannt seien:

Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln 1908, desgl. über Schiffsdampfkessel 1908, z. Z. in Neubearbeitung begriffen — (vgl. auch die „Grundlagen der deutschen Material- und Bauvorschriften für Dampfkessel“ von Prof. Baumann 1912),

die Vorschriften der Deutschen Reichsbahn und die der Marine,

Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken- und Hochbau,

Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenbauwerken, DIN 1000,

die Materialvorschriften des germanischen Lloyds, 1925.

Für Sonderbaustoffe geben die Hersteller Zahlen an.

Der Zugversuch pflegt meist nur zur Bestimmung der Zugfestigkeit K_z in kg/cm^2 , der größten Spannung, die der Werkstoff, bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt, ausgehalten hat, außerdem zur Ermittlung der Bruchdehnung δ und der Einschnürung ψ in Hundertteilen benutzt zu werden. In den Liefervorschriften werden gewöhnlich nur bestimmte Werte für K_z und δ verlangt.

Nach der Zugfestigkeit wählt man die zulässige Beanspruchung bei der Berechnung der Maschinenteile und beurteilt nach ihr umgekehrt die Sicherheit der Konstruktion gegen Bruch. Daß es für den Konstrukteur wichtig ist, auch die Lage der Elastizitäts- und namentlich der Streckgrenze, die für das Auftreten bleibender Formänderungen maßgebend sind, zu kennen, war schon früher, Seite 3, hervorgehoben.

Über den praktischen Wert großer Dehnung δ und Einschnürung ψ vgl. S. 5.

Sollen untereinander vergleichbare Werte, namentlich in bezug auf die Dehnung, erhalten werden, so müssen die Versuche an geometrisch ähnlichen Probestäben durchgeführt werden. Die DIN 1605 unterscheidet in der Beziehung die Formen 1 und 3 bzw. 2 und 4 der Zusammenstellung 15, indem neben die von Martens vorgeschlagenen und viel benutzten langen Normal- und Proportionalitätsstäbe Nr. 1 und 3 die mit halb so großer Meßlänge versehenen Nr. 2 und 4 gestellt worden sind, die eine nicht unerhebliche Ersparnis an zur Untersuchung nötigem Werkstoff bieten. Die Übergänge zu den Stabköpfen, deren Form sich im einzelnen nach der Zerreißmaschine richtet, auf der die Versuche durchgeführt werden sollen, dürfen nicht scharf abgesetzt sein. Erfolgt der Bruch außerhalb des mittleren Drittels der Meßlänge, so ist die Dehnung nach dem besonderen, in der DIN 1605 angegebenen Verfahren zu ermitteln.

Zusammenstellung 15. Normale Probestäbe für Zugversuche nach DIN 1605.

Lfd. Nr.	Probestabform	Stabquerschnitt F_0 mm ²	Durchmesser des Rundstabes d mm	Meßlänge l mm	Versuchslänge l_v mm	Zeichen für die Bruchdehnung
1	Langer Normalstab	314	20	200	$\leq l + d$	δ_{10}
2	Kurzer Normalstab	314	20	100	„	δ_5
3	Langer Proportionalstab	beliebig	beliebig	$11,3 \sqrt{F_0}$	„	δ_{10}
4	Kurzer Proportionalstab	„	„	$5,65 \sqrt{F_0}$	„	δ_5
Außerdem zulässig, aber nicht geometrisch ähnlich sind:						
5	Langstab	beliebig	beliebig	200	„	δ_l
6	Kurzstab	„	„	100	„	δ_k

Die an langen Normal- oder Proportionalstäben Nr. 1 und 3 ermittelten Dehnungen sollen mit δ_{10} , die an den kurzen Stäben gefundenen mit δ_5 , dem Verhältnis $\frac{l}{d}$ ent-

sprechend bezeichnet werden. An den geometrisch untereinander nicht ähnlichen Lang- und Kurzstäben Nr. 5 und 6 erhaltene Werte sind davon durch δ_l und δ_k zu unterscheiden.

