

21,5 hat, entfällt hiervon auf den Bogen $B'B''$ der Betrag von 5 mm. Diese Länge entspricht der ursprünglichen Dicke der Teillinie BC , die auf etwa 0,25 mm geschätzt werden kann. Es hat sich also eine Länge von 0,25 mm auf eine solche von 5 mm vergrößert, und dies gibt eine Dehnung von $\frac{5 - 0,25}{0,25} \cdot 100 = 1700\%$.

Dieser Wert ist natürlich nur eine rohe Schätzung, die aber genügt, um zu zeigen, daß die größten örtlichen Dehnungen in der Nähe des Punktes B im gekerbten Stab außerordentlich hohe Werte annehmen, und daß in einiger Entfernung von B in der Richtung FG die Dehnungen sehr rasch abnehmen.

Trägt man die Dehnungen in Prozenten für die äußerste Faser DE des gebogenen ungekerbten und für die Faser FG des gekerbten Stabes in Abhängigkeit von der im nicht gebogenen Stab gemessenen Entfernung der einzelnen Punkte von der Mittellinie ABC ab, so erhält man die Abb. 369 und 370, von denen die erstere dem ungekerbten, die letztere dem gekerbten Stabe entspricht. Der Vergleich der beiden

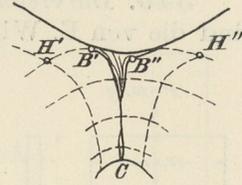


Abb. 368.

Abbildungen läßt deutlich die außerordentlich starken örtlichen Dehnungen im Grunde des Kerbs und die rasche Abnahme der Dehnung nach beiden Seiten hin beim gekerbten Stab erkennen, während beim ungekerbten Stab die Dehnung sich auf größere Strecken verteilt und nie örtlich so hohe Beträge erreicht, wie in dem gekerbten Stab. Auch die Tafelabb. 66 (ungekerbter Stab) und 67 (gekerbter Stab) in Taf. XIII, die die beiden Stäbe in der Richtung ABC gesehen zeigen, lassen an der Art der Einschnürung die Unterschiede in der Verteilung der Formänderung über die Stabmasse erkennen. Beim gekerbten Stab ist die Dicke in der Stelle der stärksten Einschnürung bei B fast Null geworden; die Arbeitsfähigkeit des Materials ist an dieser Stelle fast erschöpft, während in ganz geringer Entfernung davon das Material nur ganz wenig oder gar nicht in Anspruch genommen worden ist.

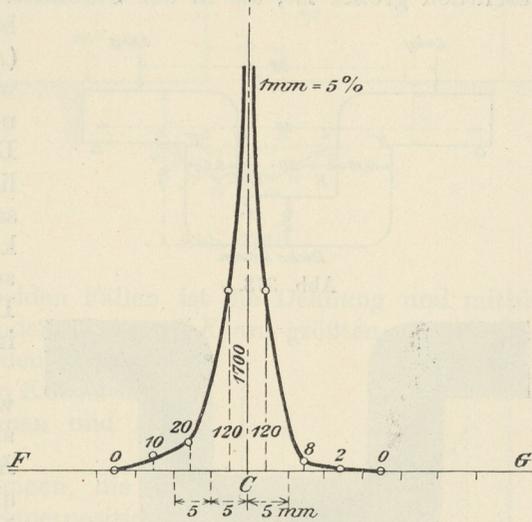
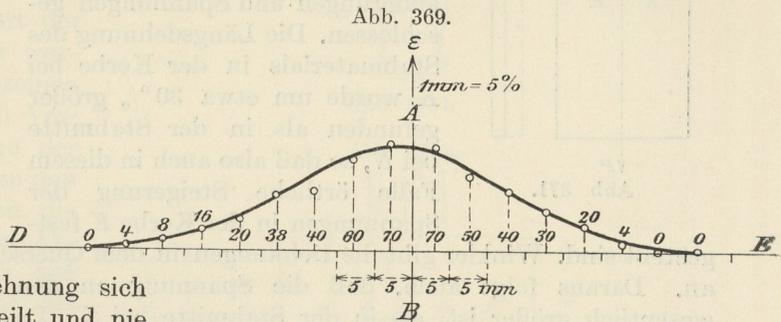


Abb. 370.

Beachtenswert ist auch, daß infolge der Biegung der Grund des Kerbs, der ursprünglich wie in Abb. 367 scharfkantig war, sich flach abgerundet hat. Dadurch würde bei weiterem Biegen der Kerb nahezu verschwinden oder in seiner Wirkung wenigstens sehr geschwächt. Das Material sucht sich also der Kerbwirkung zu entziehen, vorausgesetzt, daß es geschmeidig genug ist, um die dazu erforderliche Formänderung ohne Aufgabe des Zusammenhanges zu ertragen; andernfalls reißt es im Kerbgrund ein.

Aus Obigem können wir zusammenfassend entnehmen, daß Kerbung eines nach Abb. 367 auf Biegung beanspruchten Stabes zu starken örtlichen Längsdehnungen im Grunde des Kerbs Veranlassung gibt, woraus auf sehr starke örtliche Zugspannungen an dieser Stelle geschlossen werden darf.

340. Die ersten mir bekannt gewordenen Versuche über die Wirkung der Kerbe sind die von E. Winkler (*L₄ 55*). Er beanspruchte einen Stab aus vulkanisiertem Kautschuk von den in Abb. 371 angegebenen Abmessungen auf Zug unter einer gleichmäßigen, am Stabkopf angreifenden Belastung von 10 kg. Auf dem Kautschukstab waren vor der Beanspruchung Netzlinien eingezeichnet worden, ähnlich wie im vorigen Absatz bei den Bleiprobe. Aus den Änderungen der Abstände dieser Linien unter der Belastung wurde auf die Formänderungen und Spannungen geschlossen. Die Längsdehnung des Stabmaterials in der Kerbe bei *K* wurde um etwa 30% größer gefunden als in der Stabmitte bei *N*, so daß also auch in diesem Falle örtliche Steigerung der Spannungen in der Kerbe *K* festgestellt sind. Winkler gibt die Dehnungen in dem Querschnitt *KNK* nach Abb. 372 an. Daraus folgt auch, daß die Spannung an den einspringenden Kanten *K* wesentlich größer ist, als in der Stabmitte bei *N*. Da die Messung der Dehnung bei *K* über einer Meßlänge von 6,25 mm (Abstand der Netzlinien) vorgenommen wurde, so gibt der Wert von $\epsilon = 38\%$ nicht den wahren Wert der örtlichen Dehnung bei *K* an. Der Fall kann ähnlich liegen wie bei dem im vorigen Absatz beschriebenen Bleistab. Die Dehnung kann in unmittelbarer Nähe von *K* größer sein, der Wert 38% ist nur die mittlere Dehnung über einer Strecke von 6,25 mm in der Nähe von *K*.

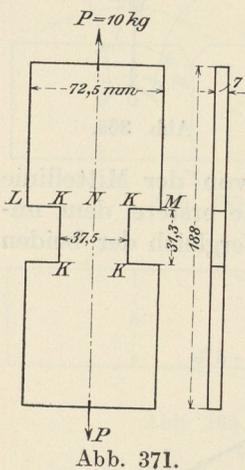


Abb. 371.

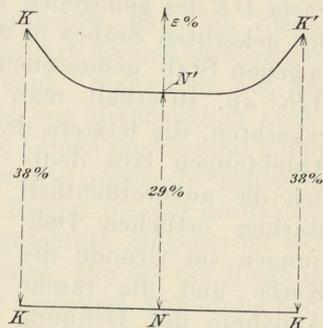


Abb. 372.

Die Versuche von Winkler zeigen weiter, daß durch Abrundung der einspringenden Kante bei *K* die Linie *K'N'K'* in Abb. 372 sich mehr einer Parallelen zu *KNK* nähert, daß also der Vorsprung der örtlichen Dehnung bei *K* gegenüber der des mittleren Stabteiles bei *N* um so geringer wird, je mehr sich der einspringende Winkel bei *K* dem Wert 180° nähert.

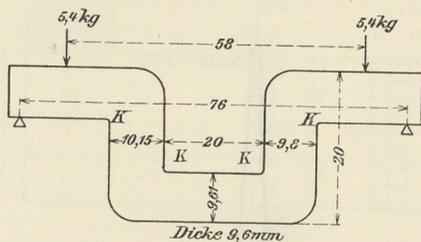


Abb. 373.

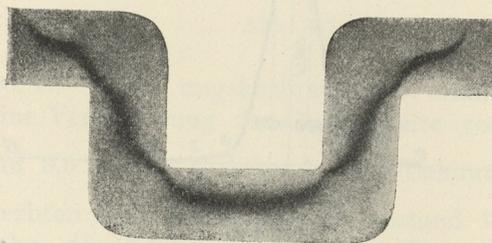


Abb. 374. Gekröpfter Glaskörper belastet nach Abb. 373. (Nach Hönigsberger.)
(Etwa nat. Größe.)

Die einspringende Kante bei *K* kann als Kerb aufgefaßt werden. Hönigsberger (*L₄ 56, 57, 111*) verwendet zum Nachweis der Spannungen und der Lage der neutralen Schichten Glaskörper, die zwischen gekreuzten Nicols im polarisierten Licht untersucht wurden. Er findet, daß die neutrale Schicht in einem Glas-

körper von den Abmessungen der Abb. 373 und unter der dort angedeuteten Belastung so verläuft, wie in Abb. 374 durch die dunkle Linie angedeutet ist. Sie läuft sehr nahe an den einspringenden Ecken *K* vorbei. Daraus folgt, daß dort sehr hohe Spannungen auftreten müssen. (Vgl. auch A. Mesnager, *L*₄ 82).

Daß die größten Formänderungen und somit die größten Spannungen auch nach Überschreiten der Streckgrenze in den einspringenden Kanten bei Biegeproben auftreten, zeigen die von mir untersuchten Bleistäbe in den Tafelabb. 68 und 69 der Taf. XIV (etwa ²/₃ der natürlichen Größe), die nach Art der Abb. 375 und 376 belastet wurden. Die Abstände der einzelnen Netzlinien waren vor dem Versuch 5 mm, mit Ausnahme der beiden äußersten parallel zu den Längsseiten gehenden Linien, die von den letzteren nur den Abstand 2,5 mm hatten. In den Abb. 375 b und 376 b sind als Ordinaten die Dehnungen ϵ in Prozenten angegeben, die am Grunde des Kerbs in der Richtung *OP* infolge des Biegens eingetreten sind. Als Abzissen zu diesen Dehnungen sind die Abstände der einzelnen Punkte *OKNKP* von *N* verwendet, wie sie im ursprünglichen, ungebogenen Stab gemessen wurden. In beiden Fällen ist die Dehnung und mithin die Spannung in den scharf einspringenden Kanten *KK* am größten.

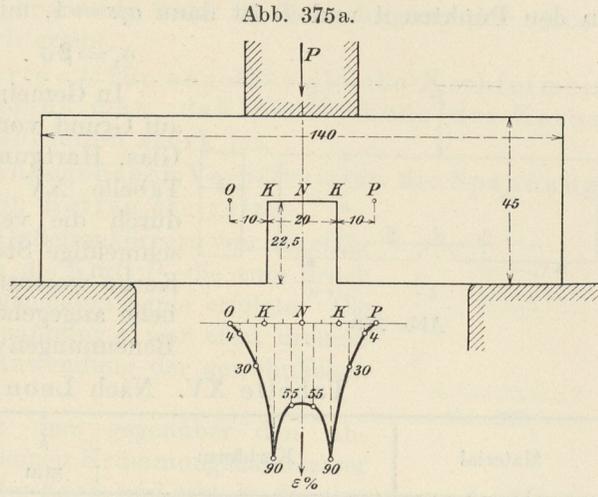


Abb. 375 b.

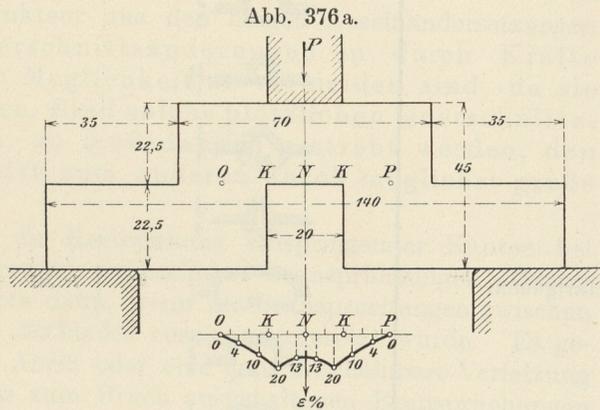


Abb. 376 b.

Es ist nun tatsächlich eine außerordentlich häufig zu machende Erfahrung, daß Brüche in Kurbelwellen in den einspringenden Kanten *K* beginnen und sich allmählich fortsetzen.

Auf Grund theoretischer Betrachtungen, die die Gültigkeit des Hookschen und des Superpositions-gesetzes voraussetzen und nur für Beanspruchungen innerhalb des elastischen Bereiches gelten, gelangt Leon (*L*₄ 58) zu folgender Annäherungsformel für einen Stab von rechteckigem Querschnitt, der halbkreisförmige Kerbe auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten besitzt und durch eine Kraft *P* auf Zug beansprucht wird (vgl. Abb. 377):

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} \left[\left(\frac{a}{r} \right)^4 + \left(\frac{a}{r} \right)^2 + 2 \right] \dots \dots \dots (19)$$

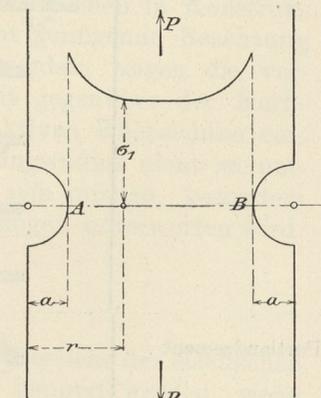


Abb. 377.

Hierin ist σ die Spannung im Stabquerschnitt AB bei Vernachlässigung der Kerbwirkung, σ_1 die Spannung, die infolge der Wirkung des halbkreisförmigen Kerbes vom Halbmesser a im Abstand r vom Mittelpunkt des Kerbhalbkreises auftritt. In den Punkten A und B ist dann $a/r = 1$, mithin

$$\sigma_1 = 2\sigma \dots \dots \dots (20)$$

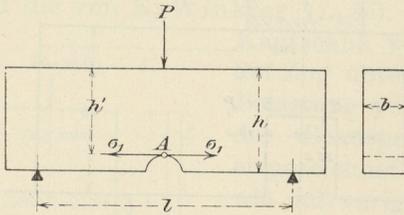


Abb. 378.

In Gemeinschaft mit P. Ludwik fand Leon auf Grund von Biegeversuchen mit Körpern aus Glas, Hartgummi und Portlandzement die in der Tabelle XV angegebenen Spannungsstörungen durch die verschiedenen Kerbarten. Für geschmeidige Stoffe können die Einwirkungen der Kerbe wesentlich anders werden, als in der Tabelle angegeben. Die Bedeutung der einzelnen Benennungen h, h', b ist in der Abb. 378 erläutert.

Tabelle XV. Nach Leon und Ludwik.

| Material | Kerbform | h mm | h' mm | b mm | l mm | $\frac{\sigma_1}{\sigma}$ |
|--------------------------|----------|-----------|------------|-----------|-----------|---------------------------|
| Glas | | 30 | 27 | 12 | 100 | 2,0 |
| | | | | | | 2,7 |
| | | | | | | 3,5 |
| | | | | | | 5,0 |
| Hartgummi | | 30 | 27 | 12 | 100 | 1,17 |
| | | | | | | 1,41 |
| | | | | | | 2,2 |
| | | | | | | 1,62 |
| | | | | | | 2,8 |
| | | | | | | 3,3 |
| | | | | | | 3,4 |
| | | | | | | 3,8 |
| | | | | | | 4 |
| Portlandzement | | 40 | 35 | 40 | 100 | 1,9 |
| | | 40 | 30 | 40 | 100 | 2,3 |

In der letzten Spalte der Tabelle XV ist das Verhältnis σ_1/σ zwischen der größten Zugspannung im Grunde A des Kerbs und der Spannung angegeben, die vorhanden sein würde, wenn der Stab nicht gekerbt wäre, die sich also aus der einfachen Berechnungsformel für die Spannung unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch den Kerb ergibt.

Aus dem Vergleich der Werte σ_1/σ für ungefähr gleiche Kerbformen bei verschiedenen Stoffen erkennt man, daß die Wirkung des Kerbs bei verschiedenen Stoffen verschieden stark ist.

Der Kerb kann unter den angegebenen Verhältnissen die Spannung örtlich auf den 1,17 bis 5 fachen Betrag steigern.

Bach (*L*₄ 59) ermittelte an zwei Gußeisenkörpern von ungefähr der in Abb. 379 angedeuteten Form die Kraft P , die zum Bruch nötig war, der nach der unter 45° geneigten Linie erfolgte. Die wirklich ermittelte größte Biegungsspannung σ' war etwa dreimal so groß, als die, die sich aus der Anwendung der gewöhnlichen Berechnungsformel ergeben würde.

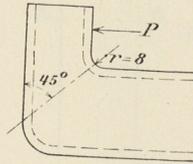


Abb. 379.

Die einspringende Kante mit dem gegenüber den Abmessungen des ganzen Stücks sehr kleinen Krümmungshalbmesser von 8 mm wirkt eben wie ein scharfer Kerb und gibt in der einspringenden Kante Veranlassung zur örtlichen Spannungssteigerung.

