この試料面から浮上つた反射映像の鮮明度を利用する方法は、人の勘による定性的な肉眼判定を定量化し、適応した条件で利用すれば簡便で応用も広い。

なお定量的に反射光の拡散分布を解析し、他のものとの関連を求めるには更に実験を必要とする。

終りに本実験は文部省科学研究費により行つたもので終始高田潤君の協力による事を記し感謝の意を表する。

(1956, 7月10日受付)

参考文献

- 1) 中村：応用物理, 24 (1955), 79. 2) 蓮沼・奈良：応用物理, 22 (1953), 389. 3) Halling: J. Sci. Inst., 31 (1954), 318. 4) 蓮沼, 奈良：応用物理, 23 (1956), 214. 5) 蓮沼：応用物理, 23 (1954), 501. 6) 中村：精機学会前刷 (昭30年春). 7) 蓮沼, 奈良：応用物理, 24 (1955), 457. 8) 蓮沼：機械の研究, 8 (1956), 515. 9) 蓮沼・奈良：Jour. Phys. Soc. Jap. 11 (1956), 69. 蓮沼：精密機械, 22 (1956), 131. 10) 蓮沼：応用物理, 24 (1955), 97. 11) 竹中・津上：精密機械, 17 (1951), 337.

プレス孔明け加工の研究 (その二)*

正 会 員 齋 藤 博**

Researches on Piercing Test (Part 2)

Hiroshi SAITO

This report describes the study of piercing test by punches, 4mm in diameter, with wedge-shaped and coniform ends. Wedge and cone angles of punches are varied between 0° and 45° . Specimens are steel and brass sheets of 4 mm and 1 mm in thickness.

Then following results are gained.

1) In piercing a sheet of 4 mm in thickness, the increase of primary loads at wedge-shaped and coniform end punches is smaller than at flat end punches, and penetration at former is larger. The larger the wedge and cone angles of punches, the more remarkable those phenomena.

2) The maximum load in piercing a sheet of 4 mm in thickness, is generally larger in case of wedge-shaped and coniform end punches than of flat end punches.

In the test of wedge-shaped punches with angles larger than 15° , the maximum load is approximately constant. In the test of coniform end punches, the maximum value of the maximum load exists at a certain cone angle in the maximum load-wedge, cone angle diagram. On piercing a sheet of 1 mm in thickness, corresponding to a certain value of the wedge angle, the maximum loads begin to decrease suddenly by the effect of shear angle, and at a certain value of the coniform angle, the maximum value of the maximum load exists.

3) And others.

1. は し が き

前回は、先端が平な、普通の形状のパンチを用いたが、今回は先端を山形及び円錐としたパンチ^{2,3)}に就いて実験を行つた。山形及び円錐の水平面との角度を 0° から 45° 迄に変えて、荷重-ストローク線図を求め、孔明け抵抗、パンチの喰込量、及び孔の形状等に就き検討し

た。

2. 実験に用いた材料

試片の材料は、厚さ 4mm と 1mm の高級仕上鋼板及び黄銅板を使用した。厚さ 4mm の材料は前回と同一のものである。材料に対して払つた注意は前回と同様である。

表1は厚さ 1mm の試片材料の実測した諸性質を示す。

* 昭30, 5月7日 精機学会春期講演会で発表

** 富士電機製造株式会社松本工場

表 1

性質 材料名	板 厚 mm	定 尺 寸 法	引張強さ kg/mm ²	伸 率 %	V. H. N.	化学成分% (分析値)
高級仕上鋼板 第 3 種	1	3'×6'	35.0	35.6	103	C 0.16, Mn 0.31, Si 0.06 P 0.017, S 0.027, Cu 0.17
黄銅板 第 3 種 (46黄銅半硬質)	1	365×1200 ^{mm}	41.6	—	125	Cu 60.01, Pb 0.17, Sn 0.08 Fe 0.04, Al 0.23

パンチ及びダイの材質と、その熱処理其他も前回通りである。

3. 実験装置と方法

(1) パンチ及びダイ

図 1.1~1.3 に示す通り、パンチの直径は 4mm で、先端は円錐及び対称な山形である。円錐又は山形の水平面との角度を θ とし、 $\theta=0^\circ\sim 45^\circ$ として、その間で θ が変化したパンチを各数本づつ用意した。ダイの断面形状は図 1.4 の通りである。ダイの径は、試片の板厚 4mm に対しては、41.6mm (クリアランス 2%) とし、

図 1 パンチとダイ

図 2 荷重-ストローク線図

板厚 1mm の場合には 4.12mm (クリアランス 6%) である。

(2) 孔明け線図記録部分

前回りと同様であるから、図は省略する。動作の原理は、パンチのストロークを、スリット薄円板付きダイヤルゲージに伝え、パンチのストローク 0.02mm につき 1 回づつ平行光線を遮断する。これを光電管を使用して光電流のパルスに変え、これを増幅して、記録ドラムに取り付けた電磁石を動作させる。これにより、アムスラー試験機の記録ドラムが間歇的に廻転され、ドラム上に階段状な線図が描かれる。パンチのストロークの記録紙上への拡大率は、板厚 4mm では 26.2 倍で 1mm の場合には 52.4 倍である。