Das Produkt aus K_z in kg/cm^2 und der Bruchdehnung δ in Hundertteilen ist die von Tetmajer eingeführte Wertziffer oder Gütezahl. Sie gibt einen Anhalt für das Arbeitsvermögen oder die spezifische Formänderungsarbeit, die zum Zerreißen des Baustoffes nötig ist. Daß man dabei den Inhalt des umschriebenen Rechteckes statt dem des Schaubildes des Zugversuches selbst benutzt, Abb. 10, ist zulässig, weil das Verhältnis beider, der Völligkeitsgrad, bei ein und demselben Baustoff nahezu unveränderlich ist. Werkstoffe mit gleichen Wertziffern werden in nicht zu weiten Grenzen als gleichwertig erachtet, so daß z. B. bei Abnahmeversuchen etwas zu geringe Festigkeit durch größere Dehnung ausgeglichen werden kann. Für sich allein hat allerdings die Wertziffer keine praktische Bedeutung, weil neben ihr noch einer der beiden Faktoren, die Festigkeit oder die Bruchdehnung, zur Beurteilung des Baustoffes bekannt sein muß. Manchmal wird in ähnlicher Weise die Summe aus K_z und δ benutzt.

Der statische Druckversuch und der dynamische, unter dem Fallwerk ausgeführte Stauchversuch werden nur selten zur Prüfung der Werkstoffe des Maschinenbaues herangezogen. Maßgebend ist bei spröden Stoffen die Bruchgrenze, bei sehr bildsamen — die sich weitgehend zusammendrücken lassen, ohne zu brechen — die Quetschgrenze. Häufige Anwendung findet dagegen der Druckversuch auf Steine und Beton.

Der Biegeversuch wird insbesondere zur Untersuchung von Gußeisen benutzt und hat ferner als technologische Probe (Faltversuch), sowie als Kerbschlagversuch große Bedeutung. Beim einfachen Biegeversuch stellt man die Bruchspannung K_b und die Durchbiegung δ im Augenblick des Bruches fest. An Gußeisen werden Biegeversuche nach den Vorschriften für die Lieferung von Gußeisen des Vereins deutscher Eisengießereien — die Dinormen sind z. Z. in Bearbeitung — an Rundstäben durchgeführt, die in Rücksicht auf das Ähnlichkeitsgesetz in einer Entfernung gleich dem 20fachen Durchmesser zu stützen sind. Der Durchmesser ist, da die Festigkeit der Gußstücke mit wachsender Wandstärke abnimmt, in Abhängigkeit von der mittleren Dicke gemäß der Zusammenstellung 16 zu wählen.

Die Stäbe sollen in getrockneten Formen ohne Gußnaht in steigendem Guß und bei mittlerer Gießhitze aus derselben Schmelze, wie die Stücke der Lieferung gegossen werden und in der Form erkalten. Läßt sich eine Gußnaht nicht vermeiden, so ist dieselbe beim Versuch in die neutrale Faser zu legen. Die Stäbe behalten ihre Gußhaut, werden nur mit der Bürste geputzt und durch eine Einzelkraft P , die in der Mitte zwischen den Auflagern wirkt, bei gleichzeitiger Beobachtung der Durchbiegung δ bis zum Bruch belastet. Unter Ausschluß von Stäben mit Fehlstellen sollen die Mittelwerte aus je drei Versuchen den folgenden Zahlen genügen:

Zusammenstellung 16. Abmessungen normaler Biegestäbe und Anforderungen an Gußeisen nach den Vorschriften für die Lieferung von Gußeisen des Vereins deutscher Eisengießereien.

