

würde also jetzt am inneren Umfang im Werkstoff keine Spannung — technisch ausgedrückt, die Spannung 0 — herrschen. Darüber hinaus aber dehnt der Gasdruck den Ring noch weiter aus, und zwar so weit, daß innen eine Spannung von 4000 kg auf 1 cm² entsteht. Am äußeren Umfang des Ringes *I* ist die Spannung natürlich geringer. Im inneren Umfang des Ringes *II* aber, der schon früher dadurch, daß er sich nicht wieder ganz zusammenziehen konnte, eine künstliche Zugspannung erhalten hatte, wird diese Spannung durch den Gasdruck, wie am inneren Umfang von Ring *I*, auf 4000 kg/cm² erhöht; ebenso geht es bei den Ringen *III* und *IV*, die von vornherein noch größere künstliche Spannungen hatten, so daß sie jetzt, obwohl der Gasdruck auf sie weniger Wirkung hat, doch alle auf 4000 kg/cm² Spannung kommen und somit gleichmäßig bis an die zulässige Spannungsgrenze ausgenutzt werden. Da das elastische Verhalten des Stahles genau bekannt ist, so kann man durch Rechnung die Durchmesser bestimmen, welche die Rohre bei der Bearbeitung innen und außen erhalten müssen, damit die Spannung von 4000 kg/cm² nicht überschritten wird. Natürlich gehört ein peinlich genaues Ausbohren und Abdrehen dazu, da ein Fehler von $\frac{1}{100}$ mm ein stärkeres oder geringeres Zusammenziehen beim Erkalten des Rohres zur Folge haben und damit eine Veränderung der Spannungen hervorrufen würde.

3. Die verschiedenen Eisen- und Stahlarten und ihre Prüfung.

Die Werkstoffspannung, mit der hier, bei dem Geschützrohrstahl, gerechnet wurde — 4000 kg für 1 cm² — ist so hoch, daß gewöhnlicher weicher Stahl (Schmiedeeisen) schon gebrochen wäre. Dabei bestehen beide Stoffe zum weitaus größten Teil aus reinem Eisen, und es sind nur geringe Beimischungen anderer Art vorhanden, die dem Werkstoff die größere oder geringere Festigkeit verleihen. Wir sahen auch schon vorher, daß die Baustoffe in anderer Beziehung, in bezug auf Dehnbarkeit und Arbeitsvermögen, ganz verschiedene Eigenschaften haben können. Nicht nur durch die chemische Zusammensetzung, sondern auch durch die Art der Herstellung und vorherigen Bearbeitung können dem Werkstoff seine besonderen Eigenschaften erteilt werden.

Bekanntlich stellt man das Eisen aus Erzen her, Gesteinsarten, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach vorwiegend Verbindungen von Eisen mit Sauerstoff sind, und die an vielen Stellen der Erde in großen Lagern vorkommen. Diese Erze werden in gewaltigen Öfen, die bis zu 40 m Höhe haben können, mit Kohle — meist in der Form

von Koks — zusammen erhitzt, wobei der Sauerstoff sich von dem Eisen trennt und mit der Kohle verbindet, während gleichzeitig eine gewisse Menge Kohlenstoff — einige Hundertteile — in das Eisen übergeht. Das so gebildete kohlenstoffhaltige Eisen, das auch noch geringe andere Beimengungen enthält, ist leichtflüssig und wird unten aus dem Hochofen abgezapft. Entweder wird nun das Eisen in diesem Zustand zum Gießen in Formen verwandt, oder es wird durch gewaltsames Hindurchblasen eines Luftstromes durch die flüssige Eisenmasse noch ein Teil des Kohlenstoffes verbrannt, wodurch das Eisen schwerer schmelzbar, aber zäher und fester wird. Der auf diese Weise hergestellte „Stahl“ enthält noch mindestens $\frac{1}{10}\%$ Kohlenstoff; er läßt sich lediglich durch Hämmern, Walzen, Pressen oder ähnliche mechanische Einwirkungen in neue Formen bringen. Stahl mit höherem Kohlenstoffgehalt läßt sich auch gießen, wenn auch nicht so bequem wie Gußeisen. Je nachdem ob der Stahl für Maschinenteile, zur Herstellung von Werkzeugen, für Panzerplatten oder sonstige Zwecke benutzt werden soll, werden ihm noch verschiedene Stoffe, wie Mangan, Nickel, Chrom, Molybdän oder Wolfram, zugesetzt, die seine Festigkeit, Härte und Zähigkeit verändern.

Wie man das Eisen durch veränderte chemische Zusammensetzung und besondere Behandlung den allerverschiedensten Zwecken anpaßt und damit in vorteilhaftester Weise ausnutzt, sei an einigen Beispielen erläutert.

