

$A = 2 \cdot \frac{P}{2} \delta + P (b \tan \alpha - \delta) = P \cdot b \tan \alpha$ folgt. Die gedachte Annahme wird sich von der Wirklichkeit nicht weit entfernen. Der Ausschub des Schiebers wird in diesem Falle mindestens $20 + 120 \cdot \tan 10^\circ = 41,2$ mm betragen müssen.

Bei dem Lochen hat man stets einen Kreuzungswinkel der Schneiden gleich Null. Auch hierfür giebt Kell die Widerstände für die meist vorkommenden Bleche in der folgenden Zusammenstellung an:

Widerstand des Lochens in kg für 1 mm Blechdicke und 10 mm Schnittlänge				
Eisen	Stahl	Kupfer	Zink	Zinn
200	400	150	120	19

Die hier angeführten Zahlen stellen den Druck vor, welcher zum Scheren dünner Bleche von 1 mm Dicke und 10 mm Breite erforderlich ist, sobald die Scherblätter zu einander parallel angeordnet sind. Bei gleichen Dicken verhalten sich die Widerstände hier einfach wie die Breiten b und bei gleichen Breiten direct wie die Dicken, wie man aus der oben unter 2) angegebenen Gleichung sogleich erkennt, wenn man einmal $\delta = \delta_1$ und das andere Mal $b = b_1$ einsetzt, und berücksichtigt, daß der Weg des Widerstandes hier gleich der Dicke δ angenommen werden kann, so lange das Blech nur eine geringe Stärke hat. Dagegen sind diese Werthe nicht unmittelbar verwendbar, sobald es sich um das Lochen dickerer Platten, wie z. B. der Kesselbleche, handelt, da hierbei der Vorgang, wie schon oben hervorgehoben wurde, nicht in einem reinen Abscheren besteht, sondern der Trennung eine gewisse Verdrängung von einzelnen Materialtheilen vorhergeht. Es sind in dieser Hinsicht die von Keller¹⁾ angestellten Versuche sehr lehrreich, und es möge im Folgenden näher auf die Ergebnisse dieser Versuche eingegangen werden.

Keller's Versuche. Bei den erwähnten, von Keller angestellten §. 74. Versuchen wurden schmiedeeiserne Flachstäbe und Kesselblechstücke auf einer kräftigen Schraubenpresse, wie sie zu Materialprüfungen verwendet wird, mit Stempeln von 12, 15, 18 und 20,8 mm Durchmesser gelocht; die Dicken der Versuchsstücke schwanken zwischen 2,7 und 24 mm. Die Versuche wurden derart ausgeführt, daß während des Lochens in hinreichend vielen nahe auf einander folgenden Zeitpunkten nicht nur der von der Schraubenspindel ausgeübte Druck an dem zu dem Ende vorhandenen Belastungshebel abgelesen, sondern jedesmal gleichzeitig die Anzahl der Umdrehungen festgestellt wurde, welche die zum Betriebe der Schraube dienende Vorgelegswelle vollführt hatte, die ihre Umdrehung von einem Otto'schen Gasmotor empfing. Aus dem bekannten Umsehungsverhältniß zwischen dieser Vorgelegswelle und der Schraubenspindel konnte dann der Weg der letzteren ermittelt werden, wobei die durch vorherige Versuche festgestellte, aus den elastischen Formänderungen der Maschinenteile sich ergebende Bewegung entsprechende

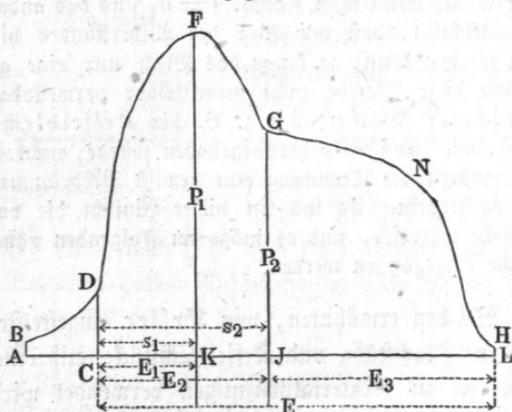
¹⁾ Ztschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1888.

