

Scheerfestigkeit gebraucht werden, während die Schubfestigkeit stets nur im Sinne der Festigkeitslehre, also wie sie im Biegeversuch oder beim Verdrehen in Frage kommt, verstanden werden soll.

2. Der Scheerversuch.

214. In der einfachsten Form pflegt man den Scheerversuch nach Maassgabe von Fig. 154 anzuordnen, nämlich so, dass die Scheerbacken SS den Körper A mit der Kraft P in der Linie \overline{OO} zu zerschneiden, d. h. seine Hälfte A in der Linie \overline{OO} gegen die Hälfte A_1 zu verschieben streben. Denkt man sich die sheerende Kraft P über den abzuschneerenden Querschnitt f gleichmässig vertheilt, so ergibt sich die Scheerspannung $\tau = P/f$. Im ersten Augenblick kann man zu der Auffassung kommen, dass der Versuch die reine Schubfestigkeit liefern müsse; das ist aber nicht der Fall, wie folgende Ueberlegung ergibt.

Reine Schubbeanspruchung kann nur ganz zu Anfang des Versuches eintreten, in dem Augenblick, wo beide Scheerbacken den Stab eben berühren. Da diese Berührung günstigsten Falles nur in einer Linie stattfindet, so muss beim weiteren Vorgehen die Quetschgrenze des Materiales gleich

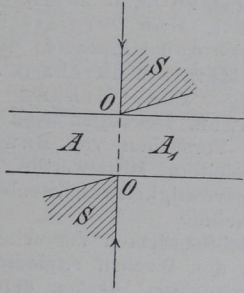


Fig. 154.

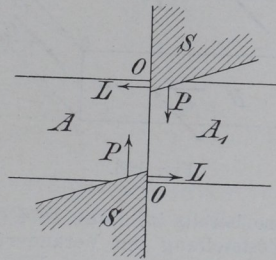


Fig. 155.

nach geschעהer Berührung überschritten werden. Das Material weicht zur Seite aus, bis die unter den Schneiden sich bildenden Anlageflächen so gross sind, dass die Kraft P ein weiteres Zurseitefliessen unter der Schneide nicht mehr hervorruft. Dann fällt aber die Richtung der beiden Kräfte P nicht mehr in die Linie \overline{OO} . Die Kräfte gehen vielmehr als Resultirende durch einen Punkt der unter den Schneiden S gebildeten Anlageflächen, Fig. 155, und erzeugen in Folge dessen ein rechtsdrehendes biegendes Moment, so dass neben der Schubbeanspruchung noch eine Biegebeanspruchung auftritt, die allerdings gegen die erstere klein ausfällt. Dem rechtsdrehenden Moment der Kräfte P hält ein linksdrehendes das Gleichgewicht, dessen Kräfte L entstehen, indem sich das Probestück gegen die Flanken der Schneiden stützt. Die Kräfte L erzeugen an diesen Flanken Reibungswiderstände, zu deren Ueberwindung ein, wenn auch kleiner Betrag von P verloren geht. Kurz, man sieht, dass das Ergebniss des Scheerversuches nicht streng die Schubfestigkeit des Materiales liefern kann.

215. Ist der zu sheerende Körper ein weicher nachgiebiger Körper, z. B. Holz, Blei, Leder u. s. w., so findet neben der örtlichen Eindrückung

unter den Scheerbacken noch eine weitergehende Materialzusammendrückung statt und macht den ganzen Vorgang noch verwickelter, als es vorhin geschildert wurde, so dass man sogar darüber in Zweifel kommen kann, ob bei Berechnung der Scheerfestigkeit $\tau, = P/f$ das f aus der Breite und ursprünglichen Höhe der Probe oder aus der beim Beginn des eigentlichen Scheerens vorhandenen Probenhöhe zu berechnen ist.