Wandstärke <i>s</i> mm	Stababmessungen		Gußeisen								
	Durchmesser <i>d</i> mm	Stützweite <i>l</i> mm	mittlerer Festigkeit			hoher Festigkeit			sehr hoher Festigkeit		
			Bruchlast <i>P</i> kg	Biegefestigkeit K_b kg/cm^2	Durchbiegung δ mm	<i>P</i> kg	K_b kg/cm^2	δ mm	<i>P</i> kg	K_b kg/cm^2	δ mm
bis zu 15	20	400	250	3200	≧ 5	265	3400	≧ 6	280	3600	≧ 7
15—20	30	600	530	3000	≧ 8	565	3200	≧ 9	600	3400	≧ 10
über 20	40	800	880	2800	≧ 10	940	3000	≧ 11	1000	3200	≧ 12

Der Faltversuch dient nach DIN 1605 zum Nachweisen der Biegebarkeit (Zähigkeit) der Werkstoffe bei Zimmerwärme, entweder im Anlieferungszustande oder nach Ausglühen des Werkstoffes. Er wird an Flachstäben von 30—50 mm Breite mit abgerundeten

Kanten oder an Rundstäben oder an ganzen Formeisen durchgeführt. Dabei wird die Probe langsam unter einer Presse entweder

a) um einen Dorn mit vorgeschriebenem Durchmesser D bis zum Winkel γ , Abb. 77, durchgebogen oder

b) um einen Dorn von beliebigem Durchmesser vorgebogen und dann durch Druck auf die Schenkkelenden frei vollständig oder bis zum Anriß zusammengedrückt, Abb. 77—80.

Im Falle a dürfen auf der Zugseite der Probe keine Risse im metallischen Werkstoff auftreten. Im Falle b dient als Gütemaß die Tetmajersche Biegegröße $B_g = \frac{50a}{r}$,

wobei a die ursprüngliche Probendicke, r den Biegehalbmesser in der Mitte der Probe bedeuten.

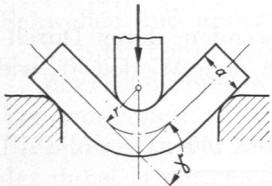


Abb. 77. Faltversuch.

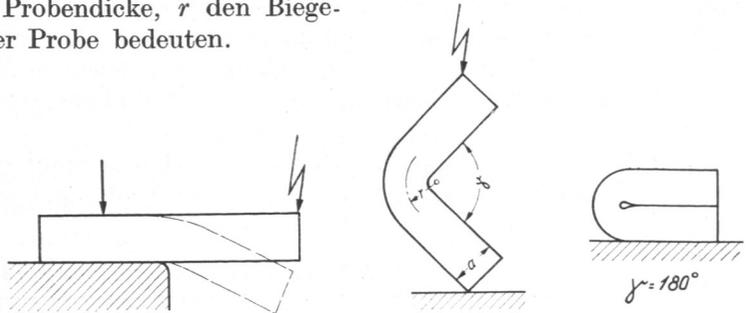


Abb. 78—80. Falt- und Schlagbiegeversuche.

Der an rotwarmen Stäben in ähnlicher Weise durchgeführte Rotbruchversuch dient zum Nachweisen der Warmbearbeitbarkeit der Werkstoffe (DIN 1605).

Blaubrudiversuche werden an Stahl bei etwa 300°, wenn eine angefeilte Stelle blau anläuft, Hartbiegeversuche an weichem Flußstahl im abgeschreckten Zustande ausgeführt. Zu letzterem Zwecke wird das Stück auf Kirschrotglut (750°) gebracht, in kaltem Wasser schnell abgekühlt und dann gebogen.

Auch an geschweißten Stäben werden Biegeversuche angestellt, bei denen die Schweißstelle weder im kalten noch im warmen Zustande brechen oder aufreißen darf (DIN 1605).

An Drähten führt man Biegeversuche in der Weise aus, daß die Drähte zwischen zwei Backen mit vorgeschriebenen Abrundungen eingespannt und nach beiden Seiten um je 90° hin und her gebogen werden. Jedes Umlegen und Wiedergerechtern gilt als eine Biegung; ihre Zahl bis zum Bruche dient als Vergleich.

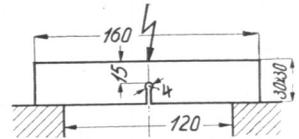


Abb. 81. Normale Kerbschlagprobe.