4. 実験結果と考察

(1) 孔明け荷重-ストローク線図

前述の装置を使用して記録した。階段上の孔明け加工の荷重-ストローク線図を円滑にした例を図 2 に示してある。パンチのストロークを S とし、板厚を t として S/t を % で表わして横軸とした。又山 MS4, 円 Br1 等の記号は、それぞれ山形パンチで厚さ 4mm の仕上鋼板円錐パンチで厚さ 1mm の黄銅板等の意味である。

i) 板厚 4mm の場合

板厚 4mm で平パンチ ($\theta=0^\circ$) に就ては、前回に述べたから省く。山形パンチの場合、孔明けの初期、即ちパンチの先端の山形の高さ迄、パンチは板材に楔状に喰込む。従つて板面からの等しいストロークに対しては、山の角度 θ が大きい程、パンチと板材との接触面積は減少し、パンチの楔効果と相まつて、板材から受ける抵抗、即ち孔明け荷重も少くなる。この為に図 2.1 の線図の如く、 θ が増加するにつれて、線図は倒れた形状となる。円錐パンチでも同様に考えられる。角度 θ の等しい円錐パンチと山形パンチを比較すると、同じストロークでは、円錐パンチの方が更に板材との接触面積は少くなり、従つて初期の荷重の増え方も僅少となるわけである。以上は黄銅板及び仕上鋼板に就き同様である。仕上鋼板の方が所謂軟質の為に、パンチのストロークは長くなる(図 2.2, 2.3 比較)。板厚 4mm の加工の際は、両材料共、二次剪断が発生する。

ii) 板厚 1mm の場合

仕上鋼板及び黄銅板に於て、円錐パンチでは θ が増加するにつれて、パンチ刃先角は鈍角となつて、パンチ刃先から板材に、クラックが入り難くなる。これは加工後の孔の周囲の「だれ」が大きいことから明かである。 θ が大きくなると、抜き滓の部分は、パンチの形状にならつて張り出される(写真 2.7~2.9)。これらに起因して、 θ が増すにつれて、線図の初期の部分は著しく長くなる(図 2.5, 2.6)。山形パンチの場合はシャ角の効果が見られる(図 2.4)。

(2) 加工中の試片の断面写真

写真 1 は、板厚 4mm の仕上鋼板の試片を用いた孔明け加工の断面の写真である。 θ は S/t を表わして居る。写真 1.1~1.3 は平パンチの場合で、普通の打抜き加工とはほぼ同様な形状を示して居る。但し、抜き滓の下面はかなり彎曲する。写真 1.4~1.6 は、山形パンチ ($\theta=45^\circ$) による加工で、山形に直角な方向の断面を示す。写真 1.7~1.9 は円錐パンチ ($\theta=45^\circ$) の場合である。両者共、パンチが板材に楔状に喰込み、平パンチと比較して、抜き滓の部分の材料が著しい変化を受ける。即ち、抜き滓のパンチと接する面はそれぞれのパンチの下面と全く同じ形状となり、抜き滓の総高さは原の板厚よりも大きくなつて居る。写真 2.1~2.9 は、板厚 1mm で、仕上鋼板の加工の断面である。写真 2.1~2.3 は平パンチによる加工で、普通の打抜き加工と全く同じ形状である。写真 2.4~2.6 は、山形パンチ ($\theta=45^\circ$) の山に直角な方向の断面で、この方向では材料は、加工の終

写真 1 試片の断面 (板厚 4mm 仕上鋼板)

る迄にかなり伸ばされる。従つて板材の孔周囲のだれは、やゝ大きくなる。写真 2.7~2.9 の円錐パンチの場合も同様である。両者共抜き滓は、加工が進むとそれぞれパンチの下面に倣つた形状となる。写真 1 及び 2 は、試片材料は仕上鋼板であるが、黄銅板の試片に就ても形状は同様である。

(3) 孔明け抵抗

前回と同じく孔明け抵抗 f を考えて

$$f = P_{\max}/\pi dt \dots\dots\dots(1)$$

但し、 f = 孔明け抵抗 kg/mm^2

$P_{\max}$ = 孔明けの最大荷重 kg

d = パンチ径 mm , t = 板厚 mm

π = 円周率

f と θ の関係を、各材料、板厚に就いて求めたものが図 3 である。図で、Br4, MS4 等は、厚さ 4mm 黄銅板、及び厚さ 4mm 仕上鋼板等の記号である。

i) 板厚 4mm

板厚 4mm の場合，山形パンチでは，両材料に於て， $\theta=15\sim 20^\circ$ 迄， f の値は僅か増加するが， θ がそれ以上ではほぼ一定となる。円錐パンチの場合には f は $\theta=25\sim 35^\circ$ で極大値を示す。これらの原因は工具刃先附近，殊にパンチに接する板材が加工に伴つて大きく変形し，板材の応力の分布も刻々複雑に変化する為に不明である。両材料に於て f の極大値は，円錐パンチの方が山形パンチより大きい。これは前に述べた通り，クラック発生が遅速が原因と考えられる。

ii) 板厚 1mm

厚板 1mm で山形パン

写真 2 試片の断面 (板厚 1mm, 仕上鋼板)