a. Die theoretische Betrachtung pflegt zu ergeben, dass zwischen der Normalspannung σ und der Schubspannung τ ein gewisses Verhältniss besteht, aber die hierbei über die Materialeigenschaften und die auftretende Kraftvertheilung gemachten Voraussetzungen treffen sehr selten zu. Für Schmiedeeisen und Stahl findet man häufig das Verhältniss zwischen der Scheerfestigkeit τ_B und der Zugfestigkeit $\sigma_B = 0,7$ bis $0,8$ angegeben; für Gusseisen kann man es sogar grösser als $1,0$ finden (165a). Versuche mit Materialien, deren Gefügebau Anlass zur Ausbildung verschiedener Festigkeit nach bestimmten Richtungen im Körper giebt, können noch viel mannigfaltigere Ergebnisse liefern.

Die Zugfestigkeit ist hierbei, eben so wie die Scheerfestigkeit, nach verschiedenen Richtungen sehr erheblich verschieden, und sehr verschieden stellen sich diese Zustände bei den Hölzern. Die Prüfung des Holzes auf seine technischen Eigenschaften sollte deswegen auch nicht blos auf seine Druckfestigkeit erstreckt werden, die sich ja am einfachsten ermitteln lässt, sondern man sollte mindestens auch den Scheerversuch zu Rathe ziehen.

b. Man vergisst übrigens leicht den Umstand, dass auch bei Metallen durchaus ähnliche Dinge zur Wirkung kommen können. Deswegen seien hier einige aus Versuchen von Bauschinger abgeleitete Mittelwerthe über die Scheerfestigkeit von Eisenblechen mitgetheilt.

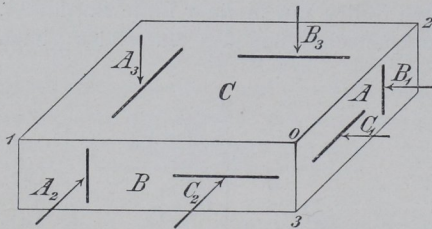


Fig. 156.

Diese bereits im Jahre 1874 (L 2 Heft 2) veröffentlichten Versuche bezweckten die Feststellung der Veränderungen, die in den Blechen explodirter Kessel vor sich gegangen waren. Die aus den untersuchten Blechen entnommenen Proben wurden auf Zugfestigkeit parallel und senkrecht zur Walzrichtung der Bleche und auf Scheerversuche nach den drei durch Fig. 156 angegebenen Hauptrichtungen 01, 02 und 03 ausgedehnt. Die Richtung 01 fiel mit der Walzrichtung zusammen. Die Schnitte erfolgten nach den Flächen A, B und C, von denen C die Walzfläche selbst ist. Die nachfolgende Tab. 21 giebt eine Uebersicht über die Mittelwerthe, welche an neuen Blechen verschiedener Gattung gewonnen wurden.

Tabelle 21. Scheerversuche von Bauschinger mit Kesselblechen.

| Art der Bleche | Scheerfestigkeiten τ_B in at | | | | | | Zugfestigkeit σ_B in at in Richtung | | Verhältnisse $\tau,/\sigma$ in | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| | Schnittebene u. Richtung (Fig. 156) | | | | | | Richtung | | | | | |
| | A_2 | A_3 | B_3 | B_1 | C_1 | C_2 | 1 | 2 | A_2 | A_3 | B_3 | B_1 |
| a) Puddelbleche . . . | 3160 | 2780 | 2590 | 3080 | 1570 | 1580 | 2630 | 2480 | 1,20 | 1,06 | 1,04 | 1,24 |
| b) Low-Moor-Bleche . . | 3210 | 2830 | 2680 | 3190 | 1480 | 1420 | 3200 | 2800 | 1,00 | 1,13 | 0,96 | 1,14 |
| c) Holzkohlenbleche . . | 2900 | 2760 | 2550 | 3030 | 1460 | 1330 | 3300 | 2540 | 0,88 | 0,84 | 1,00 | 1,19 |
| d) Kesselbleche . . . | 3150 | 2830 | 2690 | 3230 | 1480 | 1370 | 3590 | 2880 | 0,88 | 0,79 | 0,93 | 1,12 |
| e) Walzeisenbleche . . . | 3590 | 3440 | 2840 | 3060 | 1780 | 1770 | 4160 | — | 0,86 | 0,83 | — | — |
| f) Bessemereisenbleche | 4390 | 3980 | 3920 | 4460 | 3780 | 3720 | 5030 | 5180 | 0,87 | 0,79 | 0,76 | 0,86 |

