

hin errechneten Abmessungen die eintretende Biegungsspannung nach dem gleichen Grundsatz wie früher, so erhält man bei Anwendung der schmaleren Scheerbacken:

$$\sigma_{+B'} = M \frac{e_z}{\Theta} = \frac{P}{4} \left(a + \frac{b}{2} \right) \cdot \frac{1}{0,785} =$$

$$\sigma_{+B'} = \frac{10173}{4} \cdot \frac{0,34 + 0,34}{0,785} = 2203 \text{ at.}$$

Der Bruch auf Biegung würde also nicht mehr erfolgt sein.

c. In der Versuchsanstalt zu Charlottenburg wird für die Ausführung der Scheerversuche ein von mir konstruierter Scheerapparat benutzt Fig. 161 (*L 149*), bei dem die Scheerbackenbreiten gleich dem Durchmesser der Probekörper sind. Der Apparat besteht aus einem zweitheiligen Gusseisenkörper, in welchem ein gut eingepasster Schieber gleitet. Die Scheerbacken sind gehärtete und dann ausgeschliffene Stahlringe, die entweder unmittelbar oder mittelst besonderer Einsatzringe im Gehäuse und Schieber so eingebracht werden, dass die mittlere Scheerbacke genau zwischen den beiden Seitenbacken mit Hilfe des Schiebers bewegt wird. Die beiden hohlen Schraubenmutter des Gehäuses dienen dazu, die Seitenbacken von der Hand so einzustellen, dass die Bewegung der Mittelbacke gerade ganz schliessend, aber ohne wesentliche Reibung erfolgt. (Fig. 161 ist $\frac{1}{5}$ nat. Gr.) Der Apparat hat Einlage-Ringe für Proben von 2,4; 2,2; 1,9; 1,5 und 0,9 cm Durchmesser; er wird in die Maschine wie beim Druckversuch eingebaut und ist namentlich für stehende Maschinen sehr bequem; ich habe ihn gelegentlich auch zur Ausführung von Scheerversuchen unter dem Fallwerk benutzt.

3. Der Lochversuch.

217. Der Vorgang des Lochens ist von gleicher Art wie der Vorgang des Scheerens, nur wird statt der ebenen Schnittfläche eine cylindrische erzeugt.

Man führt den Versuch in der Regel derart aus, dass die plattenförmige Probe auf eine Matrize *M*, Fig. 162, aus hartem Stahl gelegt wird. Dann

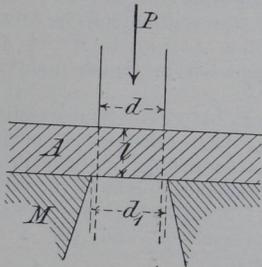


Fig. 162.

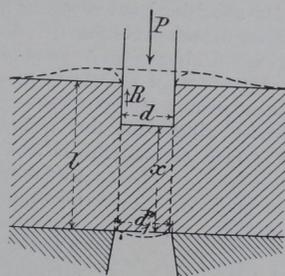


Fig. 163.

wird mit dem Stempel *S* aus hartem Stahl ein Cylinder vom Durchmesser *d* und der Länge *l* unter der Einwirkung der Kraft *P* herausgescheert.

Die Lochfestigkeit, d. h. Festigkeit gegen Lochen ist dann

$$\tau_{\text{L}} = \frac{P}{f}, \text{ wenn}$$

$f = \pi dl$ die Grösse der Schnittfläche ist und angenommen wird, dass die Kraft *P* sich über diese Fläche gleichmässig vertheilt. Es ist also für eine cylindrische Schnittfläche:

$$\tau_{\text{L}} = \frac{P}{\pi dl}.$$

Für dünne Probestücke, bei denen *l* gegen *d* klein ist, wird die Loch-

festigkeit der Schubfestigkeit nahe kommen; für dicke Stücke ist aber der Vorgang ein sehr verwickelter.

