

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.

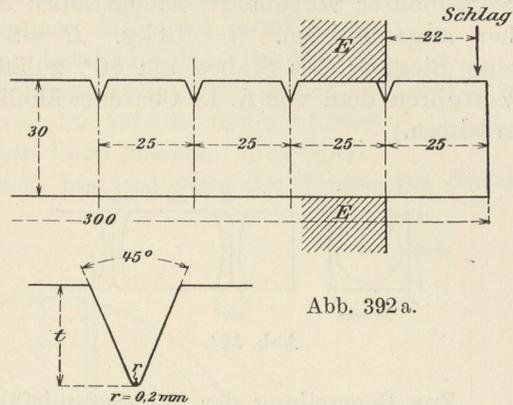


Abb. 392 a.

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.

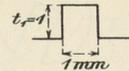


Abb. 393.

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.)

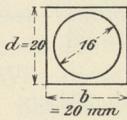


Abb. 394.

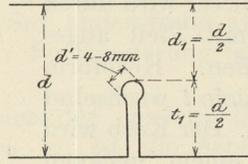
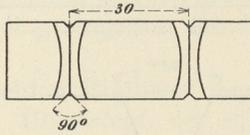


Abb. 395.

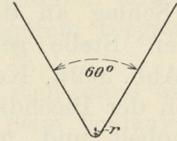


Abb. 396.

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.

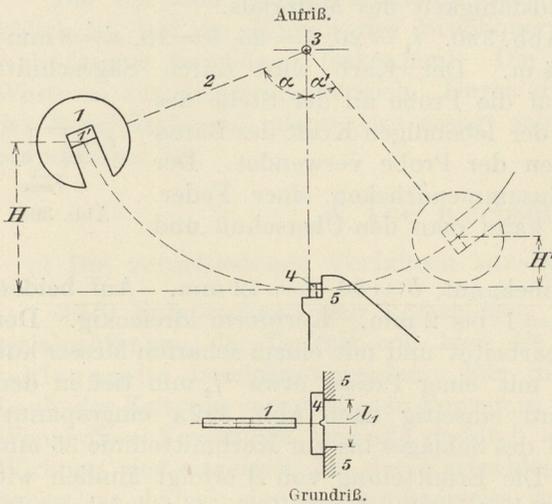


Abb. 397.

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.

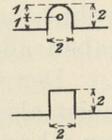


Abb. 398.

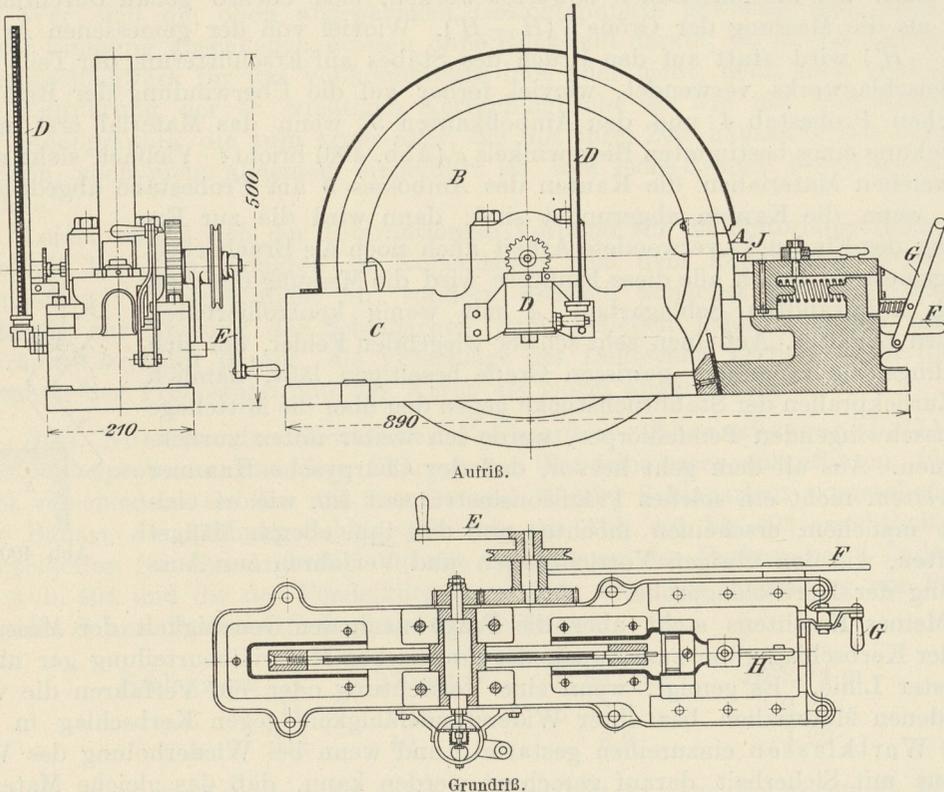


Abb. 399. Schlagwerk nach Guillery.