Teile aus Gußeisen werden gewöhnlich in der Weise hergestellt, daß man ein Modell aus Holz macht und dieses in feuchtem Sand abformt. Ist das Modell aus dem Sande entfernt, so bleibt eine Hohlform, die durch Eingießen des flüssigen Eisens ausgefüllt wird. Die Sandform wird dann zerstört, so daß sich das fertige Gußstück herausnehmen läßt. Das Gußeisen, das man auf diese Weise erhält, ist, wie es für Maschinenteile oft gewünscht wird, nicht allzu hart und noch etwas dehnbar, wenn es auch in dieser Beziehung dem zähen Stahl nicht entfernt nahekommt. Für gewisse Zwecke, wenn das Gußstück gegen Abnutzung recht widerstandsfähig sein soll, braucht man nun aber einen sehr harten Werkstoff, und man kann diesen herstellen, indem man eiserne Formen benutzt, die die Wärme des flüssigen Eisens rasch ableiten, das Gußstück also viel schneller abkühlen, als die Sandform. Die rasche Erstarrung verhindert, daß sich die kleinsten Eisen- und Kohlenstoffteilchen in der Weise gruppieren, wie es zur Erlangung eines höheren Weichheitsgrades erforderlich wäre; es bildet sich also eine sehr harte Oberfläche aus.

Das Verfahren wird u. a. zur Herstellung sogenannter Hartgußräder für Eisenbahnwagen benutzt. Man setzt die Form hierfür aus

drei Teilen zusammen: oben und unten Sand, in der Mitte, d. h. an der Lauffläche des Rades, Eisen. Der eigentliche Radkörper kühlt sich infolge der Berührung mit dem Sand langsam ab und bleibt einigermaßen zäh, so daß das Rad im ganzen hinreichend widerstandsfähig gegen Stöße ist. Der Umfang des Rades dagegen, die Fläche, mit der es auf den Schienen läuft, bekommt eine sehr große Härte und nutzt sich daher längst nicht so rasch ab, wie wenn man hier ein weiches, zähes Gußeisen hätte.

Dem Stahl gibt man, wie schon erwähnt, für die verschiedenen Zwecke, für die er gebraucht wird, alle möglichen Zusätze und wendet, wenn er sehr hohe Beanspruchungen erleidet, wie z. B. bei Geschützrohren, Panzerplatten, Werkzeugen usw., besondere Verfahren an, um ihn von allen Unreinigkeiten zu befreien. Ein Stab von 1 cm^2 Querschnitt aus hochwertigem Stahl kann 6000, 8000, ja sogar 10000 kg tragen. Will man ganz besonders hohe Festigkeit erreichen, so geschieht das dadurch, daß man den Stahl, statt ihn zu gießen oder in glühendem Zustand auszuwalzen und zu schmieden, kalt weiterbearbeitet. Dieses Verfahren spielt eine besondere Rolle bei der Herstellung von Draht, der mehrmals

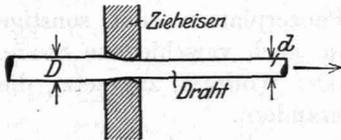


Abb. 131. Das Kaltziehen von Draht.

hintereinander durch enge Öffnungen gezogen wird und dabei einen immer kleineren Durchmesser bekommt. Abb. 131 stellt den Vorgang dar. Der Draht hatte vor dem Ziehen einen Durchmesser von z. B. 2 mm; indem man ihn durch das Ziehisen hindurchführt, kommt er auf 1,9 mm Durchmesser. Das Ziehen geht in der Weise vor sich, daß man das dünnere Drahtende an einer Trommel festmacht und diese sich langsam drehen läßt. Man kann den Draht so bis auf eine Festigkeit von 20000 kg für 1 cm^2 und mehr bringen. Allerdings wird er dadurch weniger dehnbar; sind aber eine große Anzahl Drähte zu einem Seil zusammengedreht, so besitzt das Seil als Ganzes genügende Dehnbarkeit, so daß es auch gegen Stöße nicht empfindlich ist.

Die Vergrößerung der Härte und Festigkeit beim „Ziehen“ ist aus einer Veränderung in der Lage der kleinsten Teile zu erklären. Wird der Draht erhitzt, „ausgeglüht“, so bekommen die Teilchen ihre freie Beweglichkeit wieder, und der Werkstoff nimmt seine alten Eigenschaften an.