a. Man kann sich eine Vorstellung von den Spannungsverteilungen beim Lochen machen, wenn man annimmt, dass ein dicker cylindrischer Bleiklotz in der Axenrichtung geflocht werden soll, Fig. 163. So lange nicht die Kraft P gross genug ist, um in dem punktiert angedeuteten Cylindermantel Abscheeren zu bewirken, wird das Material unter dem Stempel zur Seite hin und nach oben hin ausweichen, und zwar am meisten dahin, wo es den geringsten Widerstand findet, wie in Fig. 163 punktiert angedeutet. Man wird bemerken, dass die Reibung an den Auflagerflächen und an den Stempelflächen zum Ausdruck kommt und dass es neben dem Stempel mehr aufquillt als in einigem Abstände davon, weil die radial wirkenden Spannungen im Körper [namentlich in einem elastischen] mit wachsender Entfernung von der Axe abnehmen und schliesslich kein Fließen in radialer Richtung mehr bewirken können. Ist der äussere Durchmesser des vorausgesetzten Bleicylinders sehr gross, so wird nur Fließen in den Hohlraum der Matrize und Aufquellen nach oben stattfinden können, weil Blei ein Körper vom Dichtigkeitsgrade 1 ist, und daher der Rauminhalt des ursprünglichen Körpers gleich dem Inhalt des Körpers nach dem Eindringen des Stempels sein muss. Das Eindringen kann in merkbarer Weise erst stattfinden, wenn die [am Würfel festgestellte!] Quetschgrenze des Materials erheblich überschritten ist, weil hier, wie oben gesagt, die freie Bewegung der Masse behindert ist, also gewissermassen die in Absatz 25 (S. 10) besprochenen Umstände eintreten. Ist die Spannung an der Quetschgrenze für den hier vorausgesetzten Versuchskörper und unter der ausgeübten Art der Beanspruchung σ_{-s} , so kann nennenswerthes Fließen erst ein-

treten, wenn $P > d^2 \frac{\pi}{4} \cdot \sigma_{-s}$. Das Abscheeren des Cylinders kann aber erst stattfinden, wenn die Höhe x so weit vermindert ist, dass $\tau, d\pi x < P$.

Man erkennt aus dieser Betrachtung leicht, dass die äussere Form des zu lochenden Stückes das Versuchsergebniss beeinflussen muss, wenn die um das Loch stehen bleibende Wandstärke nicht gross genug ist, um seitliches Ausfließen zu verhindern. Nebenspannungen sind also auch beim Lochen unvermeidlich, und das Lochen ist daher kein einfacher Vorgang.

b. Da aber der Lochvorgang äusserlich einfach erscheint, so fehlte es nicht an Vorschlägen, diesen Versuch für die regelmässige Materialkontrolle in Anwendung zu bringen. Ueber einen solchen Vorschlag, den Alfred E. Hunt auf dem Ingenieurkongress in Chicago (L 146) machte, sagte ich in einem nichtveröffentlichten Reiseberichte Folgendes.

„Hunt ging von der irrigen Annahme aus, dass die Scheerfestigkeit in einfacher Weise einen Schluss auf die Zugfestigkeit des Flusseisens machen lasse und empfahl daher die Ausführung von Scheerversuchen an Stelle der Zerreißversuche, indem er für die Scheerversuche ihre leichte Durchführbarkeit, die geringen Kosten der Prüfungsmaschine und der Probenherstellung in Anspruch nahm.“

„Man kann nicht leugnen, dass dieser Vorschlag sehr viel Verlockendes hat, denn man kann einen tragbaren und durch einfache Handpumpe betriebenen Apparat nach dem Schema der Fig. 164 leicht herstellen und mit einem Selbstzeichner versehen. Der Kolben K drückt den Lochstempel S durch die Probe P ; M ist eine auswechselbare Matrize. Die im Cylinder C herrschende Pressung wird durch einen Indikator auf die Papiertrommel P gezeichnet und die Trommel erfährt zugleich eine Drehung vermittelt des Hebels H , der Rolle r und der Schnur s , die der Kolbenbewegung folgt. Das Gegengewicht G treibt den Kolben zurück.“