Es folgt nun für den Konstrukteur aus den obigen Auseinandersetzungen die Regel, daß plötzliche Querschnittsänderungen in durch Kräfte beanspruchten Bauteilen nach Möglichkeit zu vermeiden sind, da sie in ihrer Wirkung Kerben gleichen. Sind solche plötzlichen Querschnittsänderungen nicht zu umgehen, so muß danach gestrebt werden, den Übergang von einem Querschnitt zum anderen durch möglichst große Abrundung zu bewirken.

Besonders deutlich zeigt sich die Kerbwirkung einspringender Kanten bei häufig zwischen zwei äußersten Grenzen wechselnden Beanspruchungen (Dauerbeanspruchungen) und ganz besonders dann, wenn die Beanspruchungen zwischen Zug und Druck wechseln, wie in I, 324 bis 333 auseinandergesetzt wurde. Es genügt hierbei schon ein ganz kleiner Anriß oder eine ganz unscheinbare Verletzung der Oberfläche, um die Zahl der bis zum Bruch ausgehaltenen Beanspruchungen erheblich herabzusetzen.

Die obige Regel über die Vermeidung einspringender Kanten und über die Abrundung ist also um so mehr zu beherzigen, je mehr das Material Dauerbeanspruchungen ausgesetzt ist.

Trotzdem ist eine sehr große Anzahl von vorzeitigen Brüchen in Konstruktionsteilen auf die Nichtbeachtung oder wenigstens nicht genügende Beachtung dieser Regel zurückzuführen. Wie wir später sehen werden, zeigen die verschiedenen Materialien verschieden große Empfindlichkeit gegenüber der Kerbwirkung. Man wird deswegen in Fällen, wo aus konstruktiven Rücksichten einspringende Kanten mit verhältnismäßig geringem Abrundungsradius nicht zu umgehen sind, besonders sorgfältig in der Materialauswahl sein müssen, besonders dann, wenn der Konstruktionsteil wechselnden Beanspruchungen unterworfen wird.

1. Die Kerbzugprobe.

341. Die Ergebnisse Leons gelten nur innerhalb des Bereichs der elastischen Formänderungen, und können bis zum Bruch nur dann benutzt werden, wenn der Stoff ohne wesentliche plastische Formänderung zu Bruch gebracht werden

kann. Von Wichtigkeit ist es noch, kennen zu lernen, wie sich die Verhältnisse bei Körpern gestalten, die vor dem Bruch plastische Formänderungen erleiden.

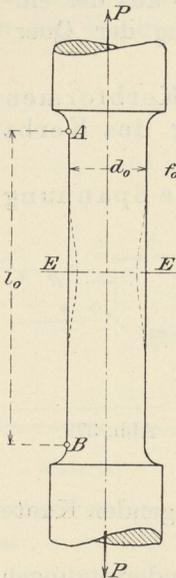


Abb. 380.

Ein Stab von den in Abb. 380 angegebenen Abmessungen werde in der Richtung der Stabachse durch die allmählich wachsende Kraft P auf Zug beansprucht. Der ursprüngliche Querschnitt des Stabes sei f_0 , die ursprüngliche Länge zwischen den Punkten A und B sei l_0 . Es werde vorausgesetzt, daß l_0 im Verhältnis zum Durchmesser d_0 sehr lang sei. Der Abstand der beiden Punkte A und B wird sich unter dem Einfluß der wachsenden Kraft vergrößern; er habe bei einer bestimmten Last P den Wert l , so daß die Verlängerung $\lambda = l - l_0$ ist. Die Änderung von λ mit der Last P werde durch einen Selbstzeichner als Abszisse in einem Schaubild eingezeichnet, in dem die jeweiligen Kräfte P die Ordinaten sind (λ, P -Bild, in Abb. 381). P_S entspreche der Last an der S -Grenze, P_B der Höchstlast, und P_Z der Last, unter der schließlich der Stab zu Bruch geht.

Aus der Abb. 381 kann man durch Rechnung ein anderes Schaubild ableiten, in dem als Abszissen die Dehnungen $\epsilon = \frac{\lambda}{l_0}$ und als Ordinaten die Spannungen $\sigma = \frac{P}{f_0}$ bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt f_0 des Stabes, verwendet sind. Das so erhaltene Schaubild heiße ϵ, σ -Bild. Es ist in Abb. 382 durch die dünne Linie 1 angedeutet.

Aus dem Schaubild ϵ, σ läßt sich ein weiteres ableiten, wenn man als Ordinaten nicht die Werte $\sigma = \frac{P}{f_0}$, bezogen auf den ursprünglichen Stabquerschnitt f_0 ,

sondern die Spannungen $[\sigma] = \frac{P}{f}$, bezogen auf den jeweiligen Querschnitt f des Stabes, einzeichnet. Das so gewonnene Schaubild soll als $\epsilon, [\sigma]$ -Bild bezeichnet werden. Man nennt $[\sigma]$ vielfach die „wirkliche“ oder die „effektive“ Spannung.

Nach Überschreiten der S -Grenze, also während des Fließens

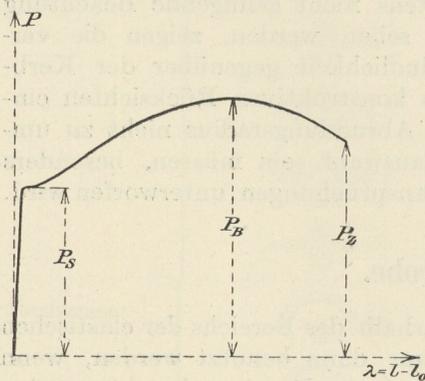


Abb. 381.

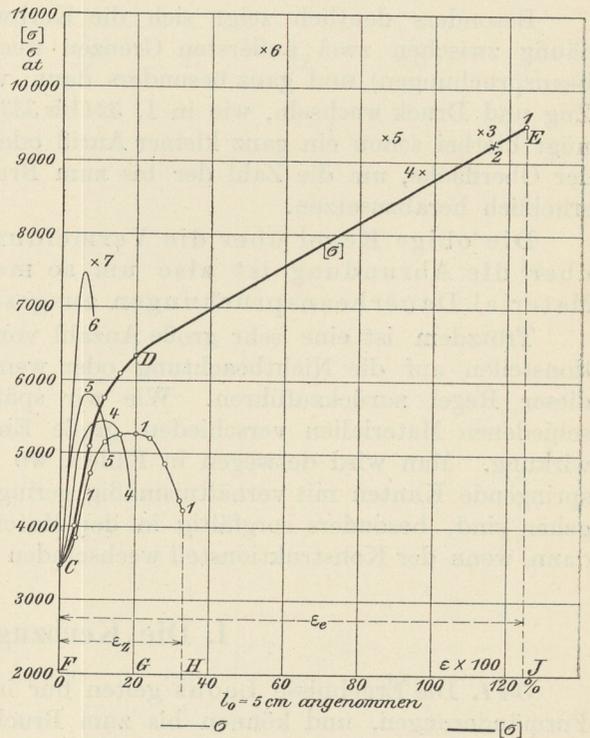


Abb. 382.

des Metalls, steigt sowohl die Linie der P in Abb. 381, als auch die Linie der σ (dünne Linie 1) in Abb. 382 bis zu dem Höchstwert P_B bzw. σ_B an. In dieser Periode erstreckt sich die bleibende Formänderung nahezu gleichmäßig über die ganze Länge l_0 und somit über das ganze Volumen $f_0 l_0$ des Stabes. Unter Vernachlässigung der geringen Veränderung des spezifischen Gewichts des Stabmaterials infolge des Kaltreckens kann man das Stabvolumen vor der Beanspruchung dem

Volumen nach der Beanspruchung gleich setzen: $f_0 l_0 = fl$, oder $f = \frac{f_0 l_0}{l}$; außerdem

ist aber $\frac{l-l_0}{l_0} = \varepsilon$ und somit auch $\frac{l_0}{l} = \frac{1}{1+\varepsilon}$. Setzt man diesen Wert in die Beziehung für f sein, so findet man

$$f = \frac{f_0}{1+\varepsilon} \dots \dots \dots (21)$$

Für $[\sigma] = \frac{P}{f}$ erhält man danach

$$[\sigma] = \frac{P}{f_0} (1 + \varepsilon)$$

oder
$$[\sigma] = \sigma (1 + \varepsilon) \dots \dots \dots (22)$$

Verwendet man die so berechneten Werte von $[\sigma]$ als Ordinaten, so ergibt sich die dick ausgezogene $[\sigma]$ -Linie in Abb. 382 von C bis D .

Nach Überschreiten der Höchstspannung σ_B (B -Grenze) wird in einem Querschnitt, der zufällig etwas geringere Widerstandsfähigkeit besitzt, oder der sich in der Mitte zwischen den beiden Stabköpfen befindet (I, 100 bis 104), das Fließen stärker als in den übrigen Querschnitten. Dort nimmt dann die Dehnung rascher zu und der Querschnitt f rascher ab, als in den übrigen Querschnitten des Stabes. Die Folge davon ist Einschnürung, wie in Abb. 380 punktiert angedeutet. Durch die Querschnittsverminderung wird trotz des Abfallens der das Fließen herbeiführenden Kraft P von P_B auf P_Z und der Spannungen von σ_B auf σ_Z die Spannung $[\sigma]$ weiter gesteigert; da ja P/f wegen der Abnahme des Querschnitts f weiter steigt, bis schließlich $[\sigma]$ im Einschnürungsquerschnitt einen solchen Wert erreicht, daß der Bruch eintritt. Die Dehnungen ε sind jetzt nicht mehr gleichmäßig über die Stablänge l verteilt, sondern nehmen von A nach E (Abb. 380) zu, erreichen bei E den Höchstwert, um dann von E nach B wieder abzufallen (I, 130 bis 137). Dementsprechend sind auch die Spannungen σ und $[\sigma]$ über der Länge l verschieden und erreichen bei EE in der Einschnürungsstelle ihren Höchstwert. Zur Berechnung dieses Wertes ist wegen der angegebenen Verschiedenheiten die Gl. 22 nicht mehr brauchbar. Man muß jetzt den jeweiligen kleinsten Querschnitt f selbst durch Messung feststellen, und dann $[\sigma]$ aus der Beziehung

$$[\sigma] = \frac{P}{f}$$

berechnen.

Sind, wie es meist der Fall ist, während des Zugversuchs die Werte f nicht gemessen, so bleibt zur Berechnung von $[\sigma]$ nur noch der Querschnitt f_e am Bruch des Stabes bei EE übrig. Man erhält dann $[\sigma]_Z = \frac{P_Z}{f_e}$. Dieser Wert ist die Ordinate des Endpunktes E der $[\sigma]$ -Linie in Abb. 382.

Die zugehörige Abszisse, das ist die größte im Stab auftretende Dehnung, erhält man aus folgender Überlegung. Ein zylindrischer Teil des Stabes vom ursprünglichen Querschnitt f_0 und der ursprünglichen Länge x_0 , die als sehr klein gedacht werde, hat nach erfolgtem Bruch den Querschnitt f_e und eine Länge x angenommen, so daß

$$x f_e = f_0 x_0; \quad \frac{x}{x_0} = \frac{f_0}{f_e}$$

Die Dehnung ist dann

$$\varepsilon_e = \frac{x - x_0}{x_0} = \frac{x}{x_0} - 1,$$

also

$$\varepsilon_e = \frac{f_0}{f_e} - 1. \quad \dots \dots \dots (23)$$

Dieser Wert ist die Abszisse des Endpunktes *E* der $[\sigma]$ -Linie in Abb. 382 (I, 33 bis 51, s. auch Ludwik, $L_4 60$). Durch Verbinden von *D* mit *E* erhält man die Fortsetzung der $[\sigma]$ -Linie über *D* hinaus.

Es ist zu beachten, daß die Ordinaten der $[\sigma]$ -Linie von *C* bis *D* die gleichmäßig über die Länge *l* verteilten Spannungen $[\sigma]$, jenseits von *D* aber nur die an der Einschnürungsstelle auftretenden Höchstspannungen $[\sigma]$ angeben. Dergleichen geben die Abszissen von *F* bis *G* die über die Stablänge *l* gleichmäßig verteilten Dehnungen ε an, während die Abszissen von *G* bis *J* die höchsten Dehnungen im Einschnürungsquerschnitt darstellen.

Der Vergleich der beiden Abszissen $\varepsilon_Z = FH$ und $\varepsilon_e = FJ$ gibt Aufschluß über den Grad der Ausnutzung der Widerstandsarbeit des Materials beim Zugversuch.

Denkt man sich die Stablänge l_0 in *n* gleiche Teile von der Größe l_0/n geteilt, so werden die Strecken l_0/n nach dem Zerreißen größer geworden sein. Aus der Verlängerung jedes Teiles kann man seine Dehnung berechnen. Trägt man diese Dehnungen als Abszissen zu jedem zugehörigen Stabteil ab, so erhält

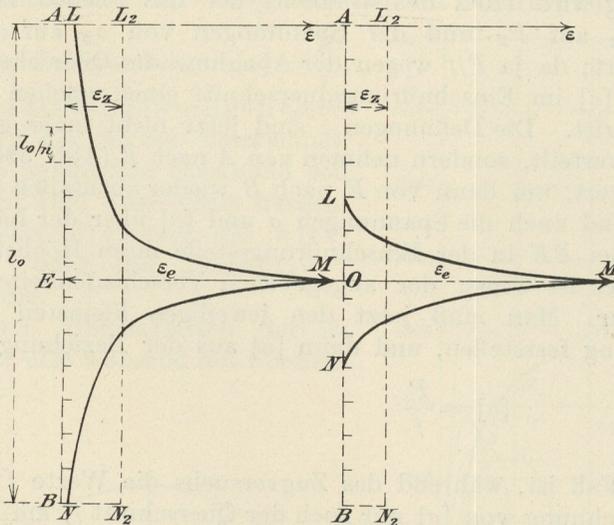


Abb. 383.

Abb. 384.

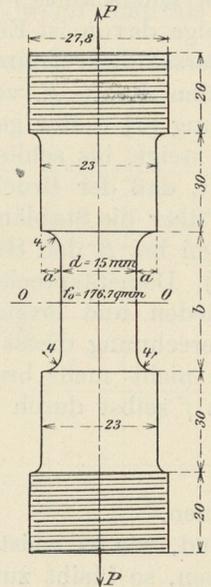


Abb. 385.

man die Linie *LMN* in Abb. 383, die die Verteilung der Dehnungen über die Länge l_0 angibt. Werden die Abschnitte l_0/n genügend klein gewählt, so ist *EM* annähernd gleich dem Wert $\varepsilon_e = FJ$ in Abb. 382. Der Wert ε_Z , der aus der Entfernung der beiden Marken *A* und *B* ermittelt wird, muß gleich dem Durchschnittswert aller Abszissen der Schaulinie *LMN* sein, d. h. die beiden Flächen *ALMNB* und AL_2N_2B müssen gleich sein.

Während an der Einschnürungsstelle bei E die Widerstandsarbeit des Materials fast aufgebraucht wird, wird in den von E entfernten Stellen nur ein geringer Teil der Widerstandsarbeit aufgezehrt.

Wird nun ein gekerbter Stab, etwa nach Art der Abb. 385, durch zentrische und allmählich wachsende Kraft P auf Zug beansprucht, so bewirkt, wie früher gezeigt, der Kerb Einschränkung der örtlichen Dehnungen auf die in unmittelbarer Nähe des Kerbs befindlichen Stabteile, so daß die Verteilung der Dehnungen über die Länge l_0 sich etwa wie in Abb. 384 darstellt. Im Querschnitt O wird die Widerstandsarbeit des Materials am meisten ausgenutzt; die Dehnung erreicht dort ihr höchstes Maß $\varepsilon_c = OM$; nach beiden Seiten hin nimmt die Dehnung rasch ab, so daß nur ein kleiner Teil der Länge l_0 an der Widerstandsarbeit teilnehmen kann. Die mittlere Dehnung ε_z wird deswegen kleiner als in Abb. 383.

Es entsteht nun die Frage, in welchem Verhältnis steht die Höchstdehnung OM in Abb. 384 zur Höchstdehnung EM in Abb. 383, wenn dasselbe Material mit und ohne Kerbung dem Zugversuch unterworfen wird. Hierüber geben Versuche Aufschluß, über die A. Martens ($L_4 61$) und Rudeloff ($L_4 62$) berichtet haben.

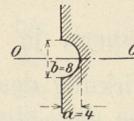


Abb. 386.

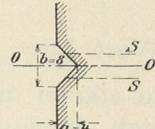


Abb. 387.

Aus einer 35 mm dicken Rundstange von Martinflußeisen wurden Zugstäbe von der in Abb. 385 dargestellten Form hergestellt. Die Abmessungen waren bei allen Stäben dieselben, bis auf die Länge b , die bei den verschiedenen Stäben die Längen 58, 48, 38, 28, 18, 8 mm erhielt. Die Stäbe waren somit sämtlich gekerbt, nur war das Verhältnis der Kerbabmessungen b/a veränderlich und lag innerhalb der äußersten Grenzen $58/4$ und $8/4$; im letzteren Falle war der Kerb halbkreisförmig (Abb. 386). Außerdem wurde noch ein Stab mit spitzem Kerb nach Abb. 387 geprüft. Die Ergebnisse der Zugversuche sind in der Tabelle XVI zusammengestellt.