Man bemerkt leicht, wie verschieden die Werthe für τ_B und für das Verhältniss $\tau,/\sigma$ ausfallen, und wie sehr die Scheerfestigkeit parallel zur Fläche C beim

Schweisseisen gegen die Scheerfestigkeit nach den Flächen *A* und *B* zurücksteht. Zugversuche nach der Richtung $\overline{03}$ lassen sich bei Grobblechen sehr schwer ausführen.

216. Man pflegt den Scheerversuch auch wohl so anzuordnen, dass zwei Scheerflächen 1 und 2 Fig. 157 entstehen. Bei der im vorigen Abschnitt beschriebenen Art des Versuches wird der Körper einschnittig, bei der in Fig. 157 angedeuteten Art wird er zweischnittig beansprucht, bezw. durchgesehert.

Aber auch bei dieser Anordnung sind Biegungsbeanspruchungen nicht zu vermeiden. Man kann sich die hierbei stattfindende Kraftvertheilung, wie in Fig. 158 gezeichnet, vorstellen. Auch hier müssen also Biegemomente auftreten, deren Grösse sich aber der strengen Rechnung entzieht, weil man die Kraftvertheilung über die Strecken *a* und *b* nicht kennt, also die

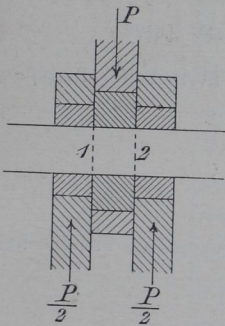


Fig. 157.

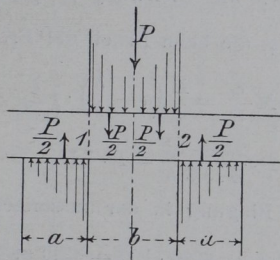


Fig. 158.

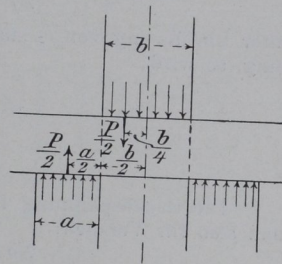


Fig. 159.

Grösse der Hebelarme nicht finden kann. Wollte man streng rechnen, so kämen auch die Reibungen über den Auflagern und deren Einfluss auf die Spannungsvertheilung in Betracht.

Nimmt man unter Vernachlässigung der Reibung willkürlich an, dass die Kräfte über die Strecken *a* und *b* gleichmässig vertheilt seien [in Wirklichkeit stellen sich die Verhältnisse ein wenig günstiger], so findet man nach Massgabe von Fig. 159 das Biegemoment [Körper in der Mitte fest eingespannt gedacht]:

$$M = \frac{P}{2} \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - \frac{P}{2} \frac{b}{4} = \frac{P}{4} \left(a + \frac{b}{2} \right).$$

Dieses Moment ist unter Umständen ausreichend, um an sich schon den Bruch herbeizuführen.

a. Bach (*L 137* § 40) stellte mit Rundstäben aus Gusseisen von 2,0 cm Durchmesser ($f = 3,14$ qcm) nach der in Fig. 157 angedeuteten Anordnung folgende Scheerversuche an:

- No. 1. Bei $P = 3000$ kg bricht der Stab infolge der Biegung im Theil *b*. Der Versuch wird fortgesetzt und bei $P = 10200$ kg findet erst das Abscheeren statt.
- No. 2. Bei 2825 kg bricht der Stab wie früher; bei $P = 9950$ erfolgt Abscheeren.
- No. 3. Bei 3350 kg Bruch; bei 10370 kg Abscheeren.