„Es ist nicht ohne weiteres möglich, sich ein zutreffendes Urtheil über den Huntschen Vorschlag zu bilden; die von ihm gegebenen Zahlen reichen hierfür nicht aus und bedürfen weiterer Ergänzung [es ist mir entgangen, was schliesslich aus dem Vorschlage geworden ist]. Der Schluss auf die durch den Zerreiß-

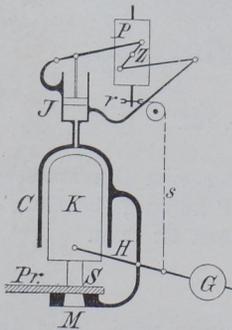


Fig. 164.

versuch gekennzeichneten Eigenschaften eines Materiales aus den Ergebnissen des Lochversuches dürfte wol kaum zulässig sein (vergl. 214). Vor allen Dingen erscheint es unmöglich aus dem Lochversuch ein Maass für die Dehnbarkeit und Zähigkeit des Materiales zu gewinnen.“

„Ein anderes ist es aber, ob der Apparat nicht doch zu einer Materialkontrolle im Fabrikbetriebe sich eignet. Um hierüber ein Urtheil zu gewinnen müssten erst folgende Punkte klargestellt werden.“

„Eine Grenze der Anwendbarkeit haben alle Methoden, die wie die Scheermethode auf die Anwendung von schneidenden Werkzeugen gegründet sind. Sie sind unbrauchbar, sobald die Härte der Schneiden nicht mehr ausreicht, um diesen die Erfüllung ihrer Aufgabe ohne bleibende Formänderung zu gestatten. Nahe dieser Grenze, also bei hartem Probematerial, wird man immer im Zweifel über den etwaigen Einfluss der Formänderungen der Werkzeuge bleiben.“

„Bei der Lochprobe sind aber zwei Werkzeuge, der Lochstempel und die Matrize, vorhanden, und man weiss, dass der zum Lochen erforderliche Arbeitsaufwand vom Durchmesser des Lochstempels, von der Dicke der Probe,¹⁾ so wie dem Verhältniss des Stempeldurchmessers zum Matrizendurchmesser abhängt. Dieses Verhältniss muss wiederum mit Rücksicht auf die Blechdicke und die Art des zu sheerenden Materiales gewählt werden, wenn man grösste Oekonomie erzielen will; zu diesen geometrischen Verhältnissen kommt die Beschaffenheit der Schneidkanten am Lochstempel und an der Matrize hinzu. Welchen Einfluss hat die Abnutzung dieser Kanten auf das Ergebniss von Versuchen an gleichem Material? Welchen Einfluss hat die grössere oder geringere Härte des Stempel- und Matrizenmaterials? Das sind Fragen, die sich nur durch sehr zahlreiche nach vielen hunderten zählende Versuche beantworten lassen. Man sieht also, dass die Sache kurzer Hand nicht beurtheilt werden kann. Die angeführten Punkte reichen aber jedenfalls nicht aus, um der Lochmethode alle Berechtigung absprechen zu dürfen.“