Tabelle XVI. Nach Rudeloff.

| Nr. | b | σ_S | σ_B | f_c | q | $\varepsilon_c \cdot 100$ | $[\sigma]_z$ |
|-----|-------------------|------------|------------|-------|------|---------------------------|--------------|
| | cm | at | at | qcm | % | % | at |
| 1 | 5,8 | 3450 | 5400 | 0,785 | 55,6 | 125 | 9500 |
| 2 | 4,8 | 3560 | 5380 | 0,817 | 53,8 | 116 | 9240 |
| 3 | 3,8 | 3580 | 5430 | 0,833 | 52,8 | 112 | 9430 |
| 4 | 2,8 | 3480 | 5490 | 0,899 | 49,1 | 96,5 | 8890 |
| 5 | 1,8 | 3570 | 5800 | 0,950 | 46,2 | 86,1 | 9310 |
| 6 | 0,8 ¹⁾ | 4470 | 7440 | 1,150 | 34,9 | 53,5 | 10510 |
| 7 | 0,8 ²⁾ | 5420 | 7040 | 1,629 | 7,8 | 9 | 7600 |

¹⁾ Halbkreisförmiger Kerb nach Abb. 386.

²⁾ Spitzer Kerb nach Abb. 387.

f_0 war in allen Fällen 1,767 qcm,

$$q = \frac{f_0 - f_c}{f_0} \cdot 100$$

$$\varepsilon_c = \frac{f_0}{f_c} - 1$$

$$[\sigma]_z = \frac{P_z}{f_c}$$

Aus der Tabelle ergibt sich, daß mit abnehmendem b , also mit zunehmender Kerbwirkung, die Werte für q und ε_c abnehmen.

Demnach muß die Strecke OM in Abb. 384 mit abnehmendem b kürzer werden. Wegen der stark örtlichen Beschränkung der Dehnung infolge Ver-

kürzung der Länge LN durch die Kerbwirkung muß mit steigender Kerbwirkung auch die mittlere Bruchdehnung $\delta = \varepsilon_Z \cdot 100$ abnehmen. Dies geht aus Abb. 382 hervor, wo die ε, σ -Linien für die Stabnummern 1, 4, 5 und 6 gezeichnet sind. (Die Zeichnungen sind nur nach gedruckten Abbildungen in der Quelle gemacht und sind daher nicht besonders genau; der Genauigkeitsgrad genügt aber für die hier zu machenden Ableitungen.) Die Dehnungen ε_Z wurden sämtlich auf gleiche Meßlänge $l_0 = 50$ mm bezogen.

Es ist noch zu untersuchen, wie der Kerb bei der Kerbzugprobe auf den Wert σ_B einwirkt. Wegen der durch den Kerb verminderten Dehnung und Querschnittsverminderung wird bei einer bestimmten, oberhalb der Streckgrenze gelegenen Belastung P der Querschnitt f beim gekerbten Stab größer sein als beim nicht gekerbten. Die Folge davon ist, daß $\sigma = \frac{P}{f_0}$ sich um so mehr dem Wert $[\sigma] = \frac{P}{f}$ nähert, je weniger f und f_0 voneinander verschieden sind, also je stärker die Wirkung des Kerbs wird. Das bedeutet mit anderen Worten, daß sich die ε, σ -Linie mit steigender Kerbwirkung immer mehr der $\varepsilon, [\sigma]$ -Linie anschmiegen und zuletzt in diese übergehen müßte, wenn die Einschnürung des Querschnitts gleich Null geworden ist.

Dies war der ursprüngliche Gedankengang derjenigen, die die Einführung der Kerbzugprobe zur Materialprüfung an Stelle der gewöhnlichen Zugprobe empfohlen haben, wie z. B. Barba (L_4 63). Sie nahmen an, daß die Kerbzugprobe ohne weiteres die Spannungen $[\sigma]$ liefern würde, was ohne Zweifel ein Vorzug der Probe wäre. Diese Annahme trifft aber nicht zu, wie die ε, σ -Linien 4 bis 6 in Abb. 382 dartun, die über die $\varepsilon, [\sigma]$ -Linie hinaussteigen.

Während die ε, σ -Linie 1 unter der $\varepsilon, [\sigma]$ -Linie liegt, weil hierbei die Spannungen σ auf einen größeren Querschnitt f_0 statt auf den kleineren f bezogen werden, ist bei den Linien 4 bis 6 das Umgekehrte der Fall; sie liegen zum Teil über der $\varepsilon, [\sigma]$ -Linie, weil hier σ auf einen zu kleinen Querschnitt f bezogen wird. Als Querschnitt f ist in allen Fällen der kleinste Stabquerschnitt bei OO angenommen. Diese Annahme wäre nur zutreffend, wenn tatsächlich nur der zylindrische Teil $\frac{\pi}{4} 15^2 (b - 8)$ in Abb. 385 an der bleibenden Formänderung teilnehmen würde. Sobald aber z. B. bei den in Abb. 386 und 387 gezeichneten Kerben an der bleibenden Formänderung außer dem Querschnitt OO auch noch die benachbarten Teile, z. B. bis nach SS , zur Formänderung mit herangezogen werden, kann als tragender Querschnitt nicht mehr der kleinste in OO gelten, sondern irgendein Querschnitt f_x , dessen Größe zwischen dem Querschnitt f in OO und dem Querschnitt in SS liegt. Die Kerbzugprobe hat also gegenüber der üblichen Ausführung der Zugprobe mit ungekerbten Stäben den Nachteil, daß sie bei starker Kerbwirkung die Spannungen $\sigma, \sigma_S, \sigma_B$ willkürlich auf den kleinsten Querschnitt bezieht, und dadurch um so höhere Werte für die Bruchgrenze liefert, je stärker die Kerbwirkung ist. Hierin liegt eine Gefahr, weil man leicht geneigt ist, anzunehmen, daß infolge des Kerbs die Festigkeit des Materials gewachsen sei, während dieses Wachstum der Festigkeit nur scheinbar ist, weil die Spannungen auf einen willkürlich gewählten, zu kleinen Querschnitt bezogen werden.

Wenn die Annahme der Verfechter der Kerbzugprobe, daß diese Probe die Werte $[\sigma]$ unmittelbar liefere, zuträfe, so müßten auch die Werte $[\sigma]_Z$ sämtlich auf der in Abb. 382 stark angezogenen $[\sigma]$ -Linie liegen. Die betreffenden Werte $[\sigma]_Z = \frac{P_Z}{f_e}$ sind für die verschiedenen Stabnummern durch Kreuze angedeutet.

diesen bei der Bemessung von Maschinen- und sonstigen Bauteilen nicht Rechnung getragen wird, der Sicherheitsgrad der Konstruktion wesentlich herabgedrückt werden kann. Die Kerbwirkung wird nicht nur durch scharf einspringende Kanten hervorgerufen, sondern auch durch Löcher, mögen diese in der Nähe der Oberfläche oder in der Mitte der Teile liegen. Das ist namentlich bei Blechvernietungen zu beherzigen, wo die Nietlöcher eine ganze Reihe von Kerben im Material bilden. Es ist ja auch keine seltene Erscheinung, daß in gerissenen Blechen der Riß von einem Nietloch zum anderen überspringt und sich über eine ganze Nietlochreihe fortsetzt (349). Inwieweit die Ausfüllung des Nietlochs durch den Niet je nach der mehr oder weniger vollkommenen Nietung die Kerbwirkung des Nietloches wieder beseitigt, ist eine wichtige Frage, zu deren Lösung planmäßige Versuche noch nicht ausgeführt sind.

Besonders gefährlich wird der Kerb, wie bereits erwähnt, bei Dauerbeanspruchungen, namentlich bei wechselnden Belastungen. Die starke Steigerung der Spannungen σ_1 am Kerbtiefsten (Abb. 388) vermag Beanspruchungen bis über die ursprüngliche Streckgrenze örtlich herbeizuführen in Fällen, wo die Berechnung der Spannungen ohne Berücksichtigung der Kerbwirkung scheinbar zu Spannungen unterhalb der Streckgrenze führt.

Man wird sich nun auch die Wirkung kleiner Anritzungen und Verletzungen zu erklären vermögen, die in metallischen Stoffen mit starken Reckspannungen zum Aufreißen Veranlassung werden können. Sie sind als Kerbe zu betrachten und liefern örtlich starke Steigerung derjenigen Spannungen, die durch den ungleichen Reckgrad der einzelnen Schichten des Materials bedingt werden (307).

Beachtenswert ist, daß sich ein Stab bei der Zugprobe infolge der Einschnürung selbst einkerbt, denn die Einschnürung ist nichts als ein flacher Kerb.

Ebenso beachtenswert ist, daß bei geschmeidigen Materialien, z. B. bei den oben angeführten Bleiprobe, das Material seine Formänderung so herbeizuführen sucht, daß der Kerb in seinem Grunde stärker abgerundet, die Kerbwirkung also vermindert wird. Materialien, die soviel Geschmeidigkeit besitzen, daß sie diese zur Verminderung der Kerbwirkung erforderliche Formänderung ausführen können, werden verhältnismäßig weniger durch den Kerb in ihrer Widerstandsfähigkeit beeinträchtigt werden, als solche, die wegen geringerer Geschmeidigkeit sich dieser Wirkung nicht zu entziehen vermögen. Diese reißen im Kerbtiefsten ein; der Riß wirkt nun wie ein ganz besonders scharfer Kerb auf starke örtliche Spannungssteigerungen, so daß schließlich der Riß immer weiter schreitet.

2. Kerbbiegeprobe bei verschieden großer Geschwindigkeit der die Biegung bewirkenden Kräfte.

342. Über die Kerbbiegeprobe ist das Wichtigste bereits in I, 387 erwähnt. Die Vorgänge, wie sie beim Blei geschildert wurden (339), spielen sich auch bei anderen Metallen ab. Die Probe wird meist nicht zur Messung von Materialeigenschaften, sondern nur als technologische Probe benutzt, um sich in einfacher Weise einen Überblick über die Geschmeidigkeit des Materials zu verschaffen.

Wie in I, 285 auseinandergesetzt, haben die Fließerscheinungen bei festen Stoffen eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Fließen von Flüssigkeiten; sie gleichen in ihrem Verhalten zähen Flüssigkeiten mit großer innerer Reibung. Wie früher ausgeführt, zeigt Pech bei gewöhnlichen Wärmegraden unter dem Einfluß der Schwerkraft sehr langsames Fließen ganz ähnlich wie eine Flüssigkeit. Sucht man aber durch äußere Kräfte schnellere Formänderung herbeizuführen, so bricht das Pech wie ein spröder Körper ohne wesentliche vorausgehende Formänderung

entzwei. Derselbe Stoff zeigt also verschiedenes Formänderungsvermögen, je nachdem ob die Formänderung rasch oder langsam herbeigeführt wird.

Nach v. Obermayer (L_4 64) ist die innere Reibung annähernd proportional der Formänderungsgeschwindigkeit v (vgl. Ludwik, L_4 60).

Ähnliche Erscheinungen beobachtet man auch bei metallischen Stoffen, wie z. B. beim Zink (I. 287). Bei rascher Streckung sind zur Herbeiführung gleicher Dehnungen größere Spannungen aufzuwenden, als bei langsamerer Streckung. Die Bruchdehnung wird mit steigender Streckgeschwindigkeit immer kleiner.

Tabelle XVII¹⁾. Nach Leon und Ludwik.

| Material | Kerbform | a_D mkg/qcm | a_S mkg/qcm | $\frac{a_S}{a_D}$ |
|-----------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Gußeisen | ungekerbt | 0,269 | 0,703 | 2,6 |
| | Kerb Abb. 391 b | 0,231 | — | — |
| | „ Abb. 391 c | 0,190 | — | — |
| | „ Abb. 391 d | 0,163 | 0,447 | 2,7 |
| | „ Abb. 391 e | 0,122 | 0,427 | 3,5 |
| Flußstahl | ungekerbt | 59,300 | nicht gebr. | — |
| | Kerb Abb. 391 b | 9,980 | — | — |
| | „ Abb. 391 c | 2,300 | — | — |
| | „ Abb. 391 d | 2,960 | 4,393 | 1,5 |
| | „ Abb. 391 e | 1,012 | 1,020 | 1,0 |
| Flußeisen | ungekerbt | 80,500 | nicht gebr. | — |
| | Kerb Abb. 391 b | 14,350 | — | — |
| | „ Abb. 391 c | 5,740 | — | — |
| | „ Abb. 391 d | 4,960 | 6,300 | 1,3 |
| | „ Abb. 391 e | 1,372 | 0,847 | 0,6 |

¹⁾ Die Abmessungen der Proben ergeben sich aus Abb. 390. Der Kerb war immer nur auf der einen Seite, so daß $t_2 = 0$. Ferner war $l_1 = 120$ mm, $l = 160$ mm, $b = d = 30$ mm. Die Schlagproben wurden mittels eines Pendelschlagwerks (345) ausgeführt.

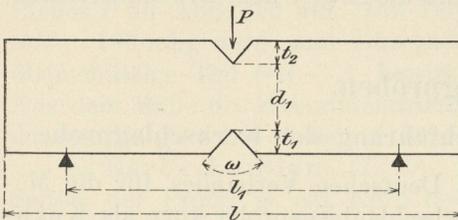


Abb. 390.

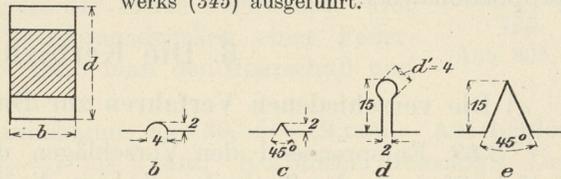


Abb. 391.

Bärgewicht G 20 kg.

Fallhöhe H 1,5 m (größte Fallhöhe)

Arbeit aufgewendet zum Bruch des Stabes A in mkg.

Spezifische Schlagarbeit $a = \frac{A}{b d_1}$ mkg/qcm.

Bei den Druckversuchen wirkte die Druckkraft P auf die in Abb. 390 mit einem Pfeil bezeichneten Stelle. Bei den Schlagversuchen wirkte an derselben Stelle der Schlag.

Wie werden sich nun gekerbte Stäbe eines solchen Stoffes bei der Biegung etwa nach Abb. 367 verhalten, wenn die Geschwindigkeit der Biegung veränderlich gemacht wird, z. B. wenn einmal die Biegung unter langsamer Druckwirkung P , das andere mal mit großer Geschwindigkeit, beispielsweise unter der Einwirkung einer schlagenden Masse, an Stelle von P erfolgt. Bei langsamer Biegung wird das Material am Kerbtiefsten B unter verhältnismäßig geringem Widerstand

örtlich starke Streckung und Querschnittsverminderung ertragen. Der Stab wird erst bei Überschreiten eines bestimmten Maßes dieser Streckung an der Kerbe einreißen und allmählich zu Bruch gehen. Anders kann der Fall liegen, wenn die Formänderung schnell vor sich geht, z. B. unter der Wirkung eines Schlages. Alsdann vermag das Material am Grunde des Kerbs nicht schnell genug zu fließen und wird der Formänderung einen höheren Widerstand entgegensetzen als beim langsamen Fließen. Es kann deshalb bei geringerer örtlicher Streckung einreißen. Der Stab wird unter geringerem Biegewinkel brechen. Die bis zum Bruch aufgewendete Arbeit wird gegenüber der bei langsamem Druck P aufgewendeten Arbeit einerseits dadurch verstärkt, daß der Widerstand gegen die raschere Formveränderung beim Schlagversuch größer wird, andererseits aber dadurch verkleinert, daß der Bruch bei geringerem Grad der Formänderung (geringerem Biegewinkel) eintreten kann.

Wie diese beiden Einflüsse gegeneinander spielen, läßt sich ohne weiteres nicht übersehen. Überwiegt der erstere, so ist die Arbeit beim Schlagversuch größer als beim langsamen Biegeversuch. Überwiegt der zweite Einfluß, so kehrt sich die Sachlage um.

Bei Gußeisen, wo an sich die bleibenden Formänderungen sehr klein sind, ist anzunehmen, daß der zuletzt angegebene Einfluß zurücktritt, daß also die Brucharbeit beim Schlagversuch größer ist, als beim langsamen Biegeversuch. Bei Metallen mit größerer Formänderungsfähigkeit kann der Unterschied weniger ausgeprägt werden, oder es kann sogar das Gegenteil eintreten. Dies hängt natürlich nicht nur von der Geschwindigkeit der Formänderung und der Art des Materials, sondern auch von der Art des Kerbes ab.

Als Beispiel für das eben Gesagte sei auf die Tabelle XVII verwiesen, die von Leon und Ludwik entlehnt ist (L_4 65).

Die bis zum Bruche aufgewendeten Arbeiten sind in der Tabelle, wie es üblich ist, auf die Einheit des Bruchquerschnitts bezogen und als spezifische Arbeiten a bezeichnet (mkg/qcm). Die Werte a_D gelten für den Druck-, die Werte a_S für den Schlagversuch. Durch die Beziehung der Arbeit auf die Einheit der Bruchfläche soll nicht etwa gesagt sein, daß die Arbeit dem Bruchquerschnitt proportional sei.

3. Die Kerbschlagproben.

a) Die verschiedenen Verfahren zur Durchführung der Kerbschlagprobe.