Gegenüberstoßweiser Beanspruchung bietet der Kerbschlagversuch ein Maß für die Widerstandsfähigkeit. Die Proben nach dem Vorschlage des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik, Abb. 81, von 30·30 mm Querschnitt werden mit einem Rundkerb versehen, der durch Einbohren eines Loches von 4 mm Durchmesser und Aufscheiden des Stabes von der einen Seite her entsteht, und bei 120 mm Stützweite auf dem mittleren oder dem großen Pendelschlagwerk von 75 bzw. 250 mkg Schlagarbeit von der nicht aufgeschnittenen Seite her durchschlagen. Die Proben für das kleine Pendelschlagwerk von 10 mkg Schlagarbeit sind noch nicht einheitlich festgelegt. Vielfach pflegen sie 10·10 mm Querschnitt, 100 mm Länge und 70 mm Stützweite zu haben und mit einem scharfen Kerb von 90° Flankenwinkel und 2 mm Tiefe versehen zu werden. Als Vergleichsmaß dient die Kerbzähigkeit, d. i. die auf einen Quadratcentimeter des durchgeschlagenen Querschnitts bezogene Arbeit. Zu erwarten wäre, daß diese Kerbzähigkeit der verschiedenen Baustoffe mit den bei Zugversuchen gefundenen Dehnungsziffern zu- und abnähme. Das ist aber nicht immer der Fall; die Kerbzähigkeit führt vielmehr zu einer anderen Bewertung der Werkstoffe gegenüber Stößen als die Dehnungsziffer. So ergeben Nickel- und Chromnickel- sowie manche Sonderstähle sehr große Kerbzähigkeit im Verhältnis zu gewöhnlichem Stahl von gleicher Festigkeit und Dehnung,

minderwertiger oder falsch behandelte, z. B. verbrannter Stahl, dagegen sehr niedrige Werte, trotz guter Dehnungsziffern bei Zugversuchen. Stahlguß liefert unregelmäßige Ergebnisse; seine geringere Sicherheit gegenüber stoßweiser Beanspruchung im Vergleich zu geschmiedeten Stoffen kommt darin zum Ausdruck. Der Kerbschlagversuch verlangt geringe Abmessungen der Stücke, ist rasch ausführbar und eines der schärfsten Untersuchungsverfahren [II, 8].

Die Härte kennzeichnet den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen härteren Körpers entgegensetzt. Sie ist in starkem Maße von der Form des letzteren abhängig, gibt aber einen Anhalt für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit des Werkstoffes, sowie für seine Bearbeitbarkeit durch Werkzeuge, die mit steigender Härte schwieriger wird. Von den verschiedenen Verfahren wird der Kugeldruckversuch seiner raschen und einfachen Ausführbarkeit wegen am meisten benutzt und vielfach zur laufenden Prüfung der Gleichmäßigkeit der eingehenden Werkstoffe verwendet, wenn man sich auch bei Vergleichen naturgemäß auf ähnliche Stoffe gleicher Herstellung beschränken muß.

Nach der DIN 1605 sind Kugeln von gehärtetem Stahl zu verwenden, deren Durchmesser und Belastung je nach der Stärke der Probe und je nach dem Werkstoff, wie folgt, zu wählen sind:

Zusammenstellung 17. Normen für Kugeldruckversuche nach DIN 1605.

Dicke der Probe <i>a</i> mm	Kugeldurchmesser <i>D</i> mm	Belastung <i>P</i> kg		
		$30 \cdot D^2$ für Gußeisen und Stahl	$10 \cdot D^2$ für hartes Kupfer, Messing, Bronze u. a.	$2,5 D^2$ für weichere Metalle
über 6	10	3000	1000	250
von 6 bis 3	5	750	250	62,5
unter 3	2,5	187,5	62,5	15,6

Die Eindrücke sind an blanken, ebenen Flächen so weit vom Rande des Probestückes vorzunehmen, daß kein Ausbauchen oder Aufbeulen des Randes eintritt. Die Belastung ist stoßfrei während 15 Sekunden gleichmäßig bis zum Endwert zu steigern und dann 30 Sekunden lang unverändert zu lassen.