„Kommt es z. B. darauf an, im eigenen Betriebe eines grossen Werkes, etwa in einer Brückenbauanstalt oder Kesselschmiede, sich ein ungefähres Urtheil über die Gleichförmigkeit des Materiales zu verschaffen, so kann die Lochmethode vielleicht gute Dienste leisten, wenn es gelingt, den Messapparat so zu konstruiren, dass er bei gleichem Material gleiche Ergebnisse liefert. Eine einfache praktische Probe wäre es, einen Huntschen Apparat zur Prüfung einer Anzahl von Blechen verschiedener Qualität zu benutzen, diese Proben aufzubewahren und nun den Apparat in regelmässigen Gebrauch zu nehmen, um nach 1000, 5000 oder 10 000 Proben wieder die ersten Bleche zu prüfen. Diese Probe würde über die praktische Brauchbarkeit des Huntschen Vorschlages, meines Erachtens, zuverlässiger entscheiden als der Vergleich mit den Ergebnissen des Zerreiessversuches am gleichen Material, wie ihn Hunt gegeben. Den Zerreiessversuch kann der Lochversuch doch nicht ersetzen, weil er keinen Anhalt für die Arbeitsfähigkeit des Materials bei Zug-, Druck- oder Biegebeanspruchungen zu geben vermag.“

218. Dass Biegungsspannungen u. s. w. beim Lochen dicker Bleche einhergehen, kann man namentlich an durchgeschnittenen und geätzten Proben von Schweisseisen oder anderen Metallen leicht nachweisen. Man bemerkt hieran, wie sich die einzelnen Schichten, sowohl am Lochrande als auch am Rande des herausgescheerten Putzens umgebogen haben, Fig. 165, und wie sie dann zur Seite gedrängt werden. Das Loch fällt darum auch immer etwas grösser aus als der Durchmesser des Stempels.

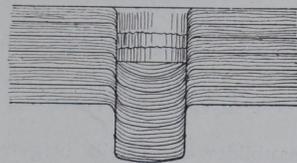


Fig. 165.

219. Aus Erfahrung weiss man, dass die Arbeit des Lochens verringert und das Loch glatter wird, wenn man der Matrize einen grösseren

¹⁾ Von deren Gestalt, wenn das Loch in der Nähe der Kante sitzt, z. B. bei Flacheisen, Winkeln u. s. w.

Durchmesser d_1 giebt als dem Stempel. Hieraus und aus dem Voraufgehenden kann man entnehmen, dass auch die Abmessungen des Apparates von Einfluss auf das Ergebniss des Lochversuches sein müssen.

Will man also bei Scheer- und Lochversuchen vergleichbare Ergebnisse erzielen, so muss man zwischen den Probenabmessungen und den Abmessungen der Apparate gewisse Beziehungen aufsuchen und diese bei den Versuchen stets innehalten. Versuche zum Aufschluss dieser Frage sind aber leider noch recht wenig ausgeführt.

Indem ich zugleich auf die älteren Versuche von H. Tresca (*L 150. 151. 152*) [aus dem Jahre 1869 u. f.] verweise, theile ich hier die Ergebnisse von einigen Uebungsversuchen meiner Schüler mit, die an verschiedenen Metallen unter verschiedenen Bedingungen ausgeführt wurden. Die Ergebnisse sind in Fig. 166 als

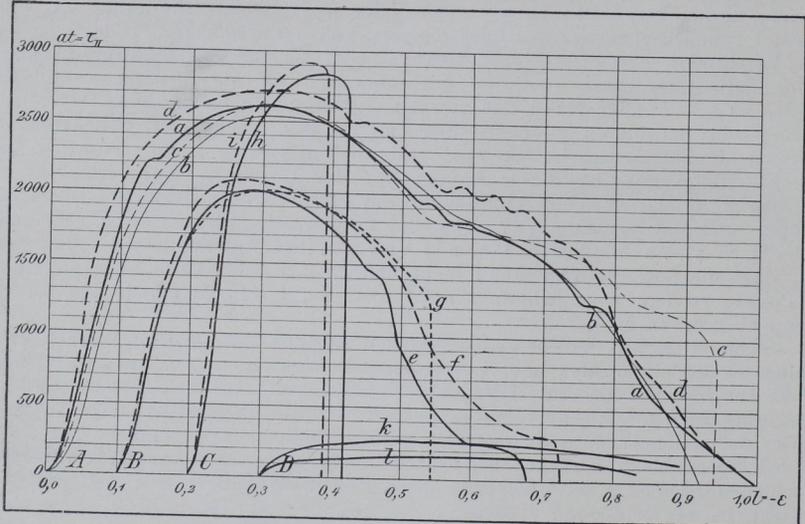


Fig. 166. Schaubilder von Lochversuchen.