343. Entsprechend den Vorschlägen des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik soll hier die Kerbschlagbiegeprobe kurz als Kerbschlagprobe bezeichnet werden. Für die Durchführung dieser Probe sind im Laufe der Zeit von verschiedenen Forschern zahlreiche Vorschläge gemacht worden. Wenn diese Vorschläge und die dadurch angeregten Versuche Klärung über die Wirkung der einzelnen bei der Kerbschlagprobe wirksamen Einflüsse geschaffen haben, so haben sie doch andererseits wegen ihrer großen Mannigfaltigkeit der allgemeinen Einführung der Kerbschlagprobe hindernd im Wege gestanden, denn die nach verschiedenen Verfahren gewonnenen Zahlenwerte sind nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

Im folgenden soll eine kurze Übersicht über die wichtigsten der zur Verwendung gelangten Verfahren und über ihre Eigentümlichkeiten gegeben werden. Hierbei werden die in Abb. 390 und am Fuß der Tabelle XVII gegebenen Abkürzungen und Bezeichnungen verwendet werden.

Die ältesten Kerbschlagversuche, die unter Messung der zum Bruch aufgewendeten Schlagarbeit erfolgten, scheinen von Tetmajer 1884—85 ausgeführt

worden zu sein. Er prüfte I-Eisen, die auf der Zugseite eingekerbt waren ($L_4 66$). Später (1886) erwähnt Tunner die Kerbschlagprobe ($L_4 67$).

a) Barba ($L_4 68$). Länge der Probestäbe 300 mm. $d = 30$ mm, b = Blechdicke, wenn Bleche zur Prüfung gelangen. Auf der einen Seite des Stabes sind in Abständen von 25 zu 25 mm Kerbe angebracht, wie in Abb. 392. Der Stab wird durch eine Einspannvorrichtung E festgehalten, so daß ein Teil des Stabes von 25 mm Länge frei aus der Einspannung hervorragt. Dieser wird durch einen Schlag an der mit Pfeil ange deuteten Stelle getroffen. Kerbform nach Abb. 392b, Kerbtiefe t wechselnd je nach der Blechdicke. Der Kerb wird vorgehobelt und mit einem genauen Formstahl nachgehobelt. $G = 18$ kg, H veränderlich.

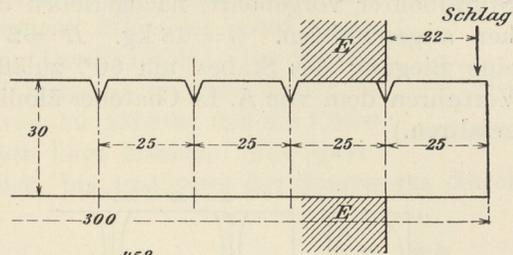


Abb. 392 a.

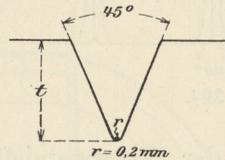


Abb. 392 b.

Man führt hintereinander mehrere Versuche aus, indem man mit einer größeren Fallhöhe H anfängt, die genügt, um ein Stabstück von 25 mm Länge im Kerb bei der Einspannung nach Abb. 392a abzuschlagen. Alsdann spannt man den Stab um, so daß der nächste Stabteil um 25 mm aus der Einspannvorrichtung herausragt, und wiederholt den Versuch mit einer um 0,1 m geringeren Fallhöhe. Man fährt so mit immer weiter stufenweise um 0,1 m abnehmender Fallhöhe fort, bis schließlich bei der Fallhöhe H_n der aus der Einspannvorrichtung herausragende Teil nicht mehr abgeschlagen wird. Die der Fallhöhe H_n vorausgehende Fallhöhe H_{n-1} dient dann als Maß für die Widerstandsfähigkeit des Materials.

b) Frémont ($L_4 69$). Stäbe nach Abb. 390. $l_1 = 20$, $l = 25$, $b = 10$, $d = 8$ mm; $t_2 = 0$, $t_1 = 1$ mm. $G = 25$ kg, $H = 4$ m. Der Kerb wird durch Sägeschnitt nach Abb. 393 erzielt. Ein Bär fällt auf die Probe an der Stelle des Pfeiles P in Abb. 390 auf. Ein Teil A der lebendigen Kraft des Bären $GH = 100$ mkg wird zum Durchschlagen der Probe verwendet. Der überschüssige Teil $GH - A$ bewirkt Zusammendrücken einer Feder. Aus dem Maße des Zusammendrückens kann man den Überschuß und daraus die gesuchte Arbeit A berechnen.

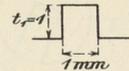


Abb. 393.

c) Barba-Le Blant ($L_4 70$). l unbekannt, $b = 30$, $d = 12$ mm. Auf beiden Seiten der Probe je ein Kerb $t_1 = t_2 = 1$ bis 2 mm. Kerbform dreieckig. Der Kerb wird mit einem Hobelstahl vorgearbeitet und mit einem scharfen Messer aus gehärtetem Stahl nachgearbeitet, das mit einer Presse etwa $\frac{1}{2}$ mm tief in den Kerb eingedrückt wird. Der Stab wird einseitig nach Abb. 392a eingespannt, so daß die Entfernung der Angriffslinie des Schlages bis zur Kerbmittellinie 35 mm wird. $G = 25$ kg, H kleiner als 1 m. Die Ermittlung von A erfolgt ähnlich wie unter b), nur wird die überschüssige Arbeit nicht durch Zusammendrücken der Feder, sondern aus der Höhe H' gemessen, bis zu welcher der auf die Feder aufprallende Bär wieder zurückspringt.

d) Vanderheyem ($L_4 71$). Die in Abständen von 30 mm angebrachten Kerbe gehen ringsherum um die quadratischen Stäbe von 20×20 mm Seitenlänge des Querschnitts. Der Kerb wird auf der Drehbank dadurch erzeugt, daß mittels eines Formstahl so tief eingedreht wird, daß nur noch ein kreisförmiger Querschnitt von 16 mm Durchmesser im Kerbtiefsten übrigbleibt. Der Probestab wird ähnlich wie in Abb. 392a einseitig eingespannt, so daß die Entfernung der Angriffslinie des Schlages bis zur Kerbmittellinie 20 mm beträgt. $G = 25$ kg. Die

Bemessung der Widerstandsfähigkeit des Materials geschieht in derselben Weise wie bei Barba, s. unter a). Kerbform s. Abb. 394.

e) Charpy (L_4 72 und 73). $l_1 = 120$, $b = d = 30$ mm oder 20 mm. Für Bleche ist $b =$ Blechdicke. Kerb nach Abb. 395. $t_2 = 0$, $t_1 = d/2 = d_1$. Loch mit Spiralbohrer vorgebohrt, nachgerieben und dann mittels Sägeschnittes von außen her angeschnitten. $G = 18$ kg. $H = 2$ m. Der Bär wird so gestaltet, daß er eine Biegung des Stabes um 60° zuläßt. (Nach Angabe von Charpy soll sein Verfahren dem von A. Le Chatelier ähnlich sein; ich konnte über die Quelle nichts erfahren.)

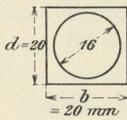


Abb. 394.

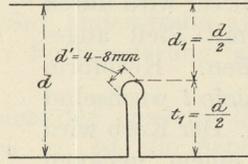
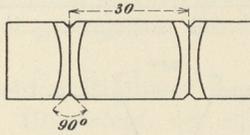


Abb. 395.

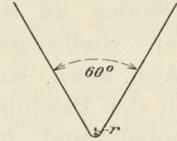


Abb. 396.

Zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber der Kerbschlagprobe schlägt Charpy folgende beiden Verfahren vor:

a) Man erteilt dem Stab eine Reihe von Schlägen mit unveränderlichem H und stellt die Anzahl der Schläge, die bis zum Bruch erforderlich sind, ebenso den Winkel, unter dem der Bruch erfolgte, dadurch fest, daß man die gebrochenen Stücke wieder aneinander zu passen sucht. Wenn, was nach Charpy selten der Fall sein soll, der Bruch bei einem Biegewinkel von 60° noch nicht eingetreten ist, so biegt man den Stab vollends unter der Presse oder unter dem Hammer zusammen und mißt den Biegewinkel bis zum Bruch.

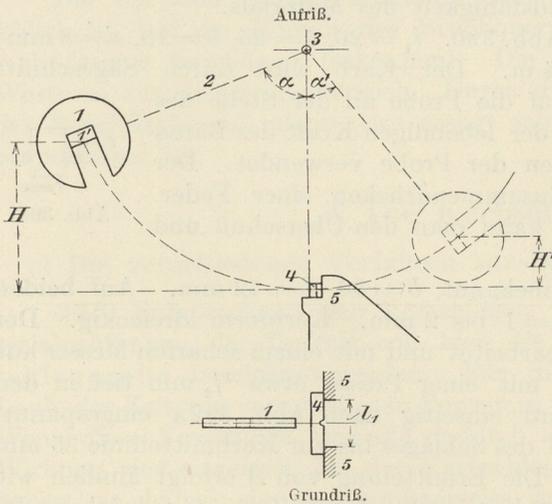


Abb. 397.

b) Man mißt die zum Bruch des Stabes aufgebrauchte Arbeit A . Hierzu dient ein Pendelschlagwerk, wie es in Abb. 397 schematisch dargestellt ist. Der gekerbte Stab 4 lehnt sich gegen ein Auflager 5. Der Pendelkörper 1 ist an einer Stange 2 mit möglichst kleiner Masse aufgehängt und schwingt um ein Lager 3 mit möglichst wenig Reibung. Er trifft aus einer Höhe H gegen die Probe 4, zerschlägt diese und schwingt wegen seiner überschüssigen lebendigen Kraft um einen bestimmten Winkel α' über die Gleichgewichtslage entsprechend einer Steighöhe H' hinaus. Die zum Zerschlagen des Stabes verwendete Arbeit A ist dann

$$A = G (H - H').$$

Der Schneideneinsatz des Pendelkörpers 1' ist nach Abb. 396 geformt.

Die lebendige Kraft des Schlages muß so bemessen sein, daß der Stab mit einem einzigen Schlag bricht.

f) Guillery (L_4 74). Probenform und -beanspruchung nach Abb. 390. $l = 60$, $l_1 = 40$, $b = d = 10$ mm. Kerb nach Abb. 398. $t_1 = 2$ mm, $t_2 = 0$. Das Schlagwerk besteht aus einem stählernen Schlagrad B (s. Abb. 399), dem soge-

genannten Hammerrad, an dem bei *A* eine Hammernase befestigt ist, die den Schlag auf die Probe überträgt. *C* ist das Gestell der Maschine. Das Schlagrad wird von Hand oder maschinell auf eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit gebracht, so daß die in der Radmasse aufgespeicherte Arbeit größer ist als die zum Durchbrechen der Probe erforderliche, und ferner, daß die Aufschlaggeschwindigkeit der Hammernase etwa der eines freien Falles aus 4 m Höhe entspricht (8,8 m/sek). Der Probestab *J* ist mittels Klemmen auf dem beweglichen Amboß *H* festgemacht. Eine Feder bestrebt, den Amboß dem Schlagrade so weit zu nähern, daß die Probe in die zur Aufnahme des Schlages geeignete Lage kommt. Ein Sperrwerk hält aber den Amboß so lange zurück, bis Auslösung des Sperrwerks durch den Hebel *G* erfolgt.

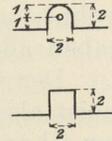


Abb. 398.

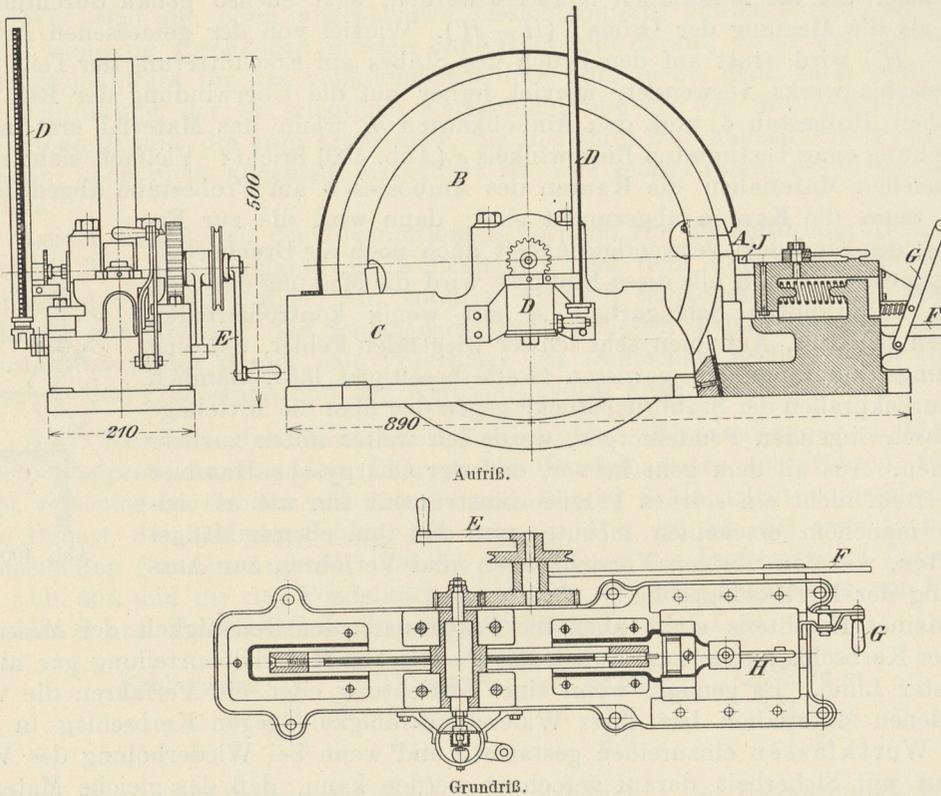


Abb. 399. Schlagwerk nach Guillery.

Zur Messung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Hammerrades dient eine kleine Zentrifugalpumpe, die Wasser in das senkrechte Steigrohr *D* preßt. Die Steighöhe gibt die Umdrehungsgeschwindigkeit an. Man liest vor und nach dem Schlag die Steighöhe ab; der Unterschied in der lebendigen Kraft ergibt die zum Bruch der Probe aufgebrauchte Arbeit.

Die Geschwindigkeit des Rades wird vor dem Versuch auf eine Anfangsenergie von 60 mkg eingestellt. Einer Auftreffgeschwindigkeit der Hammernase von 8,8 m/sek entspricht eine Umdrehungszahl von 293 Umdrehungen in der Minute. g) Heyn (*L*₄ 39 und 40). Beschreibung s. 317.

344. Es muß betont werden, daß die verschiedenen Verfahren der Kerbschlagprobe je nach Art der gewählten Abmessungen der Probe und des Kerbes und nach den als Maßstab für die Bewertung des Materials gewählten Größen

im allgemeinen durchaus verschiedene Zahlenwerte liefern, die untereinander nicht ohne weiteres vergleichbar sind.

Es würde sehr schwer sein, auf Grund kritischer Betrachtungen zur Auswahl eines Verfahrens der Kerbschlagprobe zu gelangen, das vom wissenschaftlich-technischen Standpunkte aus ohne weiteres den Vorzug verdiente; die Verfahren haben alle nach bestimmten Richtungen hin ihre Vor- und Nachteile.

Der Charpysche Pendelhammer erscheint bei wenig eingehender Beurteilung meist als die vollkommenste Vorrichtung. In der Tat ist die Art der Messung der überschüssigen Arbeit ohne Zweifel mit großer Genauigkeit durchführbar. Wichtig ist aber die Frage, ob denn der gemessene Unterschied $G(H - H')$ auch tatsächlich ohne weiteres die zum Bruch des Stabes geleistete Arbeit A darstellt, und ob die Messung dieser Arbeit, die doch das Ziel der Kerbschlagprobe ist, und nach der die Materialien bewertet werden, sich ebenso genau durchführen läßt, als die Messung der Größe $G(H - H')$. Wieviel von der gemessenen Arbeit $G(H - H')$ wird statt auf den Bruch des Stabes auf Erschütterung der Teile des Pendelschlagwerks verwendet, wieviel ferner auf die Überwindung der Reibung zwischen Probestab 4 und den Amboßkanten 5, wenn das Material erst nach Erreichung eines bestimmten Biegewinkels α (Abb. 400) bricht? Vielfach sieht man bei weichen Materialien die Kanten des Ambosses 5 am Probestabe abgedrückt, auch wenn die Kanten abgerundet sind; dann wird die zur Erzielung des Eindrucks verwendete Arbeit auch noch als Brucharbeit mit gemessen. Durch alle diese Einflüsse wird die Messung der zum Bruch aufgewandten Schlagarbeit A mit wenig kontrollierbaren Fehlern behaftet. Auf einen sehr schwer wiegenden Fehler, der sich allerdings bis zu einem gewissen Grade beseitigen läßt, nämlich das Zurückprallen der Stabbruchstücke gegen den über die Mittellage hinaus-schwingenden Pendelkörper, werde ich weiter unten zurückkommen. Aus all dem geht hervor, daß der Charpysche Hammer bei weitem nicht ein solches Präzisionsinstrument ist, wie es vielleicht manchem erscheinen möchte, und daß ihm ebenso Mängel anhaften, wie den übrigen Vorrichtungen und Verfahren zur Ausführung der Kerbschlagprobe.

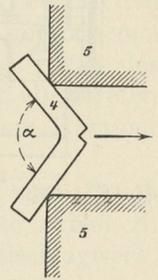


Abb. 400.

