

(第一報 深絞り加工)

福井伸二・三國英男・工藤英明

(1946年12月28日受理)

I. 緒言

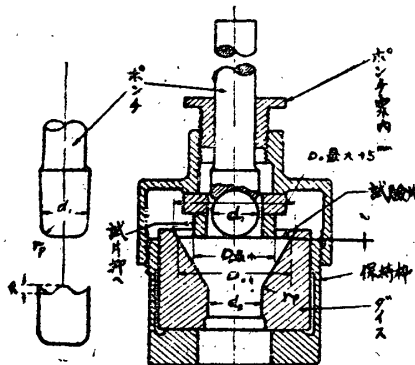
薄板材料は使用に際し剪断、曲げ、深絞り等の加工を受ける事が多いが、その際被加工性を比較検討する必要は屢々経験される處である。引張試験結果の抗張力、伸率、或は各種の硬度数を判断の基準とするのは、第一歩で、深絞りに対しては、Frichsen 型の試験、Siebel, Pomp の孔擴げ試験、Sachs, Kayseler の楔形試片法の様な間接的の方法から、直接簡単な深絞り試験を行つて、深絞り限界、又は限界絞り率をもつて比較する方向に進んで來、Wazau⁽²⁾、AEG⁽³⁾等の専門的装置が現れ、これらを用ひて前述の間接的の結果と比較した論文も發表されて居る。例へば W. Helling⁽⁴⁾は Al について、又 A. Pomp, A. Krisch⁽⁵⁾は特殊鋼板について研究し、間接的の結果は必ずしも直接的の結果とは並行しない事を示して居る。又一方深絞り加工においては、例へば著者⁽⁶⁾、或は海野氏⁽⁷⁾の研究で明かな様に、深絞り限界は工具の形状、抑へ力等に影響されるので結果の比較は益々複雑になり、皺抑へ装置をつけた試験器は構造も、操作も複雑である。著者は前々から頂角の成可小さい、少くとも 60° 程度の圓錐面の一部を使ふ圓錐型ダイスを使ふと、試験片の板厚と直径の關係が適當であれば、皺抑へ力は不必要で、ダイス孔肩の形状の影響も非常に小さくなる事を研究して居るので、その結果を應用して超デュラル

ミン SD 板の厚さ 0.5~2.0mm の範圍において、それぞれの厚さに適當なポンチ、ダイスの寸法を決定して焼鈍及び焼入直後状態について限界絞り率を求め、深絞りに対する被加工性を比較した。この方法によれば (1) 皺抑へ力を要せず、實驗操作も装置も簡単になる、(2) 複雑な因子の影響少く、材質そのものの性能を直接比較出来る。(3) 板の方向性の程度、或は異方度を實用的に比較出来る、等の利點がある。

II. 深絞り試験装置

第1圖は深絞り試験装置の略圖であつて、ダイス保持枠中に圓錐型ダイスを入れ、試験片を置きその上に抑へ片をのせ、保持枠とネジ結合をして居る蓋でしめる。抑へ片及び蓋の接觸面は軸と直角をなすので、試験片の面もほぼ軸と直角をなし、同時に圓錐面の中央にきてダイス孔と芯が實驗上差支へない程度に一致する。蓋の中央にポンチの案内をつけ、全體を普通材料試験機に取付け、ポンチの外端を押せば試験片はダイス孔へ絞り込まれて深絞り加工を受ける。この際皺抑へ力は作用しないので、板厚が小さい場合、ポンチ、ダイスが大きくて試験片の直径が大きくなると皺の出来る危険がおこるので、板厚によつて使ふポンチ、ダイスの寸法組合せを變へる必要がおこる。そこで第1表は種々の板厚に對する試験工具の寸法表であつて、 t は板厚、 d_2 はダイス孔の直径、 r_d はダイス孔肩の

第1表 試験用工具の寸法表



第1圖 試験装置の略圖

	①	②	③	④	⑤
t mm	Q5~+0.1	Q6~±0.1	Q8~ $\frac{+0.2}{-0.1}$	Q2~±0.2	Q4~ $\frac{+0.4}{-0.2}$
d_2 mm	12.70	14.60	19.95	24.40	32.00
r_d mm	2.5	3.0	4.0	6.0	8.0
d_1 mm	11.11 ($\frac{7}{16}$)	12.70 ($\frac{1}{2}$)	17.46 ($\frac{11}{16}$)	20.64 ($\frac{13}{16}$)	25.90 ($\frac{1}{4}$)
T_P mm	2.5	3.0	4.0	6.0	8.0
	$d_1/2$	$d_1/2$	$d_1/2$	$d_1/2$	$d_1/2$
最大 D_0 mm	30	35	45	55	7.0
最小 D_0 mm	20	23	30	38	48

曲率半徑, d_1 はポンチ直徑, r_p はポンチ頭部角の曲率半徑, D_0 は試験片の最初外徑, であつて, $r_p = (4 \sim 6)t$ の範圍が深絞り強さが最強で加工に最も都合よく, $r_d = d_1/2$ でポンチの頭端が半球になつた場合は破れ易く都合が悪いので, r_p はこの2種にとり比較出来る様にした。そして $r_p = d_1/2$ にする爲には第1圖に示す様にポンチの先端に球を取付ける事とし, 球軸受用の鋼球を使ひ, 従つて d_1 は寸法となつた。 $d_2 - d_1$ はポンチとダイス孔の間隙の2倍を示し, しごき現象をさける爲に $(2.8 \sim 3.0)t$ 程度になる様に d_2 の値を決定した。又ダイス面をなす圓錐の頂角は全て 60° に選んだ。これらの寸法は試験する材料が變れば適否を一應吟味し直す必要がある。