図 3 θ と孔明け抵抗

チの場合， θ が或る値に達すると，著しく f の値が減少するのは，山形によるシヤ角の影響りと考えられる。円錐パンチの場合は前述の理由で，極大値は山形パンチの場合よりも大きくなる。

(4) パンチ喰込量

孔明けに必要なパンチのストロークの板厚に対する % を，パンチ喰込量と名付けた。これには荷重-ストローク線図に見られる残圧の部分は含まない。パンチ喰込量と

図 4 θ とパンチ喰込量

θ との関係求めたものを図 4 に示す。両材料とも両板厚に於て円錐パンチの方が山形パンチよりも喰込量が大きい傾向が見られる。これは前述の孔明け抵抗で説明したのと，同様な理由と考えられる。

(5) 孔の形状

加工後の孔の形状を測定した。図 5 は孔の直径の変化を示す。 d_1 は「だれ」と孔の剪断面の交つた処の径で， d_2 は「ばり」の先端に於て測定した径である。 d_1 及び

d_2 は、いずれもパンチ直径より僅か大きくなつて居る。その増加分をそれぞれ Δd_1 , Δd_2 として、これらと θ との関係を求めた。 Δd_1 は 0.008~0.03 mm 位で、 Δd_2 は最大 0.12~0.13mm 程度でダイの径より僅か小さい。これらの値はパンチによる加工後、リーマー仕上等を施す際の目安になろう。

孔の「だれ」「ばり」及び剪断面の長さ等も測定したが図は割愛する。この測定は、孔を切断せずに、試片を45° 傾斜したジグに取り付けて、工具顕微鏡(30×)で測定箇所それぞれ焦点を合せて行つた。

(6) 其 の 他

i) 山形及び円錐パンチの効果

板厚と関連して、山の高さの適当な山形パンチを使用すると、シヤ角の効果で孔明けの最大荷重は低下する利点がある。又比較的厚い板材を加工する時に、適当な角度を与えた山形或は円錐パンチとすると、パンチが喰込む際に偏れが少く、従つてパンチの寿命も増すのではないかと考えられるが、これは今後の実験に俟たねばならない。

ii) 山形面又は円錐面と板材との滑り

比較的厚い板材を、山形及び円錐パンチで加工する際に、抜き滓の部分の材料は、山形面及び円錐面に沿つて流動する(写真1)。 θ が或る値に於て、パンチと材料が特に滑り易くなり、特異な現象が起ることも予想されたが、此の実験の範囲では認められない。

5. 結 び

以上を総括すると、両材料に於て

1. 厚さ 4mm の板材を孔明けする場合に、山形及び円錐パンチは、平パンチに比較して、孔明けの初期荷重の増え方は小さく、パンチのストロークは長くなる。山形或は円錐の角度が増加する程此の現象は著しくなる。板厚 1mm では、此の傾向が更に著しい。

2. 孔明け最大荷重は板厚 4mm では、一般に平パンチよりも山形パンチ及び円錐パンチの方が大きい。山形パンチでは、山の角度が約 15° 以上では最大荷重がほぼ

図 5 θ と孔の直径の増加

一定となる。円錐パンチでは、円錐の角度が或る値に於て最大荷重の極大値がある。板厚 1mm では山形パンチは山の角度が或る値に達すると、シヤ角の効果で最大荷重は著るしく下る。円錐パンチでは、円錐の或る角度に対して最大荷重の極大値が示される。

3. 加工に要するパンチのストロークは山或は、円錐の角度の増加に伴つてほぼ直線的に増す。一般に円錐パンチの方が山形パンチより所要ストロークは多い傾向がある。

以上の実験に際しては、東大教授井福伸二博士、前田助教授の懇切な御指導と、東大助教授倉藤尚雄博士の御鞭撻を頂いたものであり、茲に厚く謝意を表する。

(1956, 7月14日受付)

文 献

- 1) 斎藤 博; 昭29.10.29 六学協会連合塑性加工専門講演会で発表。
- 2) F. D. Jones; Die Design and Die-making Practice, 2nd Ed., 1947, p. 308~311.
- 3) F. A. Stanley; Punches and Dies, 2nd Ed. 1936, p. 17.
- 4) 福井伸二・久能木真人; 科学研究所報告, 第28輯, 第3号, p. 143~146.