Meines Erachtens steht aber die Frage nach der Genauigkeit der Messung bei der Kerbschlagprobe zum Zweck der praktischen Materialbeurteilung gar nicht in erster Linie. Es genügt, wenn eine Vorrichtung oder ein Verfahren die verschiedenen Materialien bez. ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Kerbschlag in gewisse Wertklassen einzureihen gestattet, und wenn bei Wiederholung des Verfahrens mit Sicherheit darauf gerechnet werden kann, daß das gleiche Material wieder in die gleiche Wertklasse eingereiht wird. Welches praktische Bedürfnis besteht dafür, die Grenzen dieser Wertklassen so eng zu ziehen, daß zur Ermittlung der Zugehörigkeit zu den einzelnen Klassen Präzisionseinrichtungen erforderlich werden? Ich betrachte überhaupt die Kerbschlagprobe mehr als eine technologische Probe; denn schließlich gibt eine auf drei Dezimalen berechnete Zahl für die Schlagarbeit dem Konstrukteur nichts an die Hand, was er ohne weiteres verwenden könnte, etwa wie die Angabe der S - oder B -Grenze, und zwar auch dann nicht, wenn es tatsächlich gelingen sollte, diese Arbeit mit großer Genauigkeit zu ermitteln. Die gefundene Zahl der Schlagarbeit hat weiter keinen Wert, als den einer Reihenziffer, nach der man die verschiedenen Materialien in eine Reihe mit steigenden Widerständen gegen Kerbschlag einordnet. Der Bedingung, solche Wertziffern für die Zwecke der wissenschaftlichen Forschung und der Praxis anzugeben, genügen aber sämtliche im vorigen Absatz unter a bis g genannten Verfahren ebensogut, wie der Charpysche Pendelhammer; einige zeigen

noch überdies den Vorteil großer Billigkeit und der Verwendbarkeit an jedem beliebigen Ort.

Der Kernpunkt für die praktische Verwendung der Kerbschlagprobe bleibt, daß die einmal aufgestellten Wertklassen für die Einreihung der einzelnen Materialien allerorts, oder wenigstens innerhalb eines größeren Kreises von Interessenten, die gleichen sind, und das Material mit Sicherheit an verschiedenen Stellen als in dieselbe Klasse gehörig befunden wird. Um diese wesentliche Bedingung zu erfüllen, bleibt nichts anderes übrig, als mit einer einzigen Vorrichtung und einem einzigen Prüfungsverfahren zu arbeiten, also eine Einigung auf eine Norm herbeizuführen. Dies ist z. B. durch den Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik geschehen, der sich für den Pendelhammer von Charpy und das Meßverfahren e, β entschieden hat.

Wer sich die oben angegebenen Gesichtspunkte gewärtig hält, wird sich dieser Einigung anschließen müssen ohne Rücksicht darauf, ob er das Charpysche Pendelschlagwerk für das vollkommenste hält oder nicht, denn sonst geht es mit der Einführung der so wichtigen Kerbschlagprobe so wie mit der Einführung der Stenographie, die zum Ärger aller, die mit ihrer Zeit haushälterisch umgehen müssen, noch nicht allgemein eingeführt ist, weil jedes System besser ist als das andere.

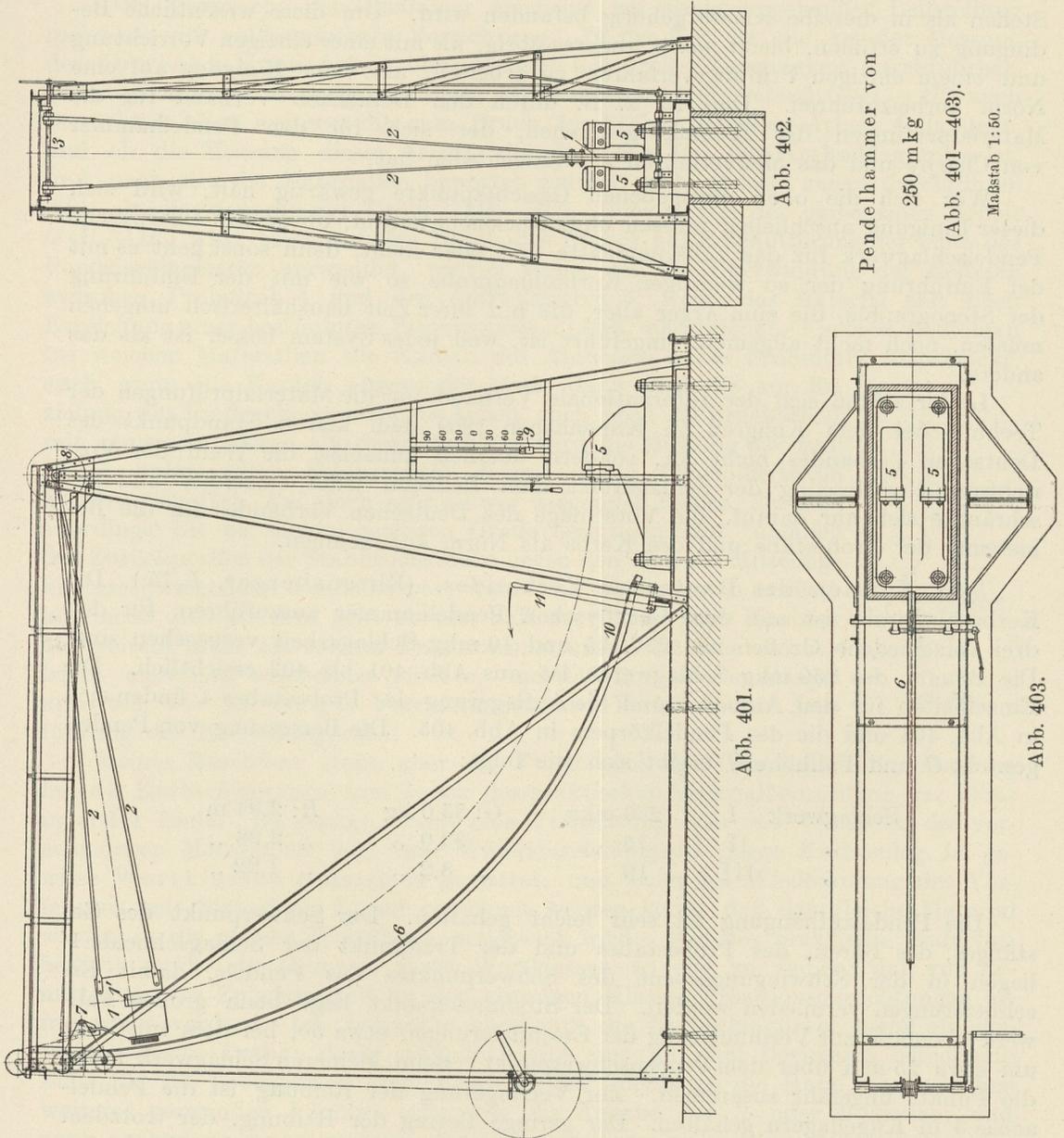
Leider schloß sich der Internationale Verband für die Materialprüfungen der Technik bei dem Kongreß in Kopenhagen 1909 dem klaren Standpunkt des Deutschen Verbandes nicht an, sondern überließ zunächst die Wahl der Vorrichtung zur Messung der Schlagarbeit dem Belieben jedes einzelnen und beschränkte sich nur darauf, die Vorschläge des Deutschen Verbandes für die Bemessung der Probestäbe und des Kerbs als Norm anzunehmen.

345. Normen des Deutschen Verbandes. (Ehrensberger, L_4 75.) Die Kerbschlagprobe ist mit dem Charpyschen Pendelhammer auszuführen, für den drei verschiedene Größen mit 250, 75 und 10 mkg Schlagarbeit vorgesehen sind. Die Bauart des 250 mkg Schlagwerks ist aus Abb. 401 bis 403 ersichtlich. Die Einzelheiten für den Amboß 5 und die Auflagerung des Probestabes 4 finden sich in Abb. 404 und die des Pendelkörpers in Abb. 405. Die Bemessung von Pendelgewicht G und Fallhöhe H ergibt sich wie folgt:

| | | | | |
|------------|-----|---------|---------------|--------------|
| Schlagwerk | I | 250 mkg | G : 85,0 kg | H : 2,94 m |
| „ | II | 75 „ | „ 33,0 „ | „ 2,28 „ |
| „ | III | 10 „ | „ 8,2 „ | „ 1,22 „ |

Die Pendelaufhängung ist sehr leicht gehalten. Der Schwerpunkt des Gestänges, des Bären, des Probestabes und der Treffpunkt der Schlagschneide 1' liegen in der Schwingungsebene des Schwerpunktes des Pendels, damit Erschütterungen vermieden werden. Der Stoßmittelpunkt liegt beim großen Schlagwerk ebenfalls zur Verminderung der Erschütterungen etwa 50, bei dem mittleren um etwa 25 mm über dem Probenschwerpunkt. Beim kleineren Schlagwerk fallen die Punkte ungefähr zusammen. Zur Verringerung der Reibung ist die Pendelachse 3 in Kugellagern gehalten. Der geringe Betrag der Reibung, der trotzdem übrigbleibt, läßt sich durch einen blinden Versuch abschätzen und in Rechnung ziehen. Der Bär wird mittels einer Handwinde hochgehoben und durch die längs des Kreisbogens 6 rollende Auslösevorrichtung 7 in irgendeiner Höhe H festgehalten. Diese Höhe braucht nicht notwendigerweise immer dieselbe zu sein, sie muß nur genügend groß sein, daß der Stab mit einem Schlag zerbrochen wird. Nach Versuchen von Ehrensberger spielt es für den Ausfall der Probe keine Rolle, ob die Geschwindigkeit des Pendels im Aufschlag einer Fallhöhe von

1 oder 4 m entspricht. Erst wenn über diese Grenze der Fallhöhe wesentlich hinausgegangen wird, muß mit Änderungen im Ausfall des Ergebnisses infolge der zu großen Geschwindigkeit des Bären gerechnet werden. Zur Bemessung der Höhe H' des ausschlagenden Bären ist an der Achse 3 des Pendels eine Scheibe 8 angebracht, um die ein dünner Draht geschlungen ist, der an seinem unteren



Pendelhammer von

250 mk g

(Abb. 401—403).

Maßstab 1:50.

Ende ein kleines Gewicht 9 zur Spannung trägt. Das Gewicht bewegt sich in Führungen. Bei hochgezogenem Pendel ist das Gewicht in seiner tiefsten Stellung. In der Führung verschiebbar und durch eine leichte Feder nur so stark ange-drückt, daß er durch Reibung in jeder Lage festgehalten wird, befindet sich ein mit Zeiger versehener Schieber. Wenn das Pendel herunterschwingt, so hebt sich das Gewicht 9 und nimmt den Schieber mit. In dem Augenblick, in dem

das Pendel seinen tiefsten Stand erreicht hat und den Probestab trifft, steht der Zeiger des Schiebers auf dem Nullpunkt der an der Führung angebrachten Skala. Wenn das Pendel über die Mittellage hinaus-schwingt, so wird auch der Zeiger mit in die Höhe gehoben und bleibt in der höchsten Lage auf der Skala stehen, wodurch die Höhe H' festgestellt wird. Um das Fortschwingen des Pendels nach Beendigung des Versuchs ab-zubremsen, wird ein gerauhtes Winkeleisen 10 durch

die Hebelvorrichtung 11 gehoben und gegen die unter dem Bären angebrachte Bürste gedrückt.

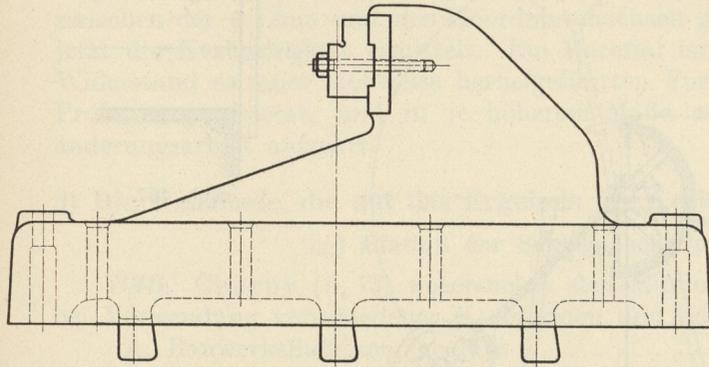


Abb. 404a.

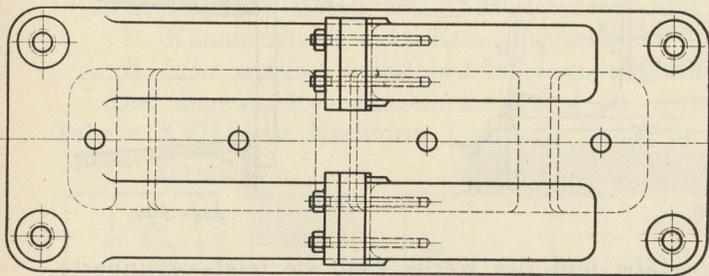


Abb. 404b.

Amboß des 250 mkg-Pendelhammers.
Maßstab 1:15.

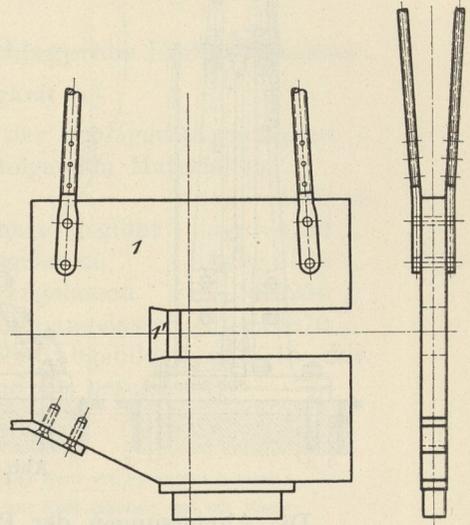


Abb. 405. Pendelkörper
des 250 mkg-Pendelhammers.
Maßstab 1:12,5.

Das kleine Schlagwerk III ist in Abb. 406 dargestellt. Hier wird die Höhe H' durch einen Schleppzeiger 13 auf einer Skala 14 angezeigt.

Als Mangel der Bauart hat sich vor allen Dingen herausgestellt, daß die Öffnung des Amboßes 5, durch die die Bruchstücke des Probestabes und der Bär hindurchmüssen, zu eng gewählt worden ist. Statt die Öffnung nach Abb. 404b und Abb. 407 zu gestalten, ist die Bauart nach Abb. 408 erforderlich. Es mußte deswegen bei den im Königl. Materialprüfungsamt befindlichen Schlagwerken von 75 und 10 mkg der Gußeisenamboß nach Abb. 408 herausgearbeitet werden. Bevor diese Änderung angebracht war, schlugen die Bruchstücke der Proben gegen die Wandungen der Amboßöffnungen 5, wurden gegen den weiterschwingenden Bären zurückgeworfen und klemmten sich zwischen Bär und Amboß. Sie vernichteten auf diese Weise Schlagarbeit und ließen die Höhe H' geringer, die Schlagarbeit A größer erscheinen. Die Spuren des nochmaligen Stoßes ließen sich sowohl am Bären, wie auch an den Proben beobachten. Die geschilderte Einwirkung ist nicht etwa nur vereinzelt, sondern ist derartig schwerwiegend, daß von Übereinstimmung der Versuchsergebnisse in einer Reihe von Probestäben desselben Materials nicht geredet werden konnte. Schlagarbeiten im Verhältnis 1:2 bei gleichem Material waren nichts Seltenes. Die Änderung nach Abb. 408 hat den Übelstand behoben. Zweckmäßig wäre es aber, wenn die Durchgangsöffnung am Amboß gleich von vornherein genügend weit gestaltet würde.

Die Schlagschneide 1' des Bären soll nach dem Beschluß des Deutschen Verbandes f. d. Materialpr. d. Techn. 9. Okt. 1910 einen Winkel von 45° und vorn eine Abrundung von 2 mm haben (vgl. Abb. 396). Die Abrundung der Amboßkanten (Abb. 408) soll 5 mm betragen.

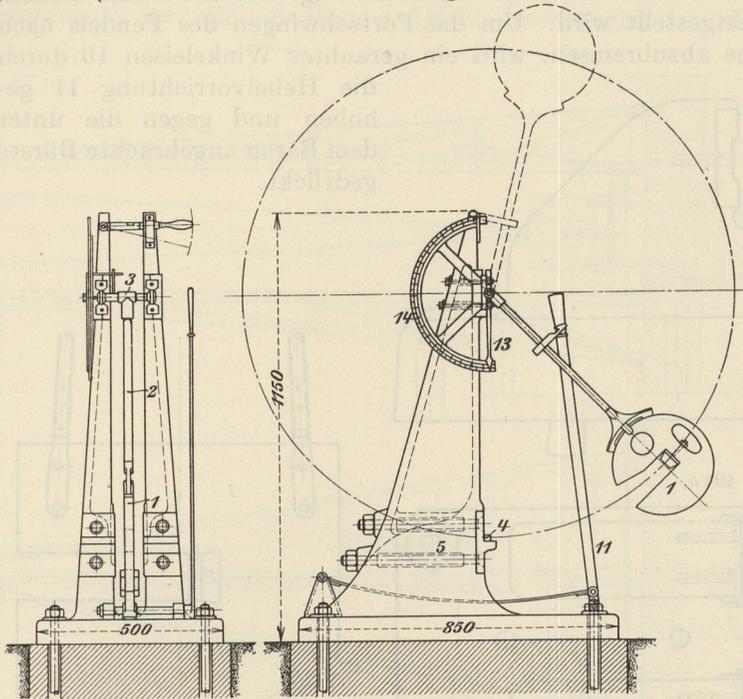


Abb. 406.