Wegen der zweischnittigen Beanspruchung und unter der üblichen Annahme, dass sich die Kraft *P* auf die Schnitte gleichmässig vertheilt [was aber keineswegs streng zutrifft], berechnet sich die Scheerfestigkeit, des zu den Bachschen Versuchen verwendeten Gusseisens aus:

$$\tau = \frac{P}{2F}, \text{ also für Versuch}$$

$$\text{No. 1. } \tau = \frac{10200}{2 \cdot 3,14} = 1624 \text{ at}$$

$$\text{No. 2. } \tau = \frac{9950}{2 \cdot 3,14} = 1584 \text{ at}$$

$$\text{No. 3. } \tau = \frac{10370}{2 \cdot 3,14} = 1651 \text{ at}$$

$$\text{oder im Mittel} = 1620 \text{ at.}$$

Berechnet man aus den Abmessungen des von Bach verwendeten Apparates (nach Fig. 159)

$$a = 2,2 \text{ cm und } b = 3,0 \text{ cm, aus } \frac{\Theta}{e} = \frac{\pi}{32} 2^3 = 0,785$$

und aus der oben entwickelten Gleichung:

$$M = \frac{P}{4} \left(a + \frac{b}{2} \right) \text{ sowie aus Gleichung 17 Absatz 170 S. 123}$$

unter Einführung von e_z statt η , die beim Bruch der Probe herrschende Zugspannung, so wird:

$$\begin{aligned} \sigma_{+B'} &= M \frac{e_z}{\Theta} = \frac{P}{4} \left(a + \frac{b}{2} \right) \cdot \frac{1}{0,785} \\ &= P \cdot \frac{2,2 + 1,5}{4 \cdot 0,785} = P \cdot 1,18. \end{aligned}$$

Die Bruchspannung für Biegung in der äussersten gezogenen Faser erhält man also für Versuch:

$$\text{No. 1. } \sigma_{+B'} = 3000 \cdot 1,18 = 3540 \text{ at}$$

$$\text{No. 2. } \sigma_{+B'} = 2825 \cdot 1,18 = 3334 \text{ at}$$

$$\text{No. 3. } \sigma_{+B'} = 3350 \cdot 1,18 = 3953 \text{ at}$$

$$\text{oder im Mittel } \sigma_{+B'} = 3609 \text{ at}$$

Bei Zugversuchen mit denselben Rundstäben fand Bach für Versuch:

$$\text{No. 1. } \sigma_B = 1560 \text{ at}$$

$$\text{No. 2. } \sigma_B = 1586 \text{ at}$$

$$\text{No. 3. } \sigma_B = 1640 \text{ at}$$

$$\text{oder im Mittel } \sigma_B = 1595 \text{ at.}$$

Versuche von Bach über die Abhängigkeit der Biegezugfestigkeit des Gusseisens von der Querschnittsform (*L 137*, § 22 und *L 138*, 1888. 89) haben ergeben, dass für cylindrische Stäbe die Biegezugfestigkeit für die Zugseite aus der durch den Zerreißversuch ermittelten sich findet nach:

$$\sigma_{+B'} = 2,12 \sigma_B;$$

rechnet man hiermit, so würde man aus dem Mittelwerth von σ_B erhalten:

$$\sigma_{+B'} = 1595 \cdot 2,12 = 3381 \text{ at,}$$

was befriedigend mit dem aus den Biegeversuchen gefundenen Mittelwerthe $\sigma_{+B'} = 3609 \text{ at}$ übereinstimmt, da die Hebelarme für das Biegemoment sicher etwas zu gross genommen wurden und die Auflagerreibung ausser Acht gelassen worden ist.