Berücksichtigung fand. Werden nun die betreffenden Bewegungen der Spindel oder des Lochstempels als Abscissen auf einer Aze und die zugehörigen Pressungen als die Ordinaten dazu aufgetragen, so erhält man ein Diagramm, welches über die bei dem Lochen stattfindenden Vorgänge Aufschluß giebt. Diese Diagramme, von denen an der angezeigten Stelle eine größere Anzahl veröffentlicht ist, zeigten im Allgemeinen den durch die Fig. 247 angedeuteten Verlauf. Aus denselben ergibt sich, daß der ganze Vorgang bei dem Lochen in vier von einander hinreichend unterschiedene Abschnitte zerfällt.

Der erste, in der Figur durch $ABDC$ dargestellte Abschnitt entspricht dem Eindringen des an dem Lochstempel befindlichen kegelförmigen Körners, derselbe ist für das eigentliche Lochen nicht von erheblicher Bedeutung, er war gar nicht zu bemerken, wenn die in dem Bleche vorher schon angebrachte kegelförmige Vertiefung zur Aufnahme des Körners geräumig genug war.

Der zweite, durch $CDFK$ dargestellte Abschnitt zeigt die schnelle Steigerung des Stempeldruckes, wie sie im Anfange sich einstellt, während das

Fig. 247.



Blech unter dem Stempel zusammengedrückt oder vielmehr nach der Seite hin gedrängt wird. Daß das letztere der Fall ist, geht, wie schon früher bemerkt wurde, daraus hervor, daß der aus dem Loche herausgedrückte Pußen zwar eine geringere Dicke, aber kein höheres spezifisches Gewicht als das Blech hat. Gleichzeitig mit dem Eindringen des Stempels oben zeigt

sich ein Hervortreten des Eisens unterhalb, ohne daß jedoch bereits eine Trennung durch Abscheren stattfände, wie der gänzliche Mangel an Rissen in den geätzten Flächen des zu dieser Zeit durchgeschnittenen Probestückes beweist. Dieser zweite Abschnitt erreicht sein Ende mit dem Maximaldrucke $P_1 = KF$, der durch die wagerechte Tangente in dem Diagramme bestimmt ist. Das Eindringen des Stempels ist bei der Erreichung dieses größten Druckes P_1 durch $CK = s_1$ ausgedrückt.

Der dritte Abschnitt zeigt ein ziemlich schnelles Abnehmen der Pressung, eine weitere Verringerung der Dicke des Lochkerns, aber immer noch kein eigentliches Abscheren, so daß man annehmen muß, während dieser weiteren Bewegung werde zunächst noch eine fernere Verdrängung des Materials bewirkt. Erst in einem mehr oder minder scharf gekennzeichneten Punkte G

erreicht dieser Abschnitt sein Ende, welcher Punkt dadurch festgestellt wird, daß die schnelle Abnahme des Druckes, welche der steilen Curve FG entspricht, einer viel geringeren Abnahme weicht, wie sie durch die anfangs nur wenig gegen den Horizont geneigte Curve GNH dargestellt wird. Von diesem Augenblicke an, welchem der Druck $JG = P_2$ und der Weg $CJ = s_2$ entspricht, beginnt die eigentliche Trennung des Lochkerns von dem Bleche und das Herauschieben des ersteren aus dem letzteren, welchem Vorgange der vierte Abschnitt der Curve $GNHL$ zugehört.

Die zwischen der Axe AL und der erhaltenen Diagramm- oder Schaulinie enthaltene Fläche giebt in der bekannten Weise ein Maß für die Größe der geleisteten Arbeit, und aus der Vergleichung einer großen Anzahl seiner Versuche leitet Keller die folgenden Beziehungen ab: Bezeichnet man mit E die für den ganzen Vorgang erforderliche, durch die ganze Fläche $CD FGNL$ gemessene Arbeit, und bedeutet ebenso E_1 die dem zweiten Abschnitte zugehörige Arbeit, ferner E_2 die Arbeit für den zweiten und dritten Abschnitt zusammen, und endlich E_3 die dem vierten Abschnitte zukommende Arbeit, so ist die ganze zum Loch erforderliche Arbeit:

$$E = 0,0203 D^3 \pi \left[\left(\frac{\delta}{D} \right)^2 - 0,14 \left(\frac{\delta}{D} \right) + 0,01 \right] \text{ mkg,}$$

und $E_1 = 0,367 E$; $E_2 = 0,509 E$; $E_3 = 0,491 E$, wenn D den Stempeldurchmesser und δ die Blechdicke in Millimetern vorstellt. Desgleichen findet sich für die Bewegung des Stempels während des ersten Abschnittes $s_1 = 0,9 \text{ mm} + 0,01 \delta^2$, und als durchschnittlicher Mittelwerth davon: $s_1 = 0,206 \delta$. Ebenso ist: $s_2 = 0,4 \delta - 0,6 \text{ mm}$, und im Durchschnitt: $s_2 = 0,33 \delta$.