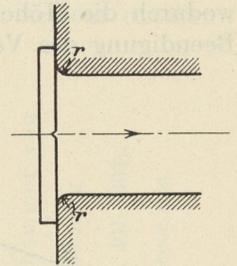


Abb. 407.

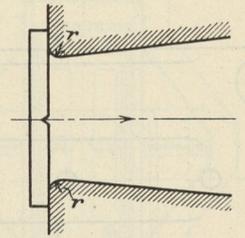


Abb. 408.

Die Abmessungen der Probestäbe und des Kerbs sind wie folgt vereinbart: $l = 160$, $l_1 = 120$ für Schlagwerk I und II, 70 für Schlagwerk III. Querschnitt des Probestabes $b \times d = 30 \times 30$. (Sämtliche Maße in Millimetern.) Kerb nach Abb. 395. Durchmesser der Bohrung $d' = 4$ mm. Für Bleche wird $b =$ Dicke des Bleches, d bleibt 30 mm. Der Schlag hat immer parallel der Blechebene zu erfolgen. Zur Prüfung sind Längs- und Querproben heranzuziehen.

Die Proben für das Pendelschlagwerk III sollen eine Länge $l = 100$ und 8 bis 10 mm Dicke haben. Sie erhalten einen scharfen Kerb von $t = 2$ mm bei einem Winkel $\omega = 45^\circ$. Besondere Normalien sind für diese Proben nicht aufgestellt, da der kleine Hammer vorwiegend für Laboratoriumsversuche gedacht ist. Der Internationale Verband f. d. Materialpr. d. Techn. hat als Norm für die kleinen Proben dieselbe Kerbform wie in Abb. 395 vorgeschlagen, mit einem Lochdurchmesser $d' = \frac{2}{3}$ mm, $d = b = 10$ mm und $d_1 = 5$ mm.

Die zur Kerbschlagprobe zu verwendenden Proben sind kalt auszuschneiden und dürfen nachträglich nicht erwärmt werden. Die Versuchstemperatur ist anzugeben. In der Regel sind die Proben bei 15 bis 20 C° vorzunehmen. Dies ist wichtig, weil durch die Temperaturverschiedenheit ganz wesentliche Unterschiede in die Ergebnisse gebracht werden können (320 und II B).

Als Versuchsergebnis ist die „spezifische Schlagarbeit“ a anzugeben

$$a = \frac{A}{f_1} = \frac{A}{b d_1} \text{ mkg/qcm.}$$

(Vgl. Abb. 390 und 395.)

Hierin ist A die Schlagarbeit $G(H - H')$ und f_1 der Querschnitt des Stabes in der Kerbebene.

Die bei der Probe gemessene Eigenschaft des Materials soll als „Kerbzähigkeit“ bezeichnet werden. Dies entspricht der früher in I, 360 gegebenen Begriffsbestimmung der „Zähigkeit“. Als zähe wurden solche Materialien bezeichnet, die der bleibenden Formänderung möglichst großen Widerstand entgegenzusetzen, aber nach Überwindung dieses Widerstandes möglichst weitgehende Formänderung anzunehmen imstande sind. Das kommt mit anderen Worten auf möglichst große Widerstandsarbeit hinaus, wie sie im ϵ, σ -Bild durch die Fläche zwischen der σ -Linie und den Koordinatenachsen gemessen wird. Ergänzend wird jetzt die Kerbzähigkeit ermittelt. Ein Material ist um so kerbzäher, je größeren Widerstand es einer stoßweise herbeigeführten Formänderung in einer gekerbten Probe entgegensetzt, und in je höherem Maße es die Stoßarbeit durch Formänderungsarbeit aufzehrt.

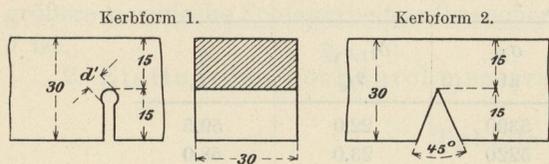
β) Die Umstände, die auf das Ergebnis der Kerbschlagprobe Einfluß ausüben.

αα) Einfluß der Schlaggeschwindigkeit (v).

346. Charpy ($L_4 73$) untersuchte den Einfluß der Schlaggeschwindigkeit v bei Verwendung verschiedener Kerbformen und der folgenden Materialien:

- A. Bauwerksflußeisen, gegläht $\sigma_B = 4150$ at
- B. Flußeisen für Achsen und Radreifen, mittelhart, gegläht $\sigma_B = 4720$ „
- C. Dasselbe Metall wie B, abgeschreckt und angelassen $\sigma_B = 5140$ „
- D. Kanonenstahl, mittelhart, abgeschreckt und angelassen $\sigma_B = 6250$ „
- E. Sehr weiches Kesselblechflußeisen, abgeschr. und angelassen $\sigma_B = 3870$ „

Die angewandten Kerbformen sind in Abb. 409 abgebildet und in der Tabelle XVIII mit Kerbform 1 und Kerbform 2a und 2b bezeichnet.



Kerbform 2a: Kerb mit Formstahl gehobelt.
 Kerbform 2b: Kerb gehobelt und mit Messer nachgedrückt (Barba-Le Blant).

Abb. 409.

Tabelle XVIII. Nach Charpy.

| Kerbform | d' mm | v m/sek | a spezifische Schlagarbeit mkg/qcm | | | | |
|----------|------------|--------------------|--------------------------------------|------|------|------------|------------|
| | | | Material | | | | |
| | | | A | B | C | D | E |
| 1 | 8 | 7,75 | 15,2 | 17,8 | 28,8 | 16,6 | 44,5 |
| | | 6,63 | — | — | — | 16,9; 14,6 | — |
| | | 4,65 | — | — | — | 17,4; 17,4 | — |
| | | 0,00 ¹⁾ | 15,3; 18,2 | — | — | 17,9; 15,6 | 40,0; 39,0 |
| 1 | 4 | 7,75 | — | 12,7 | 24,5 | — | — |
| | | 6,63 | — | 12,2 | 26,1 | — | — |
| | | 4,65 | — | 13,2 | 23,7 | — | — |
| | | 0,00 ¹⁾ | — | 11,5 | 27,5 | — | — |
| 1 | 3 | 7,75 | 2,95 | 10,9 | 18,2 | — | 42,3 |
| | | 6,63 | — | — | — | — | — |
| | | 4,65 | — | — | — | — | — |
| | | 0,00 ¹⁾ | 11,5; 8,1 | — | — | 8,2; 7,7 | 27,8; 24,0 |
| 2a | — | 7,75 | 1,7 | — | — | — | 41,8 |
| | | 0,00 ¹⁾ | 2,7; 3,4 | — | — | 3,6; 6,2 | 21,7; 23,0 |
| 2b | — | 7,75 | — | 1,7 | 5,8 | — | — |
| | | 4,65 | — | 1,8 | 6,0 | — | — |
| | | 0,00 ¹⁾ | — | 3,4 | 12,7 | 4,2 | — |

¹⁾ Langsamer Biegeversuch, v sehr klein.

Aus Tabelle XVIII kann entnommen werden:

1. daß die Veränderung der Schlaggeschwindigkeit v in den Grenzen $v = 4,65$ bis $7,75$ m/sek unter sonst gleichen Verhältnissen keine wesentliche Änderung der spezifischen Schlagarbeit bedingt¹⁾;

2. daß die Abnahme der Schlaggeschwindigkeit v bis auf den geringen Betrag beim statischen Biegeversuch in manchen Fällen keine wesentliche, in anderen Fällen erhebliche Änderung der Schlagarbeit ergibt (vgl. auch 340, Tabelle XVII). Namentlich macht sich die Abweichung beim Rundkerb mit kleinem Halbmesser d' und beim spitzen Kerb geltend.

ββ) Einfluß der Stab- und Kerbabmessungen.

347. Die bei den folgenden Untersuchungen Ehrensbergers und Charpys (L_4 75, 73) in Frage kommenden Materialien sind hierunter zusammengestellt:

| | | |
|--|---------------------|----------------------------|
| F. Kesselblechflußeisen, 15 mm dick | } | Charpy ²⁾ |
| G. Besonders weiches Kesselblechflußeisen, 16 mm dick | | |
| H. Kohlenstoffstahl, geschmiedet auf $s \times s$ mm, dann geglüht. $s = 80$ und 40 mm | } | Ehrensberger ³⁾ |
| J. Nickelstahl (6% Nickel), geschmiedet auf $s \times s$ mm, dann geglüht. $s = 80$ und 40 mm | | |
| K. Flußeisen | | |
| L. Kohlenstoffstahl | M. Nickelstahl | |
| | N. Nickelchromstahl | |

Tabelle XIX.

| Material | σ_S at | σ_B at | $\delta_{11,3\sqrt{f}}$ % | q % |
|----------|------------------|------------------|------------------------------|----------|
| H 80 | 3210 | 5390 | 22,0 | 59,5 |
| H 40 | 2830 | 5220 | 23,0 | 58,0 |
| J 80 | 5760 | 7950 | 18,3 | 60,0 |
| J 40 | 5660 | 7780 | 21,2 | 62,0 |
| K | 2450 | 3920 | 32,2 | 70,0 |
| L | 2840 | 5380 | 25,4 | 64,7 |
| M | 4300 | 5960 | 26,4 | 72,0 |
| N | 6700 | 8450 | 15,5 | 66,0 |

1. Einfluß von b bei gleichbleibender Kerbform und gleichbleibenden sonstigen Abmessungen. (S. Tabelle XX.)

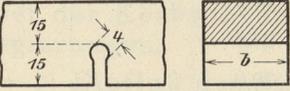
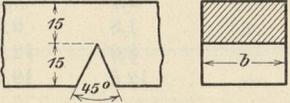
Tabelle XX lehrt, daß zwischen dem Querschnitt des Stabes in der Kerbebene (kurz Kerbquerschnitt genannt) und der Schlagarbeit keine Proportionalität besteht. Wenn also die Schlagarbeit auf die Einheit des Kerbquerschnitts bezogen wird (spezifische Schlagarbeit), so beruht dies auf einer Abmachung, nicht auf einem Naturgesetz. Bei der Beurteilung des Materials nach dieser sogenannten spezifischen Schlagarbeit muß dies im Auge behalten werden.

¹⁾ Zu bemerken ist, daß man sich davor hüten muß, aus den Kerbschlagversuchen mit Geschwindigkeiten bis etwa 8 m/sek auf das Verhalten der Materialien bei wesentlich größeren Geschwindigkeiten, z. B. bei der Geschwindigkeit von auftreffenden Geschossen, zu schließen. Das obengenannte Gesetz hat nur beschränkte Gültigkeit.

²⁾ Schlagwerk 180 mkg.

³⁾ Schlagwerk 190 mkg.

Tabelle XX.

| Kerbform | b mm | a spezifische Schlagarbeit mkg/qcm | | | |
|---|---------|------------------------------------|------|------|------|
| | | Material | | | |
| | | K | L | M | N |
|  | 30 | 33,6 | 18,0 | 41,0 | 26,2 |
| | 20 | 37,5 | 21,2 | 45,4 | 29,1 |
| | 10 | 38,2 | 25,8 | 49,7 | 36,8 |
|  | 30 | 9,1 | 4,9 | 32,6 | 17,9 |
| | 20 | 17,8 | 6,3 | 40,6 | 19,7 |
| | 10 | 41,1 | 11,4 | 44,0 | 26,1 |

Die Zahlen der Tabelle lehren, daß mit abnehmendem b unter sonst gleichen Verhältnissen die spezifische Schlagarbeit a wächst. Dies erkläre ich in folgender Weise: Im Grunde des Kerbs sucht sich das Material parallel zur Stabachse zu strecken. Die hierzu erforderliche Querschnittsverminderung ist in der Richtung des Pfeils 2 in Abb. 410 durch die Kerbwirkung erschwert; sie muß sich daher vorwiegend in der Richtung des Pfeils 3 von den nicht gekerbten Flächen her vollziehen. Dies ist um so leichter möglich, je kleiner b ist. Der Stab wird folglich um so größere Formänderung vor dem Bruch zulassen und um so größere spezifische Schlagarbeit aufbrauchen, je kleiner b ist.

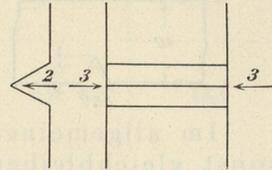
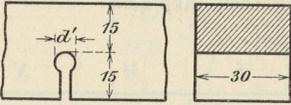
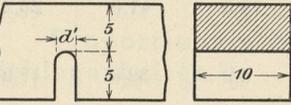
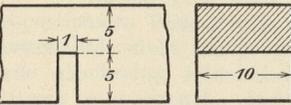


Abb. 410.

2. Einfluß des Lochdurchmessers d' beim Rundkerb. (S. Tabelle XXI.)

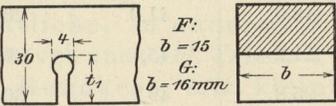
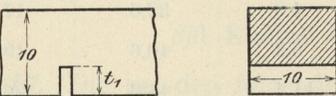
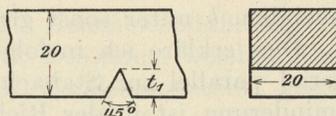
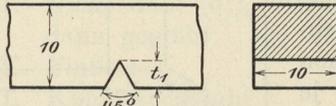
Tabelle XXI.

| Kerbform | d' mm | a spezifische Schlagarbeit mkg/qcm | | | | | | | | |
|--|------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| | | Material | | | | | | | | |
| | | K | L | N | A | B | C | E | H | J |
|  | 8 | — | — | — | 15,2 | 17,8 | 28,8 | 44,5 | — | — |
| | 6 | 38,1 | 22,2 | 29,7 | — | — | — | — | — | — |
| | 4 | 33,6 | 18,0 | 26,2 | — | 12,7 | 24,5 | — | — | — |
| | 3 | — | — | — | 2,95 | 10,9 | 18,2 | 42,3 | — | — |
|  | 6 | — | — | — | — | — | — | — | 8,9 | 13,85 |
| | 5 | — | — | — | — | — | — | — | 8,2 | 13,7 |
| | 4 | — | — | — | — | — | — | — | 6,9 | 12 |
| | 3 | — | — | — | — | — | — | — | 5,1 | 9,9 |
|  | | — | — | — | — | — | — | — | 3,1 | 7,8 |

Die Verminderung des Abrundungsdurchmessers d' bewirkt unter sonst gleichbleibenden Umständen Verminderung der spezifischen Schlagarbeit.

3) Einfluß der Kerbtiefe t_1 (s. Tabelle XXII).

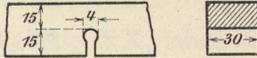
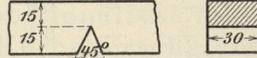
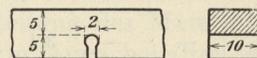
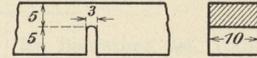
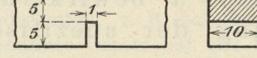
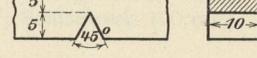
Tabelle XXII.

| Kerbform | t_1 mm | a spezifische Schlagarbeit mkg/qcm | | | |
|---|-------------|--------------------------------------|------|--------|--------|
| | | Material | | | |
| | | F | G | H | J |
|  | 15 | 16,4 | 29,3 | — | — |
| | 10 | 15,2 | 26,6 | — | — |
| | 5 | 15,0 | 30,0 | — | — |
|  | 5 | — | — | 3,1 | 7,8 |
| | 4 | — | — | 2,4 | 6,5 |
| | 3 | — | — | 1,8 | 9,7 |
| | 2 | — | — | 3,9 | 12,0 |
| | 1 | — | — | > 12,5 | 19,7 |
|  | 10 | — | — | 0,8 | 9,6 |
| | 5 | — | — | 0,8 | [17,5] |
|  | 5 | — | — | 0,9 | 9,1 |
| | 2,5 | — | — | 0,8 | 9,6 |

Im allgemeinen scheint bei Vergrößerung der Kerbtiefe t_1 unter sonst gleichbleibenden Umständen die spezifische Schlagarbeit erst allmählich abzunehmen und dann nach Erreichung eines Mindestwertes wieder etwas zu wachsen. Es scheinen sonach zwei Wirkungen einander zu überdecken, einmal die Verstärkung der Kerbwirkung durch Vergrößerung von t_1 und zum anderen die Verringerung der Spannungen infolge Verminderung der Abmessung $d_1 = d - t_1$; je nachdem ob die eine oder die andere überwiegt, tritt Verminderung oder Vermehrung der spezifischen Schlagarbeit ein.