Das Verhältniss zwischen der Scheerfestigkeit $\tau_{B'}$ und der Zerreißfestigkeit findet sich aus den Versuchen zu:

$$\frac{\tau_{B'}}{\sigma_B} = \frac{1620}{1595} = 1,02.$$

Bei diesen Vergleichen darf man nicht vergessen, dass sehr oft der Gefügebau des Materialies eine wesentliche Rolle spielen kann. Bei den Probestücken mit Gusseisen kommt das leicht vor, wenn man mit Eisen zu thun hat, das in gewissem Maasse zum Abschrecken neigt. Dann wird das Netzwerk weissen Eisens nahe an den Oberflächen dichter, und das kann zuweilen, ohne gerade auffällig hervorzutreten, in umfangreichem Maasse geschehen, so dass selbst nach Fortarbeitung der äusseren Gushaut der ungleichmässige Gefügezustand noch besteht.

Dass das Verhältniss zwischen Zugfestigkeit und Scheerfestigkeit in hohem Maasse von der Eigenart der Materialien abhängig ist, geht sehr schlagend aus Fig. 160 hervor, welche die Abhängigkeit der Zug-, Druck- und Scheerfestigkeit von dem Nickelgehalt einer Eisen-Nickellegirung darstellt. Alle Versuche gleicher Art sind immer mit gleichen Stabformen von gleichen Abmessungen ausgeführt.

b. Man erkennt aus dem oben im vorigen Absatz mitgetheilten Beispiel, dass der Einfluss der Biegungsspannungen bei zweisehnittigen Scheeren jedenfalls von

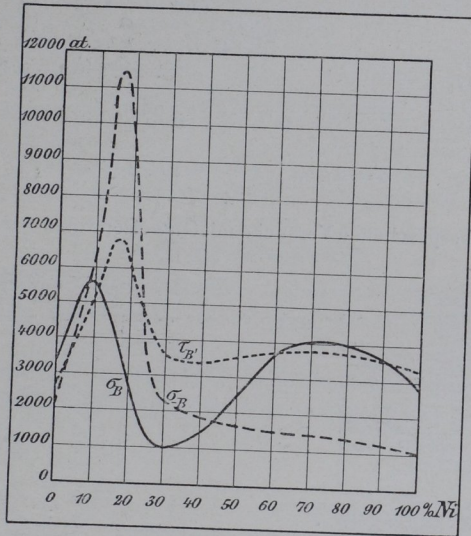


Fig. 160.

Festigkeitseigenschaften von Eisen-Nickellegirungen mit wachsendem Nickelgehalt.
 σ_B = Tragfestigkeit, $\sigma_{B'}$ = Druckfestigkeit, $\tau_{B'}$ = Scheerfestigkeit.

dem Verhältniss der Scheerbackenbreiten zum Durchmesser des Probestückes abhängig ist. Denn je schmäler die Backen werden, d. h. je kleiner a und b , desto kleiner werden auch die Hebelarme für das biegende Moment. Will man den Scheerenapparat einem bestimmten Material anpassen, und ihn so einrichten, dass das Biegemoment möglichst klein wird, so kann man von folgenden Gesichtspunkten ausgehen.

Wird dabei vorausgesetzt, dass sich die Kräfte P und $P/2$ über die Längen a und b Fig. 159 gleichmässig vertheilen, und ferner, dass man den Druck, den die Backen a und b auf den Umfang des cylindrischen Probestückes ausüben, den Laibungsdruck, über die Projektion der Druckfläche als gleichmässig vertheilt ansehen darf, so wird die Laibungsbeanspruchung unter den Backen bei:

$$a) p_l = \frac{P}{2 a d} \text{ und}$$

$$b) p_l' = \frac{P}{b d} \text{ wenn}$$

d der Durchmesser der Probe.

