

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. Beispielsweise 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].

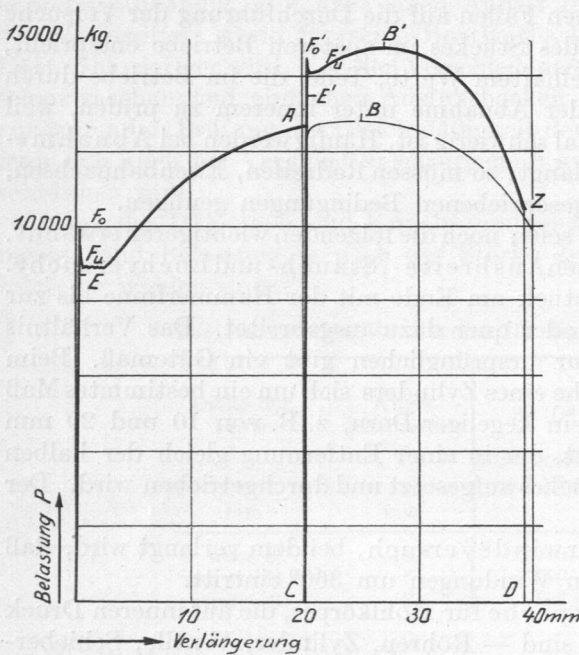


Abb. 82. Zugversuch an weichem Flußstahl unter Entlastung nach 10% Streckung.

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 Stahles).

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.