4. Einfluß der Kerbform. (S. Tabelle XXIII.)

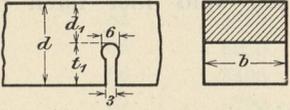
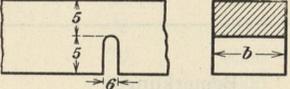
Tabelle XXIII.

| Kerbform | a spezifische Schlagarbeit mkg/qcm | | | | | |
|---|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|
| | Material | | | | | |
| | H | J | K | L | M | N |
|  | — | — | 33,6 | 18,0 | 41,0 | 26,2 |
|  | — | — | 9,1 | 4,9 | 32,6 | 17,9 |
|  | 4,5 | 9,3 | — | — | — | — |
|  | 5,1 | 9,9 | — | — | — | — |
|  | 3,1 | 7,8 | — | — | — | — |
|  | 0,9 | 9,1 | — | — | — | — |

Der scharfe Kerb gibt geringere spezifische Schlagarbeit als der Rundkerb. Das Verhältnis ist bei verschiedenen Materialien verschieden. Während bei den Eisenkohlenstoff-Legierungen *H, K, L* der Unterschied in der Wirkung zwischen rundem und scharfem Kerb sehr bedeutend ist, ist er bei den untersuchten Nickel- und Nickelchromstählen *J, M* und *N* wesentlich geringer. Letztere sind sonach gegenüber der Kerbwirkung weniger empfindlich, als die Eisenkohlenstoff-Legierungen.

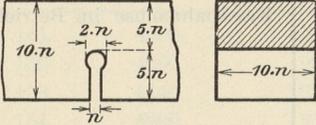
5) Einfluß der Stabdicke *d* (s. Tabelle XXIV).

Tabelle XXIV.

| Kerbform |  | $t_1 = d_1 = d/2$ $b = d$ $d' = 6 \text{ mm}$ | <i>d</i> mm | <i>a</i> spezifische Schlagarbeit | |
|----------|---|---|----------------|-----------------------------------|----------|
| | | | | Material | |
| | | | | <i>H</i> | <i>J</i> |
| | | | 30 | 7,7 | 26,3 |
| | | | 20 | 10,8 | 24,9 |
| |  | | 10 | 8,9 | 13,8 |

6) Schlagarbeit bei proportionalen Stäben (s. Tabelle XXV).

Tabelle XXV.

| Kerbform. |  | <i>n</i> | <i>a</i> | |
|-----------|---|----------|----------|----------|
| | | | Material | |
| | | | <i>H</i> | <i>J</i> |
| | | 3 | 7,7 | 26,3 |
| | | 1 | 4,5 | 9,35 |

Proportionale Stäbe ergeben sonach nicht gleiche spezifische Schlagarbeiten.¹⁾

¹⁾ Daraus geht noch nicht ohne weiteres hervor, daß für Kerbschlagproben das Gesetz der proportionalen Widerstände nicht gilt (I, 151). Bei Schlagversuchen wären zur Einhaltung der Proportionalität nicht nur proportionale Abmessungen der geschlagenen, sondern auch der schlagenden Teile gleichzeitig erforderlich. Im vorliegenden Beispiel waren aber nur die Abmessungen der ersteren proportional. Außerdem wäre wohl nicht zu erwarten, daß proportionale Stäbe gleiche Werte $a = \frac{A}{f}$ bezogen auf die Einheit des Querschnitts ergeben. Es wäre wahrscheinlicher, daß bei Einhaltung proportionaler Verhältnisse die Arbeit $a' = \frac{A}{v}$ bezogen auf die Volumeneinheit unveränderlich bliebe. Für *v* wäre die Größe des Volumteils einzusetzen, der durch seine Formänderung die Schlagarbeit aufnimmt.

γ) Wert der Kerbschlagprobe.

348. Die Einführung der Kerbschlagprobe in die Materialprüfung ist nur dann berechtigt, wenn diese Probe Aufschlüsse zu geben vermag, die mittels der bisherigen Verfahren nicht gewonnen werden können, oder zum wenigsten, wenn sie diese Aufschlüsse in klarerer Weise zum Ausdruck bringt. Ist dies nicht der Fall, so wäre die Einführung der Probe eine sinnlose Erschwerung der Materialprüfung.

Es ist deshalb erforderlich, sich darüber zu unterrichten, ob zwischen den Ergebnissen der Zugprobe und der spezifischen Schlagarbeit bei der Kerbschlagprobe eine gesetzmäßige Beziehung besteht. Man wäre geneigt, eine solche Beziehung zwischen der Bruchdehnung δ oder der Querschnittsverminderung q einerseits und der spezifischen Schlagarbeit a andererseits zu erwarten, so daß die Einordnung verschiedener Materialien nach den Werten von δ und q zu derselben Reihenfolge führen würde, wie die Einordnung nach a . Dem ist aber durchaus nicht so, wie aus den folgenden Zusammenstellungen Ehrensbergers (L_4 75) hervorgeht. Die Schlagarbeiten sind hier nach den Normen des Deutschen Verbandes ermittelt.

Tabelle XXVI. Kohlenstoffstähle.

| σ_B at | σ_S at | $\delta_{11,3\sqrt{r}}$ % | q % | a mkg/qcm | Bemerkungen |
|------------------|------------------|------------------------------|----------|----------------|---------------------------------------|
| 4330 | 2300 | 26,5 | 64 | 4,6 | Zu heiß verschmiedet |
| 4510 | 2560 | 26,0 | 70 | 20,4 | |
| 4510 | 2560 | 26,7 | 60 | 4,6 | Zu heiß verschmiedet |
| 4510 | 3010 | 20,4 | 56 | 18,5 | |
| 4650 | 2830 | 26,3 | 63 | 22,4 | |
| 4760 | — | 17,5 | 30 | 11,2 | |
| 4860 | 2390 | 29,2 | 56 | 17,2 | |
| 4910 | — | 18,3 | 19 | 12,0 | |
| 5040 | 2950 | 24,5 | 70 | 22,6 | |
| 5050 | 2810 | 26,4 | 60 | 4,7 | Eisenbahnachse im Betrieb gebrochen |
| 5090 | — | 26,9 | 57 | 19,9 | |
| 5330 | — | 26,1 | 59 | 18,8 | |
| 5480 | 3450 | 26,3 | 61 | 22,4 | |
| 5570 | 3090 | 25,0 | 64 | 24,1 | |
| 5710 | 2740 | 22,0 | 52 | 4,6 | Eisenbahnachse im Betrieb gebrochen |
| 5920 | 3890 | 28,3 | 57 | 15,1 | |
| 6100 | 3090 | 19,3 | 53 | 4,6 | } Eisenbahnachse im Betrieb gebrochen |
| 6330 | 3010 | 19,4 | 44 | 3,7 | |
| 6450 | 4070 | 28,3 | 65 | 22,1 | } Zu heiß verschmiedet |
| 6540 | 3360 | 20,0 | 57 | 7,1 | |
| 6630 | 3180 | 19,3 | 39 | 3,8 | |
| 6720 | 3800 | 22,0 | 59 | 9,0 | |
| 6720 | 4220 | 18,6 | 56 | 15,7 | |
| 8750 | 4950 | 12,8 | 22 | 5,6 | |
| 10000 | 6540 | 12,1 | 36 | 8,5 | |
| 11230 | 7520 | 10,0 | 35 | 5,6 | |

Tabelle XXVII. Nickel- und Chrom-Nickelstähle.

| Lfd. Nr. | σ_B at | σ_S at | $\delta_{11,3\sqrt{r}}$ % | q % | a mkg/qcm |
|-------------|------------------|------------------|------------------------------|----------|----------------|
| 51 | 5130 | 3980 | 23,3 | 70 | 42,1 |
| 52 | 5390 | 4160 | 26,7 | 72 | 42,2 |
| 53 | 5480 | 4510 | 25,7 | 66 | 42,5 |
| 54 | 5750 | 4420 | 29,5 | 73 | 41,8 |
| 55 | 5920 | 4510 | 23,3 | 61 | 37,8 |
| 56 | 6280 | 3980 | 21,8 | 64 | 32,0 |
| 57 | 6810 | — | 18,8 | 63 | 23,1 |
| 58 | 7160 | 5660 | 23,5 | 66 | 35,0 |
| 59 | 7250 | 5660 | 20,0 | 68 | 36,0 |
| 60 | 7250 | 4860 | 18,0 | 66 | 37,6 |
| 61 | 7340 | 5300 | 16,7 | 60 | 24,2 |
| 62 | 7870 | 6720 | 14,5 | 66 | 32,8 |
| 63 | 8050 | 6190 | 16,7 | 61 | 27,0 |
| 64 | 8130 | 6720 | 15,1 | 66 | 26,6 |
| 65 | 8220 | 6900 | 14,8 | 63 | 26,6 |
| 66 | 8400 | 6900 | 14,3 | 64 | 25,2 |
| 67 | 8790 | 7640 | 15,2 | 63 | 24,2 |
| 68 | 8840 | 7600 | 20,3 | 64 | 26,3 |
| 69 | 9140 | 7640 | 15,1 | 62 | 22,1 |
| 70 | 9550 | 8490 | 10,8 | 58 | 21,5 |
| 71 | 10000 | 8310 | 13,3 | 56 | 19,3 |
| 72 | 10790 | 8130 | 13,0 | 47 | 16,0 |
| 73 | 11410 | 10170 | 8,3 | 51 | 14,0 |
| 74 | 13170 | 10880 | 7,7 | 46 | 11,0 |
| 75 | 19000 | 16350 | 6,5 | 31 | 8,3 |

Tabelle XXVIII. Stahlformguß.

| Lfd. Nr. | σ_B at | σ_S at | $\delta_{11,3\sqrt{r}}$ % | q % | a mkg/qcm |
|-------------|------------------|------------------|------------------------------|----------|----------------|
| 151 | 4000 | 2000 | 30 | 60 | 4,5 |
| 152 | 4000 | 2000 | 30 | 61 | 21,0 |
| 153 | 4140 | 2100 | 29,2 | 61 | 18,2 |
| 154 | 4200 | 2100 | 29 | 59 | 4,4 |
| 155 | 4500 | — | 28 | 59 | 19,1 |
| 156 | 4520 | — | 26 | — | 3,7 |
| 157 | 4520 | 2040 | 31,0 | 50 | 3,7 |
| 158 | 4550 | — | 25,2 | — | 3,7 |
| 159 | 4600 | — | 30 | 54 | 4,1 |
| 160 | 4680 | — | 27,3 | — | 3,8 |
| 161 | 4780 | 2650 | 22,9 | 51 | 3,7 |
| 162 | 4780 | 2360 | 23,6 | 47 | 3,9 |
| 163 | 4780 | — | 25 | — | 3,8 |
| 164 | 4970 | 2320 | 24,8 | 45 | 3,8 |
| 165 | 4970 | — | 23,5 | — | 3,8 |
| 166 | 5030 | — | 27 | — | 13,8 |
| 167 | 5530 | 2340 | 24,7 | 35,4 | 20,7 |
| 168 | 5950 | 2290 | 40,5 | 42,0 | 25,1 |

25 proz.
Nickel-
stahl.

Aus den Tabellen XXVI bis XXVIII geht hervor:

1. Die Kerbschlagprobe führt unter Umständen zu einer anderen Bewertung der Materialien als die Zugprobe.
2. Die Kerbschlagprobe zeigt in Fällen, wo die Zugprobe genügende Zähigkeit und genügende Widerstandsfähigkeit des Materials feststellt, zuweilen geringe Kerbzähigkeit an. Dies kommt namentlich bei Stahlformgüssen vor, die zwar hohe Werte von δ und q , oft aber geringe Kerbzähigkeit ergeben.
3. Die im Vergleich zu den Kohlenstoffstählen erfahrungsmäßig größere Zähigkeit der Nickel- und Nickelchromstähle wird durch die Zugprobe nicht zum Ausdruck gebracht. Die Kerbschlagprobe läßt die Überlegenheit dieser Stähle erkennen.

Man begegnet in der Literatur vielfach Versuchen, zu beweisen, daß die Kerbschlagprobe die Materialien in derselben Weise ihrem Wert nach einreihet, wie die Zugprobe. Man kann in der Tat ganze Versuchsreihen von Materialien ungefähr gleicher Festigkeitseigenschaften und gleicher Vorbehandlung anführen, bei denen sich eine gewisse Beziehung zwischen Schlagarbeit und Festigkeitseigenschaften finden läßt. Man ist sogar soweit gegangen, dafür Formeln aufzustellen.

Sobald aber die Materialien verschiedener Vorbehandlung, insbesondere verschiedener Wärmebehandlung unterworfen werden, so hört die Gesetzmäßigkeit sofort auf, weil die durch diese Vorbehandlung bedingten Eigenschaftsänderungen bei der Kerbschlagprobe in der Regel schärfer angezeigt werden, als bei der Zugprobe.

Hierin liegt aber gerade der Wert der Kerbschlagprobe. Sie soll auf solche durch falsche Wärmebehandlung oder durch sonstige fehlerhafte Einflüsse hervorgerufene Unzuverlässigkeit des Materials aufmerksam machen.

349. Es ist vielleicht für den Leser nicht ganz ohne Interesse zu erfahren, wie ich im Jahre 1898 zur Einsicht von der Bedeutung der Kerbschlagprobe für die Materialbewertung gelangte. (Vgl. E. Heyn, *L₄ 40*).

Es waren damals in der Literatur bereits mehrfache Hinweise auf den Nutzen der Kerbschlagprobe erschienen (Barba). Ich glaubte aber damals noch, daß die übrigen Verfahren der Materialprüfung ausreichen müßten, um die Eignung des Materials für Konstruktionszwecke genügend zu kennzeichnen, und stand den Hinweisen in der Literatur ziemlich zweifelnd gegenüber. Dies dauerte so lange, bis ich eines Tages ein Stück Flußeisenwalzdraht von etwa 19 mm Durchmesser in die Hand bekam, das so spröde war, daß es beim bloßen Auffallen auf den Fußboden entzweibrach. Trotzdem gab weder die chemische Prüfung noch die Zugprobe Hinweis auf das Vorhandensein dieser großen Sprödigkeit.

In den Jahren 1898 und 1899 handelte es sich um die Prüfung eines Flußeisenkesselblechs von etwa 22 mm Dicke, das so spröde war, daß man mit dem Handhammer bequem Teile davon abschlagen konnte. Der Bruch war grobkörnig und hellglänzend. Der mit dem Hammer feststellbare Grad der Sprödigkeit war an verschiedenen Stellen des für die Prüfung zur Verfügung stehenden Blechabschnitts von 1000 \times 1000 mm verschieden groß.

Die chemische Analyse des Materials an zwei verschiedenen Stellen, an einer sehr spröden und an einer weniger spröden Stelle, zeigte nichts, was die große Sprödigkeit hätte erklären können; sie ergab im Durchschnitt: C=0,04, Si=fast Null, Mn=0,27, P=0,020, S=0,025, Ni=0,06, Cu=0,08%.

Schliffe durch das Blech gaben nach Ätzung mit Kupferammoniumchlorid deutliche Trennung des Materials in zwei scharf getrennte Zonen (Abb. 411). In den beiden Zonen *R* (Randzone) war das Eisen sehr grobkörnig, so daß man die

Kristalle mit bloßem Auge erkennen konnte. In der Zone *K* (Kernzone) war die Körnung feiner; die Zone war etwas dunkler gefärbt und von wenigen dunkleren Streifen durchsetzt. Wegen der Gefügeverschiedenheit in den Zonen *R* und *K* wurden Analysenproben aus beiden getrennt entnommen. Sie ergaben:

| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cu |
|-----------------|------|----|------|-------|------|------|-------|
| Zone <i>R</i> : | 0,03 | — | 0,27 | 0,016 | 0,02 | 0,05 | 0,08% |
| „ <i>K</i> : | 0,04 | — | 0,28 | 0,028 | 0,05 | 0,07 | 0,09% |

In der Kernzone ist also schwache Anreicherung von Phosphor und Schwefel, mithin geringfügige Seigerung vorhanden. Sie ist so schwach, daß sie nicht im entferntesten zur Erklärung der hohen Sprödigkeit herangezogen werden kann.

Die Zugproben wurden ebenfalls getrennt aus Rand- und Kernzone entnommen. Zu diesem Zweck erhielten die Probestäbe nur die geringe Dicke von 4 mm bei etwa 19 mm Breite. Die Länge der Teilung betrug 100 mm. Die Durchschnittszahlen aus je drei Versuchen sind in Tabelle XXIX zusammengestellt.

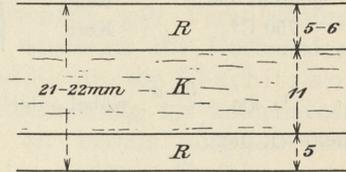


Abb. 411.

Tabelle XXIX.

| Zustand der Probe | Entnahmestelle | σ_s at | σ_B at | $\delta_{11,3\sqrt{f}}$ % | q % | $\frac{\sigma_s}{\sigma_B} \cdot 100$ % | Aussehen | |
|-----------------------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|----------|--|---|-------------------------------|
| | | | | | | | der Bruchfläche | der Oberfläche nach dem Bruch |
| Wie eingeliefert | Rand | 2310 | 3350 | 22,1 | 57 | 69 | mattgrau, schuppig, bis blättrig, zackig | stark krispelig |
| | Kern | 1950 | 3260 | 23,1 | 51 | 60 | | |
| Geglüht bei 750 C° | Rand | 1390 | 2930 | 29,9 | 58 | 48 | | |
| | Kern | 1710 | 3170 | 27,1 | 49 | 54 | | |

Hiernach entspricht das Metall zwar den Würzburger Normen für Flußeisenkesselbleche 1902 nicht, da diese verlangten: σ_B mindestens 3400 at, δ mindestens 25%, und $\frac{\sigma_B}{100} + \delta$ mindestens 62 (alle Zahlen auf das geglühte Material bezogen). Trotzdem würde man ohne Kenntnis des tatsächlichen Verhaltens des Materials aus obiger Tabelle weiter nichts schließen können, als daß das Blech im Zustand der Einlieferung verhältnismäßig geringe Festigkeit hat, was angesichts des geringen Kohlenstoffgehaltes nicht weiter auffällt, und daß die Bruchdehnung δ und die Querschnittsverminderung q angesichts dieses geringen Kohlenstoffgehaltes ziemlich niedrig sind. Indessen ist der Abstand der Dehnung (22,1 und 23,1%) von dem durch die Würzburger Normen als Mindestmaß verlangten Werte 25% so gering, daß man unmöglich auf den Gedanken kommen würde, das Material im Zustand der Einlieferung als außerordentlich spröde zu bezeichnen.