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.

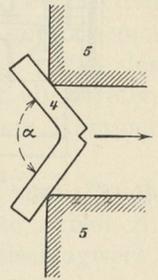


Abb. 400.

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.

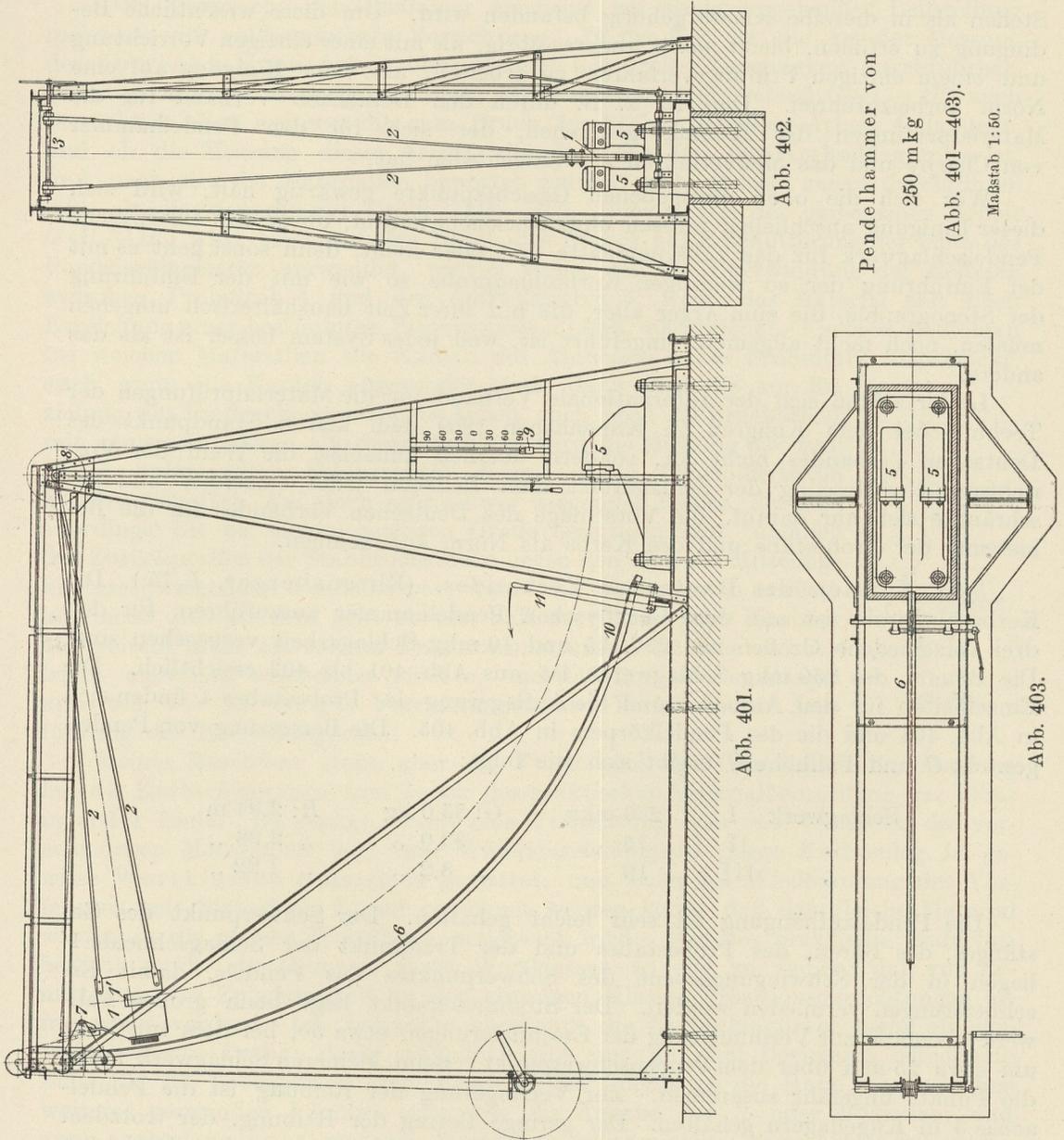
Leider schloß sich der Internationale Verband für die Materialprüfungen der Technik bei dem Kongreß in Kopenhagen 1909 dem klaren Standpunkt des Deutschen Verbandes nicht an, sondern überließ zunächst die Wahl der Vorrichtung zur Messung der Schlagarbeit dem Belieben jedes einzelnen und beschränkte sich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