Wenn eine Maschinenfabrik oder eine Brückenbauanstalt Eisen bei einem Hüttenwerk bestellt, so schreibt sie gewöhnlich vor, welche Eigenschaften das Eisen haben muß. Von Baustahl, wie er für Brücken und in Gebäuden verwandt wird, kann man beispiels-

weise verlangen, daß die Festigkeit im Durchschnitt etwa 4000 kg für 1 cm² beträgt, d. h. daß ein Stab von 1 cm² Querschnitt ungefähr 4000 kg Belastung aushalten kann, ehe er bricht. Außerdem wird verlangt, daß ein normaler Probestab sich bei der Dehnung bis zum Bruch um 25 % verlängert. Anders sind die Ansprüche an Kesselbleche, Eisenbahnschienen usw. Die neuzeitliche Technik stellt oft ganz außerordentlich hohe Ansprüche an den Werkstoff, besonders in solchen Fällen, wo die Konstruktionen sehr geringes Gewicht haben müssen, wie bei Fahrzeug- und Luftfahrtmotoren. Hier kommt es also darauf an, den Werkstoff auf das äußerste auszunutzen. Vielfach hat man bekanntlich den Stahl durch Leichtmetalle, vor allem durch Aluminium und seine Legierungen ersetzt, um das Konstruktionsgewicht zu verringern. Hohe Temperaturen, wie sie z. B. bei Hochdruck-Dampfanlagen auftreten, verlangen „warmfeste“ Stähle, die auch bei 500 ° ihre Festigkeitseigenschaften wenig verändern. Häufig wird auch gefordert, daß ein Stab aus dem Werkstoff sich eng zusammenbiegen läßt, ohne Risse zu zeigen, und dergleichen mehr. Um festzustellen, ob der Werkstoff richtig geliefert ist, stellt entweder der Abnehmer selbst Versuche an, oder er beauftragt damit eine der öffentlichen Materialprüfungsanstalten, die übrigens nicht nur Metalle, sondern auch Baustoffe aller Art, Brennstoffe, Schmieröl, Textilstoffe, Papier, Farben u. a. mehr untersuchen.



Abb. 132. Querschnitt durch eine Welle.

Sehr erleichtert wird die Auswahl des richtigen Werkstoffes und die Verständigung zwischen dem Verbraucher und dem Hersteller, also dem Hüttenwerk, durch die Normung, die bestimmte Güteklassen bildet und für sie die Haupteigenschaften vorschreibt. So kann bei gewöhnlichem Baustahl St 37.12 mit 0,1% Kohlenstoffgehalt die Festigkeit zwischen 3700 und 4500 kg/cm² schwanken; die Streckgrenze soll bei 2500 kg/cm² liegen, die Bruchdehnung eines normalen Probestabes 25% betragen.

Die Festigkeitsprüfungen allein genügen nicht, um Aufschluß über Fehler im Stahl zu erhalten. Seit einiger Zeit hat sich daher eine ganz neue Wissenschaft herausgebildet, die „Metallographie“, die das Gefüge des Stoffes untersucht. Aus dem Stahl werden Proben entnommen, blank poliert und mit einer Säure geätzt, wobei sich die verschiedenen Bestandteile des Eisens voneinander abheben. Ein recht beachtenswertes Beispiel gibt Abb. 132, die den Querschnitt durch die

Welle einer landwirtschaftlichen Maschine zeigt. Der Werkstoff, aus dem die Welle hergestellt ist, hat einen übermäßig hohen Phosphorgehalt, der das Eisen spröde und brüchig macht. Beim Erkalten zieht sich der Phosphor nach der Mitte des Stückes hin, weil das Eisen hier am längsten flüssig bleibt, und infolgedessen befindet sich in der Mitte ein spröder Kern, der in der Ätzung sofort zu erkennen ist. Die Welle hatte bereits bei der Herstellung einen Riß bekommen und zerbrach dann