Aus dem Durchmesser der Eindruckfläche *d*, dem Kugeldurchmesser *D* und der Belastung *P* errechnet sich die Brinellhärte

$$H = \frac{2P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (78)$$

d ist als Mittelwert von mindestens zwei Eindrücken zu bestimmen, wobei die mittleren Durchmesser einzusetzen sind, wenn die Eindrücke unrund sind.

Zwischen der Brinellhärte *H* und der Zugfestigkeit *K_z* besteht angenähert die Beziehung:

für Kohlenstoffstahl bei einer Zugfestigkeit von 30—100 kg/mm²

$$K_z = 0,36 H, \quad (79)$$

für Chromnickelstahl bei einer Zugfestigkeit von 65—100 kg/mm²

$$K_z = 0,34 H. \quad (80)$$

Der Kugeldruckversuch kann auf Grund dieser Beziehung vielfach als Ersatz für den umständlicheren und teureren Zugversuch dienen und bietet dabei den Vorteil, unmittelbar an dem vorgearbeiteten oder sogar fertigen Stück ohne wesentliche Schädigung ausgeführt werden zu können.

(Brinell ermittelt die Härte nach der oben angeführten Formel, indem er den Druck durch die Oberfläche der entstehenden Kugelkalotte teilt; nach Meyer bezieht man die

Kraft richtiger auf die dem Eindruck entsprechende Kreisfläche, also auf die Projektion der Kalotte senkrecht zur Kraftrichtung. Zwischen der Kraft P und dem Eindruckdurchmesser d besteht dann die Beziehung

$$P = a \cdot d^n, \quad (81)$$

wobei a und n Festwerte des Baustoffes sind [II, 7]).

In Fällen wo die rechnerische Bestimmung der Abmessungen eines Konstruktions- teiles unsicher ist oder wo Ausführungsschwierigkeiten, Lunkerbildungen, Spannungen usw. auftreten, wird häufig die Prüfung des ganzen Maschinenteiles notwendig. Dabei ist noch mehr, als in den bisher besprochenen Fällen auf die Durchführung der Versuche in einer Weise, die der Inanspruchnahme des Stückes im späteren Betriebe entspricht, zu achten. Beispielweise ist es von zweifelhaftem Werte, Teile, die im Betriebe durch äußeren Überdruck belastet werden, bei der Abnahme unter innerem zu prüfen, weil die Erzeugung äußeren Überdrucks manchmal schwierig ist. Häufig werden bei Abnahme- prüfungen Versuche an fertigen Teilen verlangt; so müssen Radreifen, Eisenbahnachsen, Schwellen und andere Eisenbahnteile vorgeschriebenen Bedingungen genügen.

Von den technologischen Versuchen seien noch die folgenden wichtigeren erwähnt.

Zur Feststellung der Schmiedbarkeit dienen Ausbreite-, Stauch- und Lochversuche. Bei dem ersten wird das rotwarme Probestück am Ende mit der Hammerfinne bis zur Ribbildung in der Längsrichtung gestreckt oder quer dazu ausgebreitet. Das Verhältnis der dabei erreichten Länge oder Breite zur ursprünglichen gibt ein Gütemaß. Beim Stauchversuch verlangt man, daß die Höhe eines Zylinders sich um ein bestimmtes Maß verringern läßt. Zum Lochversuch wird ein kegeliger Dorn, z. B. von 10 und 20 mm Enddurchmesser und 50 mm Länge benutzt, der in einer Entfernung gleich der halben Probendicke vom Rande des rotwarmen Stückes aufgesetzt und durchgetrieben wird. Der Werkstoff soll dabei nicht aufreißen.