Es bedeutet: d Stempeldurchm., d_1 Matrizendurchm., l Blechdicke. Starke Linien = Stempelfläche eben, schwache Linien = Stempelfläche hohl.

A. Feinkorn Eisen. $5,20 \times 1,35$ cm; $d = 2,00$ cm; $d_1 = 2,10$ cm; $l = 1,35$ cm; $l/d = 0,675$; $d_1/d = 1,050$.

In allen Fällen fand das Lochen unhörbar statt. Zeitdauer bei Versuch a und b 12 bis 14 Minuten, bei c und d weniger als 1 Minute. Einfluss der Geschwindigkeit also deutlich bemerkbar.

B. Kupferblech, gegläht. $d = 2,00$ cm; $l = 1,01$ cm; $l/d = 0,51$. Bei Versuch e , $d_1 = 2,01$ cm; f , $d_1 = 2,05$ cm; g , $d_1 = 2,10$ cm; demnach ist $d_1/d = 1,005, 1,025, 1,050$; Dauer = 2 bis 4 Minuten.

C. Messingblech, Anlieferung. $d = 2,50$ cm; $l = 1,00$ cm; $l/d = 0,40$. Bei Versuch h , $d_1 = 2,60$ cm; i , $d_1 = 2,55$ cm; demnach ist $d_1/d = 1,040, 1,002$; Dauer $h = 2$ Minuten; $i = 13$ Minuten; Einfluss der Geschwindigkeit erkennbar.

D. Blei, gegossen. Blockdurchm. = D . Für k : $D = 7,18$ cm; $d = 2,00$ cm; $d_1 = 2,05$ cm; $l = 4,10$ cm; $l/d = 2,05$; $d_1/d = 1,025$. Für l : $D = 10,03$ cm; $d = 2,00$ cm; $d_1 = 2,01$ cm; $l = 2,91$ cm; $l/d = 1,46$; $d_1/d = 1,005$.

Die Körper wurden nicht ganz durchlocht, der steckengebliebene Lochputzen hatte eine Höhe l_1 bei Versuch $k = 2,53$ cm; bei $l = 2,36$ cm.

Schaubilder dargestellt, in getreuer Nachbildung der von der Maschine selbst aufgezeichneten Linien; nur wurden statt nach Kräften und Stempelwegen die Aufzeichnungen nach Spannungen τ_H und Eindrücktiefen $-\varepsilon$ des Stempels, bezogen auf die Probendicke l als Einheit, gegenübergestellt. Die Zacken und Wellen in den Schaubildern entsprechen der Thatsache, dass das Scheeren nicht immer als glatter Vorgang verläuft, sondern zuweilen absatzweise stattfindet. Alle Versuchsbedingungen sind in den Erläuterungen zu den Figuren angegeben, so dass ich hier nur noch Folgendes hinzuzufügen habe.

Aus Fig. 166 Gruppe A und C kann man deutlich den Einfluss erkennen, den die Schnelligkeit der Versuchsausführung auf das Versuchsergebniss hat.

Die schneller ausgeführten Versuche erfordern etwas mehr Kraftaufwand. Aus Gruppe *D* lässt sich ableiten [ebenso wie aus den älteren Versuchen von Tresca¹⁾], dass das Blei zunächst eine erhebliche Verdrängung unter dem Stempel erfährt, dass die Höhe des herausgescheerten Lochputzens l_1 erheblich kleiner ist, als die ursprüngliche Probendicke l und dass l_1 für die gleiche Stempeldicke auch bei stark verschiedenem l , nahezu die gleiche bleibt.