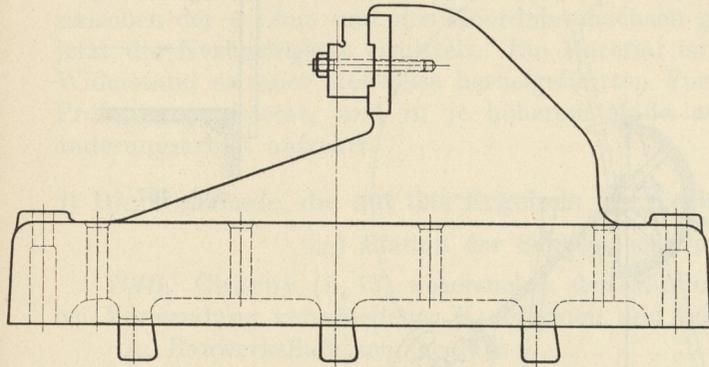


Abb. 404a.

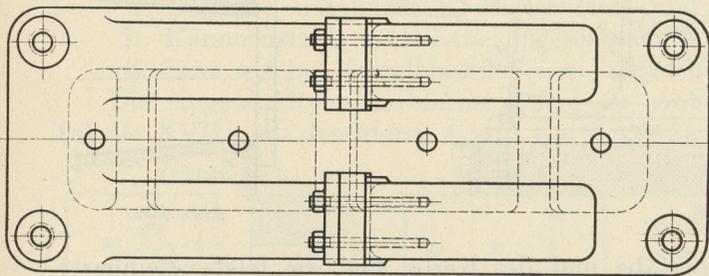


Abb. 404b.

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

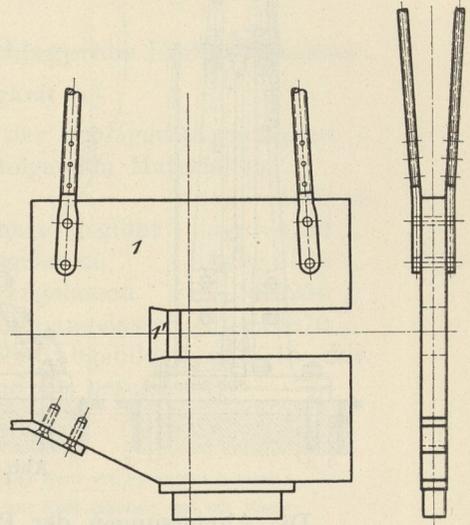


Abb. 405. Pendelkörper
des 250 mkg-Pendelhammers.
Maßstab 1:12,5.

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.

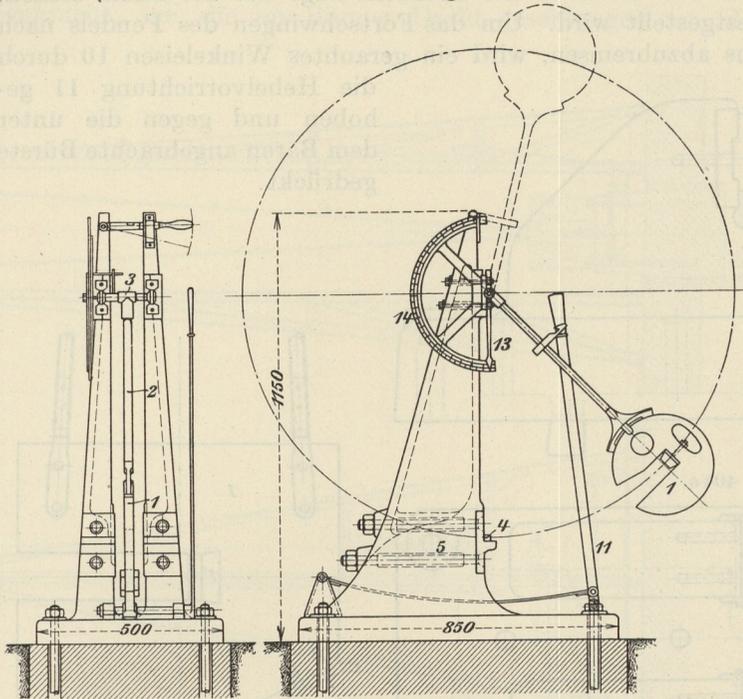


Abb. 406.

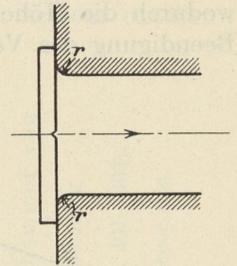


Abb. 407.

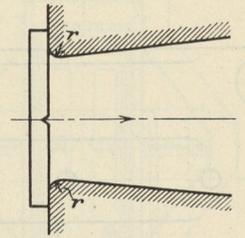


Abb. 408.