An Drähten benutzt man noch den Verwindeversuch, bei dem verlangt wird, daß der Bruch erst nach einer Mindestzahl von Windungen um 360° eintritt.

Schließlich muß noch die Wasserdruckprobe für Hohlkörper, die auf inneren Druck beansprucht oder auf Dichtigkeit zu prüfen sind — Röhren, Zylinder, Ventile, Schieber- gehäuse, Kessel usw. — erwähnt werden. Die Stücke werden, um bei einem etwaigen Bruche ein Umherschleudern von Teilen zu verhüten, vollständig mit Wasser gefüllt und einem, den Betriebsdruck meist überschreitenden Probedruck längere Zeit ausgesetzt. Gleichzeitig Abklopfen der Wandung hat den Zweck, vorhandene Gußspannungen auszulösen.

b) Beeinflussung der Eigenschaften durch die Bearbeitung und die Wärme.

Die Festigkeitseigenschaften zäher Stoffe können durch die Bearbeitung, insbesondere durch Strecken im warmen oder kalten Zustande, stark beeinflußt und verändert werden. So bewirkt das Schmieden oder Walzen gegossener Werkstoffe eine wesentliche Verbesserung der Eigenschaften durch die Verdichtung des Stoffes und durch die Änderung des Gefüges, das aus einem grobkristallinen in ein feinkörniges oder sehniges übergeht. Festigkeit und Dehnung werden dabei meist erheblich gesteigert.

Das Recken im kalten Zustande bedingt eine Erhöhung der Elastizitäts- und Streckgrenze, der Festigkeit und der Härte, aber eine Verminderung der Bruchdehnung; macht also den Baustoff spröder. Das läßt sich schon durch einen Zugversuch an weichem Flußstahl zeigen, wenn man einen Stab, nachdem er eine gewisse Verlängerung erfahren, ihn also kalt gereckt hat, entlastet und von neuem untersucht. In Abb. 82 wurde der Versuch an einem Stabe von 20 mm Durchmesser und 200 mm Meßlänge bei A , nach einer Verlängerung der Meßstrecke um 20 mm, also nach 10% Dehnung, unterbrochen, die Last entfernt, der Stab aber nach sieben Tagen wiederum belastet. Dabei stellte sich eine neue, gegenüber der früheren, bei F_u gelegenen, wesentlich höhere Fließgrenze F_u' ein. Der Verlauf der Schaulinie müßte weiterhin der gestrichelt gezeichneten Fort-

setzung des ersten Versuches entsprechen; oft ergibt sich aber auch eine durchweg höhere Lage der Kurve, wie stark ausgezogen dargestellt ist. Die Dehnung des Baustoffes nach der Streckung im kalten Zustande ist durch die Länge $CD = 19,3$ mm gegeben und beträgt, auf die dem Punkte C entsprechende Meßlänge von 220 mm bezogen, nur noch

$$\delta' = \frac{CD}{220} = \frac{19,3}{220} = 0,088 \text{ oder } 8,8\%$$

Dagegen ist die Festigkeit wesentlich erhöht worden. Punkt B der gestrichelten Schaulinie, die dem ursprünglichen Zustande des Werkstoffes entspricht, ergibt bei 20 mm Durchmesser oder $F_0 = 3,141$ cm² Querschnitt des Stabes

$$K_z = \frac{P}{F_0} = \frac{12800}{3,141} = 4080 \text{ kg/cm}^2$$

Festigkeit. Bei der Unterbrechung des Versuches im Punkte A war der Durchmesser der Probe infolge der Quersamenzuehung auf 19,08 mm, ihr Querschnitt auf $F' = 2,86$ cm² gesunken. Legt man den letzteren der Berechnung der Zugfestigkeit des kalt gestreckten Stoffes zugrunde, so folgt aus Punkt B'

$$K'_z = \frac{P}{F'} = \frac{14750}{2,86} = 5160 \text{ kg/cm}^2;$$

d. i. eine Steigerung um 26,4%.