Man wird den Druck $p_l = p_l'$ bis nahe an die Bruchgrenze des Probekörper-

materialies anwachsen lassen dürfen, weil bei spröden Materialien die Formänderungen bis zum Bruch gering sind, und weil bei zähen und bildsamen Materialien nach Ueberschreitung der Quetschgrenze die Höhlung der Scheerbacken genau ausgefüllt wird und die Druckfestigkeit deswegen über die an freien Probestücken bestimmten Werthe anwächst. Die Scheerbacken wird man ja immer aus möglichst hartem und festem Material herstellen. Setzt man also als äussersten Grenzwert

$$p_l = p'_l = \sigma_B$$

gleich der am freistehenden Würfel ermittelten Druckfestigkeit des Probematerialies, so wird:

$$P = 2 a d \sigma_B = b d \sigma_B; \quad a = \frac{b}{2}$$

Die Scheerfestigkeit der Probe ist aber:

$$\tau = \frac{P}{2 d^2 \frac{\pi}{4}} \quad \text{und}$$

hieraus ergibt sich:

$$P = 2 d^2 \frac{\pi}{4} \tau, \quad = b d \sigma_B \quad \text{oder}$$

$$b = 2 a = \frac{\pi}{2} d \frac{\sigma_B \tau}{\sigma_B} = 1,57 d \frac{\tau}{\sigma_B}$$

Für die oben besprochenen Versuche mit Gusseisen war $d = 2,0$ cm; $\tau_{B'} = 1620$ at,

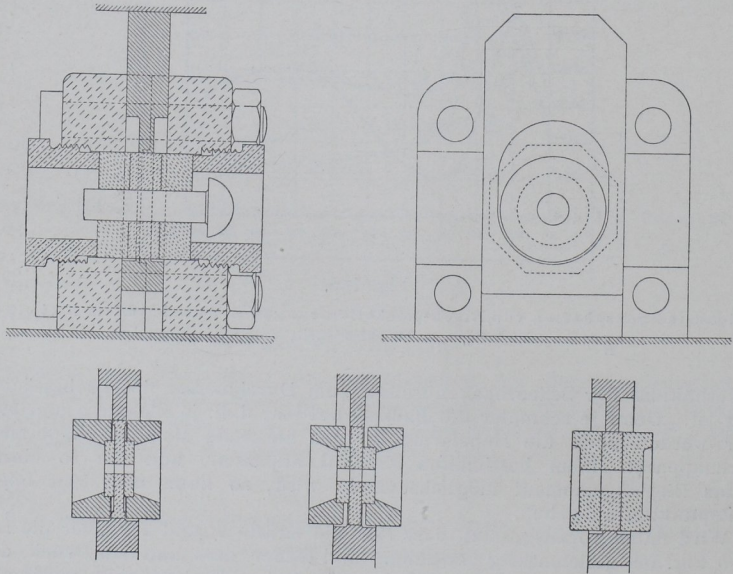


Fig. 161.

und σ_B wird man auf etwa 7500 at setzen können. Demnach würde man unter den gemachten Annahmen:

$$b = 2 a = 1,57 \cdot 2 \cdot \frac{1620}{7500} = 0,68 \text{ cm}$$

machen dürfen. Der Apparat von Bach hatte $a = 2,2$ cm und $b = 3,0$ cm.

Berechnet man aus der mittleren zum zweischnittigen Scheeren erforderlichen Kraft (Absatz a) $P = (10200 + 9950 + 10370) \frac{1}{3} = 10173$ kg und aus den vor-

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

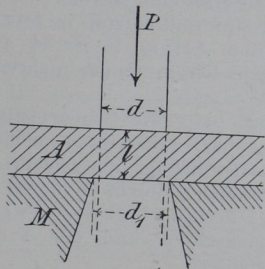


Fig. 162.

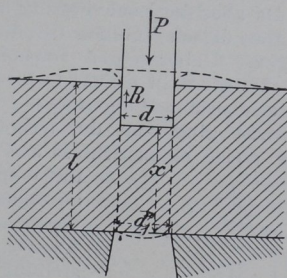


Fig. 163.

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

$$\tau'' = \frac{P}{f}, \text{ wenn}$$

$f = \pi dl$ 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:

$$\tau'' = \frac{P}{\pi dl}.$$

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