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.

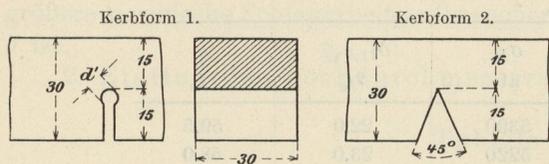
β) Die Umstände, die auf das Ergebnis der Kerbschlagprobe Einfluß ausüben.

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.

$\beta\beta$) 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.)

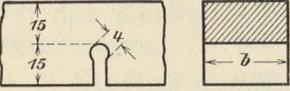
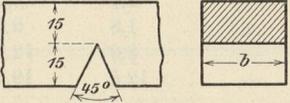
Tabelle XX lehrt, daß zwischen dem Querschnitt des Stabes in der Kerbebene (kurz Kerbquerschnitt genannt) und der Schlagarbeit keine Proportionalität besteht. Wenn also die Schlagarbeit auf die Einheit des Kerbquerschnitts bezogen wird (spezifische Schlagarbeit), so beruht dies auf einer Abmachung, nicht 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.

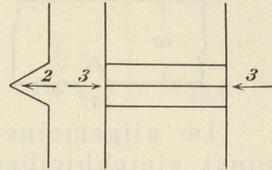
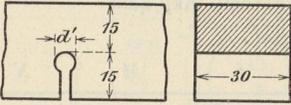
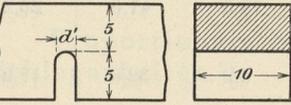
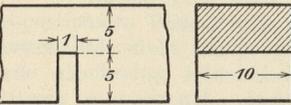


Abb. 410.

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.)

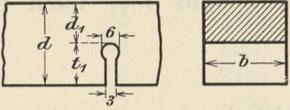
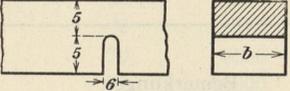
Tabelle XXIII.

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.

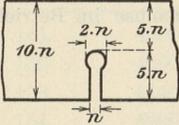
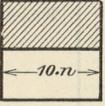
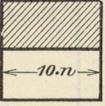
5) Einfluß der Stabdicke *d* (s. Tabelle XXIV).

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 Durchschnitzzahlen aus je drei Versuchen sind in Tabelle XXIX zusammengestellt.

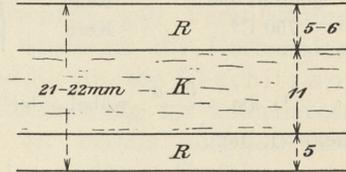


Abb. 411.

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 Stabdicke 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 $1/2$, $1/2$ 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

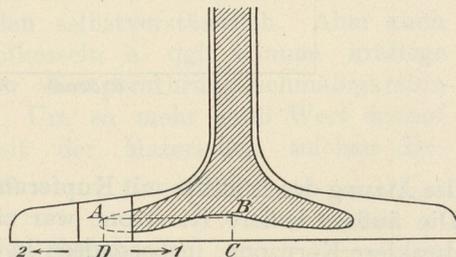


Abb. 412.

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

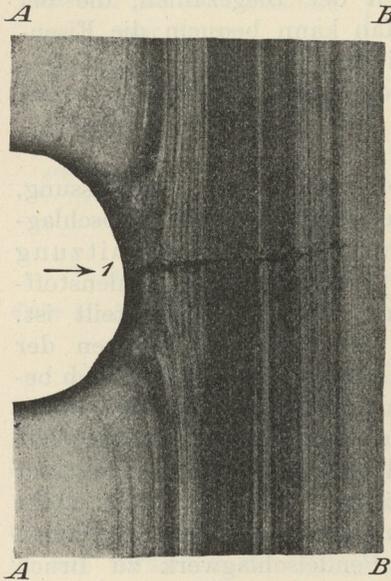


Abb. 413.

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

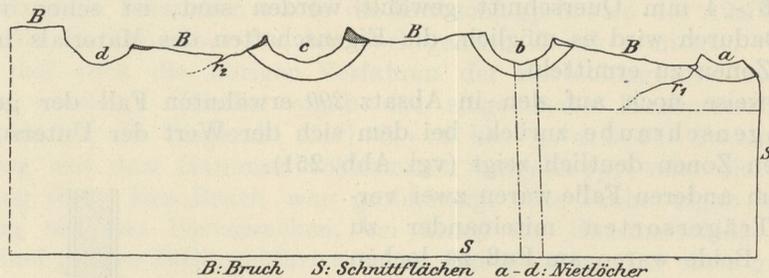


Abb. 414.

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.