Von diesem Umstand macht man u. a. beim Kaltziehen von Drähten ausgiebigen Gebrauch. Die folgenden Zahlen zeigen deutlich die Zunahme der Festigkeit und die gleichzeitige Verminderung der Dehnung einer weichen Flußstahlstange nach mehrfachem Ziehen [II, 1].

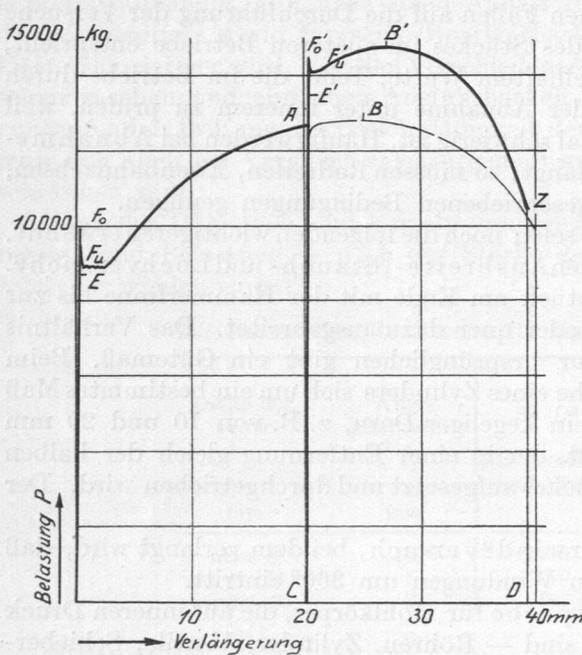


Abb. 82. Zugversuch an weichem Flußstahl unter Entlastung nach 10% Streckung.

Zusammenstellung 18. Einfluß des Kaltziehens auf die Festigkeitseigenschaften weichen Flußstahls.

	Spannung an der Streckgrenze kg/cm ²	Zugfestigkeit K_z in kg/cm ²	Bruchdehnung δ in %
Ursprünglicher Zustand, warm gewalzt auf 51,5 mm Durchm.	1860	3890	34,6
Auf 49,1 mm kalt gezogen . .	4300	4950	15,6
Auf 45,9 mm kalt gezogen . .	—	5750	0,75

Die eben erwähnten Veränderungen können durch Ausglühen beseitigt werden, so daß annähernd der ursprüngliche Zustand wieder eintritt, eine Erscheinung, die bei der Weiterverarbeitung hart gezogener oder kalt gewalzter Stoffe, aber auch in dem Falle zu beachten ist, daß solche Teile hohen Wärmegraden ausgesetzt werden. Beispielweise verlieren Seile aus hart gezogenem Stahldraht ihre Tragfähigkeit und werden unbrauchbar, wenn sie bei einem Brande erhitzt wurden.

Für den Einfluß reiner Wärmebehandlungen bieten das Härten des Stahls, sowie das Vergüten des Duralumins und des Stahles Beispiele. Zu hohe Wärmegrade können infolge Oxydation sehr schädlich wirken. (Verbrennen des Stahls).

Wie die Temperatur die Festigkeit der einzelnen Werkstoffe beeinflusst, ist später ausführlich bei den wichtigeren gezeigt. In der Regel nimmt die Festigkeit von einer bestimmten Grenze an rasch ab.

Der dem Gewicht nach am meisten angewendete Werkstoff des Maschinenbaues ist seiner Billigkeit, leichten Gieß- und Bearbeitbarkeit wegen das Gußeisen. Stahl, Kupfer, Aluminium und zahlreiche Legierungen kommen dann in Frage, wenn die Festigkeits-eigenschaften des Gußeisens oder seine Widerstandsfähigkeit gegen atmosphärische oder chemische Einflüsse nicht genügen.