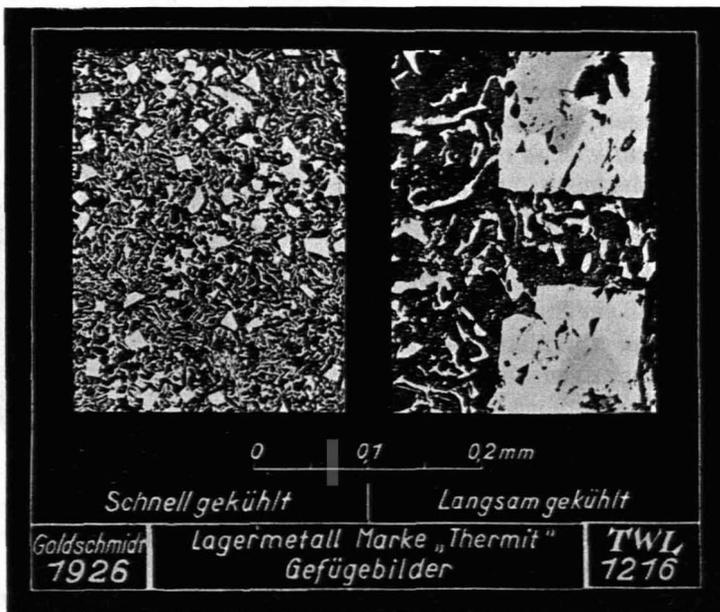


Abb. 133 und 134. Schliffbilder eines Lagermetalles (nach einem Glasbild der Technisch-Wissenschaftlichen Lehrmittel-Zentrale (TWL), Berlin NW 7).

in zwei Stücke, als sie bei der Beförderung zufällig aus einer Höhe von 1 m auf den Boden fiel.

Noch genauere Einblicke in das Innere des Metalles gibt die mikroskopische Untersuchung der geätzten Flächen. Es zeigt sich dabei, daß die Metalle aus zahlreichen, ganz kleinen Kristallen bestehen, die je nach der chemischen Zusammensetzung und Behandlung des Stoffes ganz verschiedene Form und Größe haben. So geben z. B. Abb. 133 und 134 Proben einer Art von Lagermetallen wieder, d. h. von Metallen, die zur Herstellung von Lagern für umlaufende Wellen benutzt werden.

Das Metall besteht in der Hauptsache aus Blei und enthält daneben vor allem Antimon mit kleineren Zusätzen an Zinn und

Nickel. Die Schlitze sind 150fach vergrößert, sie zeigen also Ausschnitte, die in Wirklichkeit nur Seitenlängen von weniger als $\frac{1}{3}$ mm haben. Man erkennt in beiden Fällen, daß harte Kristalle, die im Bilde hell erscheinen, in einer weichen Grundmasse eingebettet ruhen, ein Gefüge, das für Lagermetalle als vorteilhaft gilt: die harten Kristalle besitzen die nötige Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung, vermögen sich aber durch Eindrücken in die weichere Grundmasse den kleinen Verlagerungen des Wellenzapfens anzupassen. Ein Unterschied besteht darin, daß in Abb. 133 (links) die Kristalle kleine Abmessungen haben, in Abb. 134 (rechts) dagegen verhältnismäßig groß sind, was erfahrungsgemäß weniger günstig ist; dies rührt von falscher Behandlung — zu langsamer Abkühlung — her, bei der die Kristalle Zeit gehabt haben, zusammenzuwachsen.

Fehler in Werkstücken lassen sich auch dadurch ermitteln, daß man die Stücke mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Das Verfahren hat den Vorteil, daß man keine Proben aus dem Werkstück zu entnehmen braucht (zerstörungsfreie Werkstoffprüfung). Es hat z. B. für die Prüfung von Schweißnähten Bedeutung erlangt.

Aus allem geht hervor, daß die technische Wissenschaft die Stoffe, aus denen sie Maschinen und Bauwerke herstellt, heute nicht mehr als tot ansieht, sondern sie in allen ihren Lebensäußerungen verfolgt, wie der Naturforscher die Pflanze oder den Kristall. Man spricht sogar von einer „Ermüdung“ des Werkstoffes, wenn sein Arbeitsvermögen durch immer wiederkehrende Dehnungen, die über die zulässige Grenze hinausgingen, aufgebraucht und das Gefüge spröde geworden ist. Damit setzt sich die heutige Technik in entschiedenem Gegensatz zu der früheren handwerksmäßigen Behandlung der Baustoffe. Während dort die Erfahrung die einzige Grundlage bildete und ein Maschinenglied, wenn es einmal gebrochen war, bei den nächsten Ausführungen so viel stärker gemacht wurde, bis es schließlich hielt, sucht man heute die Gründe zu erforschen, die den Bruch herbeigeführt haben, obwohl das Stück nach der üblichen Berechnungsweise, die für andere, ähnliche Fälle richtige Abmessungen ergab, stark genug gewesen wäre, und kann dadurch weit sicherer späteren Fehlschlägen vorbeugen.

4. Ausbildung von Bauteilen vom Gesichtspunkte genügender Festigkeit aus.

Der Zweck und treibende Gedanke bei alledem ist vor allem das Bestreben, mit so wenig Werkstoff wie möglich auszukommen, indem man ihn bis an die äußerste Grenze seiner Leistungsfähigkeit ausnutzt. Eine Ausnutzung in diesem Sinne und in diesem Maße ist nur möglich, wenn einerseits die Eigenschaften des Stoffes, an-