Betrachtet man die Schaulinien in Fig. 166 im Allgemeinen, so ergibt sich für die Gruppen *A* bis *C*, dass die Spannungen anfangs schnell wachsen, bis dahin wo das Abscheeren beginnt, und durch ein Maximum gehen, um alsdann je nach den Materialeigenschaften und den Verhältnissen d_1/d zwischen den Matrizen- und Stempeldurchmessern mehr oder minder plötzlich zu fallen. Bei den Proben aus weichem Eisen nahm die Spannung hierbei ganz bis auf Null ab und die Lochung erfolgte unhörbar. Beim weichen Kupfer tritt der Bruch schon erheblich früher ein, bevor noch der Stempel den ganzen Weg l durchlaufen hat. Der Bruch erfolgt um so früher und plötzlicher, je grösser d gegenüber d_1 ist (Linien *g* und *c* Fig. 166); d. h. der Arbeitsaufwand wird um so kleiner, je grösser der Matrizen- durchmesser im Verhältniss zum Stempeldurchmesser gewählt wird. Beim Messingblech im Anlieferungszustande tritt der Bruch schon unmittelbar nach Erreichung der höchsten Spannung ein, bevor noch der Stempel einen Weg von $0,3l$ zurücklegte.

Die Beschaffenheit der Stempelendfläche übt einen Einfluss auf das Ergebniss aus. Hierüber und über den Einfluss des Verhältnisses d_1/d giebt auch die folgende Zusammenstellung Aufschluss. Die dort mitgetheilten Ergebnisse wurden mit geglähtem Messingblech von 0,40 cm Dicke und unter Anwendung von Stempeln von $d = 2,00$ cm mit ebenen und mit kugelförmig ausgehöhlter Endfläche gewonnen. Die Matrizenweiten d_1 waren 2,01; 2,10 und 2,20 cm und demnach die Verhältnisse $d_1/d = 1,005$; 1,050 und 1,100, während das Verhältniss $l/d = 0,20$ war. Man fand für

	$d_1/d = 1,005$	1,050	1,100
a) bei ebenem Stempel	$\tau_{B''} = 2830$	2770	2570 at
b) bei ausgehöhltem Stempel	$\tau_{B''} = 2590$	2510	2360 at

Verhältnisszahlen für $a = 100$ — 92 91 92

und wenn man die Werthe für $d_1/d = 1,005$ gleich 100 setzt, so erhält man für die Abnahme der Spannung bei wachsendem d_1/d die Werthe für

	$d_1/d = 1,005$	1,050	1,100
a) bei ebenem Stempel	$\tau_{B''} = 100$	98	91
b) bei hohlem Stempel	$\tau_{B''} = 100$	97	91

4. Scheerung und Aehnlichkeitsgesetz.

220. Aus den vorigen Abschnitten ging hervor, dass die Probenabmessungen und die Abmessungen der Apparate von Einfluss auf die Ergebnisse des Scheerversuches sind. Deswegen ist es nothwendig, für diese Dinge gewisse Festsetzungen zu treffen, wenn man einheitliche und unmittelbar vergleichbare Werthe durch den Versuch erhalten will. Leider sind die Gesetze, nach welchen sich diese Einflüsse geltend machen, noch sehr wenig erforscht. Man kann aber ohne weiteres aussprechen, dass auch für das Scheeren und Lochen das schon mehrfach behandelte Aehnlichkeitsgesetz gültig ist.

Nach dem Gesetz der Aehnlichkeiten müssen sich, bei Anwendung zweier geometrisch ähnlicher Probekörper A und A_1 aus gleichem Material die zum Scheeren oder

¹⁾ Diese Versuche erscheinen insofern nicht ganz zuverlässig, als die von Tresca gegebenen Schaubilder stets im Augenblick des Abscheerens [auch bei Blei] noch eine erhebliche Kraftanzeige liefern.