II. Eisen und Stahl.

A. Einteilung und Haupteigenschaften.

Reines Eisen ist schwierig herzustellen und kommt als Werkstoff nicht in Betracht. Alle in der Technik verwandten Eisensorten sind Legierungen. Stets ist Kohlenstoff in ihnen enthalten; daneben wirken Silizium, Mangan, Nickel, Chrom und Wolfram im allgemeinen günstig, Phosphor und Schwefel schädlich. Da der Gehalt an Kohlenstoff entscheidenden Einfluß auf die Eigenschaften hat, benutzt man ihn als Grundlage für die Einteilung der Eisensorten. Eisen mit sehr niedrigem Kohlenstoffgehalt ist in der Hitze leicht schmiedbar. Mit steigendem Gehalt sinkt die Schmiedbarkeit; sie hört bei mehr als 2⁰/₁₀ ganz auf. Das ermöglicht die Scheidung in zwei Hauptgruppen, die des schmiedbaren und des Roheisens, die sich dadurch noch schärfer trennen, daß Eisen mit 1,6—2,6⁰/₁₀ Kohlenstoff keine technisch wertvollen Eigenschaften hat und praktisch nicht verwendet wird.

Nach den Dinormen soll alles ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen in Zukunft als Stahl bezeichnet und weiterhin nur nach der Art der Herstellung a) der im flüssigen Zustande gewonnene Flußstahl von b) dem im teigigen Zustande gewonnenen Schweiß- oder Puddelstahl unterschieden werden. Der letztere wird mittels des älteren Puddelverfahrens durch Zusammenschweißen einzelner Körner im teigigen Zustande, der erstere flüssig im Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martin-Verfahren, durch Schmelzen im Tiegel oder auf elektrothermischem Wege hergestellt. Kennzeichnend für den Schweißstahl ist der unvermeidliche Gehalt an Schlacke.

Die früher nach dem Grade der Härte übliche Trennung in Schmiedeeisen und Stahl hat man damit fallen lassen. Die Härte, d. i. die Eigentümlichkeit, durch plötzliche Abkühlung aus Hitzegraden, die über 700⁰ liegen, große Härte anzunehmen, ist zwar in erster Linie vom Kohlenstoffgehalt, daneben aber auch von anderen Zusätzen, wie Mangan, Nickel und Chrom abhängig, so daß eine scharfe Abgrenzung nicht möglich ist. Auch dem Vorschlag, die an ausgeglühten Proben ermittelte Zugfestigkeit zur Trennung zu benutzen — 5000 kg/cm² zwischen Flußeisen und Flußstahl, 4500 kg/cm² zwischen Schweißeisen und Schweißstahl —, steht der Einwand entgegen, daß die Festigkeit von dem Grade der Verarbeitung abhängig ist. Immerhin ist im Buche, wo es nötig schien, zwischen weichen, kohlenstoffarmen, zähen und harten, kohlenstoffreicheren, festeren, aber spröderen Stahlsorten unterschieden, sofern nicht die genauere Angabe der Festigkeitszahlen oder der Zusammensetzung nach den Dinormen möglich und notwendig war.

Nur der Flußstahl ist genormt worden.

Im Roheisen tritt bei langsamer Abkühlung eine Ausscheidung des Kohlenstoffes in Form von Graphitblättchen ein, die dem Eisen eine graue bis schwarze Farbe und eine größere Weichheit verleihen. Derartiges graues Roheisen mit einem Kohlenstoffgehalt von 3—3,6⁰/₁₀ bildet das Gußeisen des Maschinenbaues; es wird meist unter nochmaligem Umschmelzen in die Gebrauchsformen gebracht. Silizium begünstigt, Mangan erschwert die Ausscheidung des Kohlenstoffes. Bleibt dieser infolge geeigneter Zusammensetzung oder sehr rascher Abkühlung gebunden, so zeigt die Bruchfläche weiße Farbe. Solches weißes Roheisen ist hart und spröde und nur zu wenigen Konstruktionsteilen unmittelbar geeignet, hat dagegen als Bestandteil des Hartgusses und für die Herstellung des Tempergusses große Bedeutung. Hartguß besitzt eine äußere harte Schicht von weißem Eisen auf einer zähen Grundlage von grauem.