Die Ergebnisse der Biegeproben unter ruhigem Druck sind folgende (Tab. XXX). Die Probestäbe waren 12 mm breit bei 4 mm Dicke aus den einzelnen Zonen getrennt entnommen.

Hiernach bringt die Biegeprobe mit nicht gekerbten Stäben die Sprödigkeit des Materials überhaupt nicht zum Ausdruck. Die Biegeprobe mit eingekerbten Stäben lieferte schon etwas brauchbarere Angaben. Aber auch diese sind nicht imstande, die offenbare Sprödigkeit des Bleches genügend hervorzuheben.

Tabelle XXX.

| Zustand und Entnahmestelle der Proben | | Stäbe nicht gekerbt | | Stäbe gekerbt | |
|--|------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | | Biegewinkel $\frac{w}{r}$ | Biegegröße ¹⁾ | Biegewinkel $\frac{w}{r}$ | Biegegröße ¹⁾ |
| Wie ein- geliefert | Rand | 180 | 100 | 90 | 23 |
| | Kern | 180 | 100 | 144 | 38 |
| geglüht bei 750 C° | Rand | 180 | 100 | 180 | 56 |
| | Kern | 180 | 100 | 174 | 51 |

1) $\mathfrak{B}_g = \frac{50 \cdot a}{\rho}$, wobei ρ der Biegungshalbmesser auf der halben Probendicke und a die Probendicke (I, 382).

Es verblieb nur noch die Schlagprobe am nicht eingekerbten Stab. Sie führte nur bei genügend großer Stabdike zum Ziel; alsdann kann ein Stab aus einem Material von der Sprödigkeit des Bleches im Einlieferungszustand durch einen Schlag mit dem Handhammer zum plötzlichen Bruch geführt werden. Da aber wegen des Auftretens verschiedener Zonen innerhalb der Blechdicke die Stababmessungen klein genommen werden mußten ($6 \times 4 \times 60$ mm), wenn die Eigenschaften in den verschiedenen Zonen getrennt festgestellt werden sollten, so versagte auch dieses Prüfungsverfahren. Die Stäbe von den genannten geringen Abmessungen ließen sich unter dem Handhammer völlig zur Schleife zusammenschlagen, ohne daß Anriß entstand, während Blechstreifen von der Blechdicke 21 mm wenigstens an einzelnen Stellen des Blechs mittels Hammerschlag ohne vorausgehende Formänderung zu Bruch gebracht werden konnten.

Nach längeren Versuchen wurde die Kerbschlagprobe in der Ausführungsform 343 g (vgl. 317) als brauchbar für den vorliegenden Zweck ermittelt. (Es ist anzunehmen, daß auch die übrigen Verfahren der Kerbschlagprobe zum gleichen Ziel führen würden.) Hierbei ergab das eingelieferte Blechmaterial an den sprödesten Stellen die Biegezahl (317) $\mathfrak{B}_3 = 0$ bis $\frac{1}{2}$; d. h. der Stab wurde beim ersten Schlag mit dem Hammer vollkommen aufgeklappt, oder die obere Stabhälfte sprang fort. Der Bruch war grobkörnig. Die Probe ergab somit Übereinstimmung mit den Vorversuchen, bei denen die Hammerschläge gegen das Blech in seiner ganzen Dicke geführt wurden. Das gesamte, bei einer großen Reihe von Kerbschlagproben ermittelte Verhalten des Materials war folgendes:

Tabelle XXXI. Ergebnis der Kerbschlagprobe, Verfahren 343 g.

| Zustand und Entnahmestelle der Proben | | Mittlere Biegezahl \mathfrak{B}_3 | |
|--|------|--|---|
| | | an den sprödesten Stellen des Bleches | an den am wenigsten spröden Stellen des Blechs |
| Wie ein- geliefert | Rand | 0 bis $\frac{1}{2}$ Bruch grobkörnig | 2 Bruch matt |
| | Kern | 0 bis $\frac{1}{2}$ „ „ | 2 „ „ |
| Kurze Zeit bei 1000 bis 1100 C° geglüht | Rand | > 1 ¹⁾ nicht weiter geprüft | 4 Bruch matt |
| | Kern | > 1 „ „ | 2 „ „ |

1) Nach später gemachten Erfahrungen ist anzunehmen, daß, wenn die Prüfung nicht abgebrochen worden wäre, sich im Rand die Biegezahl 4, im Kern die Biegezahl 2 ergeben haben würde, wie bei den weniger spröden Stellen nach dem Glühen.

Die Eigenschaften des Blechmaterials, wie sie durch die Kerbschlagprobe gekennzeichnet werden, ergeben sonach Unterschiede in der Biegezahl von 0 (sprödeste Zustand) bis 4 (Sprödigkeit völlig beseitigt). Das sind überhaupt nach meinen späteren Erfahrungen die äußersten Grenzen der Biegezahlen, die bei Eisen und Eisenlegierungen vorkommen können. Man kann bequem die Eisenlegierungen bezüglich der Biegezahl \mathfrak{B}_3 in 8 verschiedene Wertklassen einteilen, die sich mit Hilfe des einfachen Verfahrens mit Sicherheit als Mittelwerte feststellen lassen. Die Klassen entsprechen Biegezahlen 0 bis $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$ bis 1, 1 bis $1\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$ bis 2, 2 bis $2\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ bis 3, 3 bis $3\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ bis 4.

Der oben angeführte Fall der Kesselblechuntersuchung gab Veranlassung, der Ursache der Sprödigkeit nachzuforschen. Es war wiederum die Kerbschlagprobe in der angegebenen einfachen Form, die es ermöglichte, die Überhitzung als Ursache festzustellen und auch die Gesetze der Überhitzung für kohlenstoffarme Flußeisensorten näher zu verfolgen, wie es in 317 bereits mitgeteilt ist.

Man hätte das Gesetz natürlich auch mittels der anderen Verfahren der Kerbschlagprobe finden können, ob aber in vollem Umfange möchte ich noch bezweifeln und zwar auf Grund meiner Erfahrung, daß zum Beispiel mit einem Pendelschlagwerk von 10 mkg nach den Normen des Deutschen Verbandes nur Materialien mit der Biegezahl kleiner als 2 eine meßbare Schlagarbeit liefern, solche aber mit höheren Biegezahlen $\mathfrak{B}_3 = 2 - 4$ (also die 4 höchsten Klassen) nicht mehr unterschieden werden können. Stäbe 10×10 mm aus solchen Materialien können mit keiner Art der Kerbung unter dem kleinen Pendelschlagwerk zu Bruch gebracht werden. Wie sie sich auf den größeren Schlagwerken verhalten, vermag ich zurzeit noch nicht zu übersehen. Man wird aber aus dem Gesagten erkennen, daß nicht ohne weiteres der kostspieligere und scheinbar genauere Apparat auch die Vorteile ausschließlich auf seiner Seite hat.

Der Grund, warum für die Kerbschlagprobe nach Heyn die kleinen Probe­stäbe mit 6×4 mm Querschnitt gewählt worden sind, ist schon in 317 angegeben. Dadurch wird es möglich, die Eigenschaften des Materials in den verschiedenen Zonen zu ermitteln.

Ich verweise noch auf den in Absatz 290 erwähnten Fall der gebrochenen Pleuelstangenschraube zurück, bei dem sich der Wert der Untersuchung der verschiedenen Zonen deutlich zeigt (vgl. Abb. 251).

In einem anderen Falle waren zwei verschiedene Trägersorten miteinander zu vergleichen. Beide waren am Fuß zu lochen und danach dem Biegeversuch zu unterwerfen. Die Löcher waren durch Stoßen, nicht durch Bohren herzustellen. Es ergab sich, daß die eine Materialart *A* beim Biegen der im Fuß gelochten Träger meist Einrisse zeigte, während die Materialart *B* diese Behandlung ertrug. Die Ätzprobe mit Kupferammoniumchlorid ergab bei den Trägern aus Material *A* starke Seigerung in der Kernzone, die in Abb. 412 schraffiert gezeichnet ist. Die Kernzone reicht bis an die Wandung des Loches heran. Bei den Trägern aus Material *B* war zwar der Gehalt an Phosphor im Durchschnitt etwas höher als im Material *A*, der Phosphor war aber gleichmäßig durch die Masse verteilt, so daß Trennung in Kern- und Randzone infolge Phosphorseigerung nicht vorhanden war. Das verschiedene Verhalten der Träger beim Biegen nach dem Lochen ist erklärlich. Ein Loch ist ein Kerb (340), ganz besonders aber ein gestoßenes Loch, das am Umfang infolge Kaltreckens Reckspannungen hervorruft (301 bis 307). Verwendet

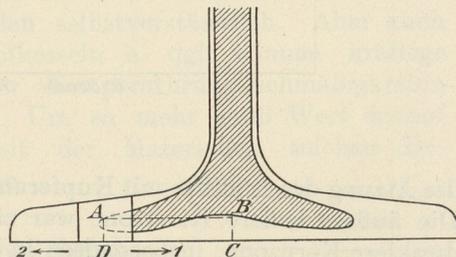


Abb. 412.

man nun ein Metall, das ganz besonders geringe Kerbzähigkeit besitzt, so wird bei der äußeren Beanspruchung die Wirkung des Kerbs zur Geltung kommen und Reißen begünstigen. Dies war im vorliegenden Falle bei den Trägern *A* der

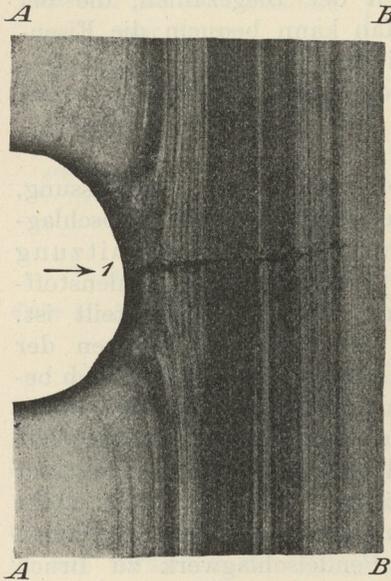


Abb. 413.

Fall, wo der seigerungsreiche Kern sehr geringe Biegezahl \mathfrak{B}_3 lieferte. Wie Abb. 413, ein Schliff nach der Linie *AB* in Abb. 412, zeigt, ging der beim Biegen der Träger *A* entstandene Riß von der Lochwandung aus nach der Mitte des Trägers, also in der Richtung 1 (Abb. 412) in die dunkel erscheinende Kernzone, während er es doch bequemer gehabt hätte, in der Richtung 2 nach außen zu gehen, wo der Widerstand geringer war. Er bevorzugte aber den ersteren Weg, weil die dort vorhandene Kernzone geringere Kerbzähigkeit besitzt. Bei den Trägern *B* war die Kerbzähigkeit größer, daher das bessere Verhalten beim Biegen.

Ganz ähnliche Erscheinungen sieht man bei gelochten Kesselblechen. Auch hier kann das gestoßene Loch bei Materialien von geringer Kerbzähigkeit zu plötzlichen Brüchen führen, wenn die Beanspruchung ein bestimmtes Maß überschreitet. Als Beispiel sei auf ein Kesselblech hingewiesen, das bereits vor der Inbetriebnahme des Kessels bei der Kaltdruckprobe längs der Nietlöcher einriß.

Der Bruch ist in Abb. 414 gezeichnet. Die Nietlöcher waren gestoßen, nicht gebohrt; es hätte also wegen der Kerbwirkung dieser Löcher besonderer Wert auf Kerbzähigkeit des Materials gelegt werden müssen. Nach Tafelabb. 71, Taf. XIV, ergab

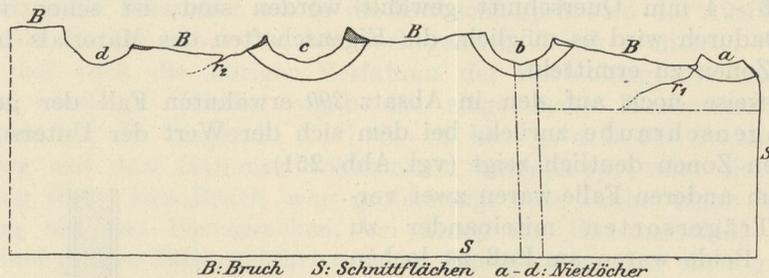


Abb. 414.

die Ätzung des Schliffes mit Kupferammoniumchlorid sehr ausgeprägte Zonenbildung. Die äußere hellere Randzone war ziemlich arm an Seigerungen, dagegen war die dunklere Kernzone, insbesondere in den dunklen Längsstreifen, stark mit Phosphorseigerungen behaftet. Die weitere Untersuchung ergab das in der Tabelle XXXII zusammengestellte.

Auf Grund der Kerbschlagprobe ist das Material außerordentlich empfindlich gegen Kerbwirkung. Die Gefährlichkeit seiner Verwendung liegt auf der Hand. Trotzdem genügt es den Würzburger Normen (Mantelblech II) von 1902 und ebenso den Bedingungen für Mantelbleche nach den Würzburger Normen 1905, die keine Prüfung vorschreiben, welche die Empfindlichkeit des Materials gegenüber Kerbwirkung feststellen.

Bereits früher ist ein Beispiel dafür angeführt worden, daß der Einfluß der

Abkühlungsgeschwindigkeit von Werkstücken aus schmiedbarem Eisen sich deutlich bei der Kerbschlagprobe, fast nicht bei der Zugprobe erkennbar macht (336 am Schluß).

Tabelle XXXII.

| | Chemische Zusammensetzung | | Zugprobe | | | Kerbschlagprobe \mathfrak{B}_3 |
|---|---------------------------|--------|------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| | P % | S % | σ_S at | σ_B at | $\delta_{11,3\sqrt{f}}$ % | |
| Randzone | 0,088 | 0,04 | — | — | — | 0 bis $1/2$ |
| Längs der dunklen Streifen in der Kernzone | 0,203 | 0,16 | — | — | — | 0 |
| Kernzone | — | — | — | — | — | 0 bis $1/2$ |
| Durchschnitt über die ganze Blechdicke | 0,168 | 0,10 | { 2630 [2460] | 4290 4230 | 23,8 l 25,4 qu | — |

l = Längsprobe, qu = Querprobe.

Die Zahl der angeführten Fälle läßt sich noch bedeutend vermehren (vgl. E. Heyn, L_4 76 und L_3 3).

Die obigen Beispiele dürften genügen, um darzutun, daß die Kerbschlagprobe Aufschlüsse gibt, welche die bisherigen Verfahren nicht liefern können, und daß also eine Ergänzung dieser Prüfungsverfahren durch die Kerbschlagprobe zum wenigsten bei Eisen und seinen Legierungen unerlässlich ist, wenn man sich ein vollständiges Bild von den Eigenschaften des Materials verschaffen will.

Natürlich ist die Kerbschlagprobe kein Universalmittel, das die Eignung des Materials für jeden Zweck dartut. Es ist ein Hilfsmittel mehr zur Erkenntnis, weiter nichts.

Sie gibt uns aber klaren Aufschluß darüber, ob ein Material empfindlich ist gegenüber der Kerbwirkung, insbesondere bei stoßweiser Beanspruchung. Die Kerbwirkung ist bei der Mehrzahl unserer Konstruktionen nicht zu vermeiden. Querschnittsänderungen, mehr oder weniger abgerundete einspringende Kanten, Niet- und Schraubenlöcher, Gewinde usw. lassen sich nicht umgehen. Stoßweise Beanspruchung ist bei bewegten Maschinenteilen selbstverständlich. Aber auch bei ruhenden Bauteilen, wie z. B. in Dampfkesseln u. dgl. können kräftige stoßweise Beanspruchungen infolge plötzlicher Temperaturungleichmäßigkeiten (Wärmespannungen) oft genug auftreten (330). Um so mehr muß Wert darauf gelegt werden, über die Widerstandsfähigkeit der Materialien solchen Beanspruchungen gegenüber Aufschluß zu erhalten.

F. Härte und Bearbeitbarkeit.

(Ergänzungen zu I, 341 bis 359, Härteprüfung)¹⁾.

a) Kugeldruckprobe.

350. Nach Erscheinen des ersten Bandes hat seit 1900 die Härtebestimmung durch die Kugeldruckprobe auf Grund der Arbeiten von Brinell (L_4 87, 88, 89 und 95) weite Verbreitung gefunden. Hierbei wird eine Kugel K aus gehärtetem

¹⁾ Die Ergänzung soll hier nur so weit gegeben werden, als zum Verständnis des Inhalts des II. Bandes unbedingt erforderlich ist; alles übrige ist der Neuauflage des ersten Bandes vorbehalten.