Will man die Größe der Scherfestigkeit für die Einheit der Trennungsfläche bestimmen, so kann man den größten Druck P_1 hierzu benutzen, und man erhält, wenn man als Trennungsfläche die Innenfläche $\pi D \delta$ des Loches ansieht, den Werth der Abscherungsfestigkeit für 1 qmm zu $k = \frac{P_1}{\pi D \delta}$.

Wenn man dagegen als die Trennungsfläche nur die Größe $\pi D (\delta - s_1)$ annimmt, so berechnet sich nach den Keller'schen Versuchen die am Ende des zweiten Abschnittes stattfindende spezifische Pressung zu $k_1 = \frac{P_1}{\pi D (\delta - s_1)}$.

Als Mittelwerthe ergaben sich $k_1 = 39 \text{ kg}$ und $k = 31 \text{ kg}$. In gleicher Art kann man die Spannung für die Einheit der Anhaftungsfläche in dem Augenblicke bestimmen, in welchem die Materialverdrängung ihr Ende erreicht hat und die Trennung erfolgt; man erhält für diesen Augenblick die

Spannung zu $k_2 = \frac{P_2}{\pi D (\delta - s_2)}$ und als durchschnittlichen Mittelwerth $k_2 = 36,6 \text{ kg}$.

Aus den oben angeführten Formeln für die verschiedenen Arbeiten folgt, daß zu der Verdrängung des Materials mehr als die Hälfte (0,509 E) der ganzen aufzuwendenden Arbeit E verbraucht wird, und nicht ganz die Hälfte (0,491 E) dem eigentlichen Abtrennen entspricht. Es ist ferner noch von Interesse, zu untersuchen, in welchem Verhältnisse die zum Lochen thatsächlich aufzuwendende Arbeit E zu derjenigen $A = P_1 \delta$ steht, welche man erhalten würde, wenn man den höchsten Druck P_1 auf dem ganzen Wege gleich der Blechdicke δ unveränderlich wirksam annehmen wollte. Die Versuche ergaben in dieser Hinsicht ein etwas veränderliches Verhältniß von $\frac{E}{A}$, welches zwischen 0,405 und 0,661 schwankte und im Allgemeinen mit zunehmender Blechdicke größer, dagegen mit zunehmendem Stempeldurchmesser kleiner ausfiel. Mit diesen Versuchsergebnissen sind die Annahmen einigermaßen im Einklange, welche von Karmarsch einerseits und von Kieß andererseits in dieser Hinsicht gemacht werden, indem Karmarsch vorschlägt, man solle den höchsten Druck nur auf einem Wege gleich der halben Blechdicke als wirksam voraussetzen, wogegen Kieß hierfür $\frac{2}{3}$ der Blechdicke annimmt.

Beispiel: Für einen Stempeldurchmesser $D = 20$ mm und eine Dicke des zu lochenden Eisenbleches von $d = 10$ mm sind die Verhältnisse zu bestimmen.

Man findet nach den vorstehenden Formeln unmittelbar die Tiefen des Eindringens des Stempels in das Blech zu

$$s_1 = 0,206 \cdot 10 = 2,1 \text{ mm}, \quad s_2 = 0,33 \cdot 10 = 3,3 \text{ mm},$$

ferner die entsprechenden Pressungen auf den Stempel zu

$$P_1 = 31 \cdot \pi D d = 31 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 10 = 19468 \text{ kg},$$

$$P_2 = 36,6 \pi D (d - s_2) = 36,6 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 6,7 = 15400 \text{ kg}.$$

Die ganze, für eine Lochung erforderliche Arbeit bestimmt sich ebenso zu

$$E = 0,0203 \cdot 20^3 \cdot 3,14 \left[\left(\frac{10}{20} \right)^2 - 0,14 \frac{10}{20} + 0,01 \right] = 96,8 \text{ mkg},$$

wovon $0,509 \cdot 96,8 = 49,3$ mkg zur Materialverdrängung und $47,5$ mkg zur eigentlichen Abtrennung des Rußens erfordert werden.

Es muß bemerkt werden, daß die hier angezogenen Versuche bei sehr kleinen Geschwindigkeiten des Stempels vorgenommen wurden, es erforderte nämlich der Weg des Stempels um 1 mm dabei eine Zeit zwischen 80 und 90 Secunden. In allen Fällen der Anwendung aber ist die Stempelgeschwindigkeit viel größer, wie sich daraus ergibt, daß ein gewöhnliches Lochwerk für Kesselbleche in einer Minute zwischen acht und zehn Lochungen bewirkt, so daß zu einem einfachen Niedergange von ungefähr 20 mm nicht mehr als etwa 3 bis 4 Secunden erforderlich sind. Um nun den Einfluß einer größeren Geschwindigkeit des Lochstempels auf die Verhältnisse zu beurtheilen, wurden auch Versuche mit zwar größeren, aber doch immer noch sehr kleinen Geschwindigkeiten ausgeführt, aus denen sich eine Zunahme sowohl des größten Druckes P_1 wie auch der ganzen Arbeit E ergab, sobald die Geschwindigkeit gesteigert wurde. Keller empfiehlt daher, die für die

Anwendung zu Grunde zu legenden Werthe um etwa 10 Proc. größer anzunehmen, als sie aus den Versuchen sich ergeben.

Hartig's Versuche. Es muß hervorgehoben werden, daß die vorstehend angegebenen Ermittlungen sich nur auf den Widerstand beziehen, welchen das zu durchlochende Material dem Stempel unmittelbar entgegensetzt, wogegen die in der Schere oder dem Lochwerke thatsächlich auftretenden Widerstände natürlich ganz erheblich größer ausfallen müssen wegen der in diesen Maschinen auftretenden Nebenhindernisse. Aus diesem Grunde haben die Angaben einen besonders großen Werth, welche von Hartig¹⁾ auf Grund zahlreicher Versuche an wirklichen Maschinen gemacht sind, und auf welche im Laufe der späteren Besprechungen noch mehrfach Bezug genommen werden wird. Diese Versuche wurden mittelst des aus Th. II, 2 bekannten Hartig'schen Dynamometers an vielen Arbeitsmaschinen derart gemacht, daß an denselben während ihrer regelrechten Thätigkeit durch den an dem Kraftmesser befindlichen selbstthätig aufzeichnenden Apparat die Diagramme oder Schaulinien genommen wurden, welche für jeden Augenblick die Federspannung und damit die Größe des auf die Triebwelle der betreffenden Maschine übertragenen Druckes ersehen lassen. Aus diesen Aufzeichnungen und den gleichzeitig ermittelten Umdrehungszahlen der Triebwelle konnte dann die Arbeit berechnet werden, welche bei dem Versuche verbraucht wurde. Aus einer größeren Anzahl von Versuchen an Scheren und Lochmaschinen kommt nun Hartig zu den folgenden Ergebnissen:

Man kann den ganzen Arbeitsaufwand einer Schere wie Lochmaschine in Pferdekraften zu $N = N_0 + N_1$ annehmen, worin N_0 den Arbeitsverbrauch für den Leer gang darstellt, welcher für eine bestimmte Maschine einen unveränderlichen Werth hat, der bei den verschiedenen untersuchten Maschinen zwischen 0,16 und 1,02 Pferdekraften schwankte. Die Größe N_1 dagegen, welche der eigentlichen Nutzleistung der Maschine entspricht, hängt ab von der Größe der in bestimmter Zeit erzeugten Schnittfläche. Aus den Versuchen ergab sich, daß man bei den Scheren sowohl wie bei den Lochmaschinen den Arbeitsbetrag in Meterkilogrammen für jeden Quadratmillimeter Schnittfläche zu $\alpha = 0,25 + 0,0145 \delta$ mkg annehmen kann, wenn δ die Dicke des Arbeitsstückes in Millimetern bedeutet. Wenn daher die Schnittfläche einer Maschine stündlich zu F qm, also in der Secunde zu $\frac{1000000}{60 \cdot 60} F = 277,8 F$ qmm bemessen ist, so findet sich die für die eigentliche Nutzleistung erforderliche Betriebskraft zu

¹⁾ Versuche über Leistung und Arbeitsverbrauch der Werkzeugmaschinen von Dr. C. Hartig. Mittheilungen der Sächsl. Pol. Schule zu Dresden 1873.