かくて種々の厚さの板からそれぞれ數種類の D_0 の試験片を旋盤で削り出して加工し, 底が抜けないで加工の完了する最大の D_0 をもつて深絞り限界とするのであるが, 實際には適當なる同一の D_0 の數枚の試験片を取扱ふと, 底の破れる物と, 加工の完了する物が現れるので, かゝる最大の D_0 をとり d_1 との比, 即ち $(d_1/D_0)_{lim}$ を限界絞り率として比較した。厚さの違ふ板を寸法の異なる工具で試験するのであるから寸法の影響が混入する恐れが感ぜられないでもないが, 既に以前の研究で同一厚さの Al 板ではこの程度に工具の寸法が變つても $(d_1/D_0)_{lim}$ に影響のない事が知れて居り, 又後述の實驗結果で各種厚さの板で殆んど等しい値が出てくる事實から, 現在の目的には差支へないと判断される。

又板に方向性があると加工して出来上つたカップ状體の縁に4ヶ所の高低, 所謂耳を生ずるのは衆知の事

であるから, 第1圖の左隅の様子に高低差を計つて, その平均値を h とし, 異方度 $= h/(D_0 - d_2)$ を算出して比較する事が出来る。この値が 0.05 より小さい間は肉眼的に耳の存在は認め難く, 0.1 を越へるとはつきり存在が認められる。

III. 深絞り試験結果と他の機械的性質との關係

實驗に供した材料は3個所の製造所から各々獨立に供給された, 厚さ 0.6mm, 0.8, 1.0, 1.2 の4種類で, 360°C で焼鈍された超デュラルミン板 SDO, 及び超デュラルミン合せ板 SDCO, 合計 24 種類で, 焼鈍のまま, 495°C より焼入後 30 分乃至2時間以内の状態について實驗した。

一般機械的性質としては引張試験結果, エリクセン値, ヴィカース硬度數を求めた。引張試験は幅 25mm 平行部 50mm の引張試験片を壓延の方向に平行, 直角, 45° に取材し, それぞれの方向に引張つて, 抗張力, 伸率, 及び殘留歪 0.2% に相當する降服點を求めた。エリクセン値は $90\text{mm} \times 90\text{mm}$ の試片と, 直徑 20mm のポンチ及び 27mm のダイス孔を用ひて求めた。ヴィカース硬度數 (V. H. N.) は薄板であるので特に荷重を 5kg, 油吐出時間は2分30秒に調節し, 加重時間は 20~30 秒とし, 素材そのままの表面と, エメリー紙で表面をある程度研磨し去つた場合について求めた。

第2表は SDO 板の結果で, 種別イ, 口, ハは製造所別を示し, 板厚 0.6mm の物は第1表の $d_2 = 14.60$, $d_1 = 12.70\text{mm}$ ($1/2''$) の工具を, 板厚 0.8mm は d_2

第2表 SDO 板の結果

種別	板厚 mm	$r_p = d_1/2$		$r_p = (4 \sim 6)t$		異方度	エリクセン 値 mm	ヴィカース硬度		引張試験			
		$(d_1/D_0)_{lim}$	P_m kg	$(d_1/D_0)_{lim}$	P_m kg			表面 硬度	製品 マ、	取 材 方 向	降服力 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸率 %
イ	0.6	0.448	292	0.413	371	—	6.1	57.8	57.3	↑ ↓ X	8.0 8.4 8.4	18.5 18.4 19.3	15.0 15.2
	0.8	0.449	647	0.421	785	0.03	6.9	53.9	52.9				
	1.0	0.487	946	0.426	1249	—	5.5	72.2	67.4	↑ ↓ X	9.2 11.4 11.7	22.3 22.7 23.5	15.3 17.0
	1.2	0.440	1068	0.415	1308	—	7.7	57.5	52.9				
口	0.6	0.438	322	0.414	372	0.05	7.1	50.5	50.8	↑ ↓ X	9.0 9.0 9.0	18.4 18.1 18.7	22.5 22.8 23.5
	0.8	0.455	634	0.421	674	0.03	7.3	52.4	50.7	↑ ↓ X	8.8 8.2 8.7	18.3 18.2 18.8	20.9 22.7 22.3
	1.0	0.450	910	0.413	1082	0.02	8.3	58.9	55.8	↑ ↓ X	8.9 8.9 8.2	18.5 18.5 18.3	21.0 22.0 21.9
	1.2	0.447	1193	0.422	1424	0.02	7.4	60.8	55.5				
ハ	0.6	0.438	338	0.413	383	0.11	7.7	52.9	51.5	↑ ↓ X	10.0 10.3 14.7	21.3 20.0 20.0	15.7 15.2 18.1
	0.8	0.437	680	0.412	929	0.04	7.4	57.0	54.7	↑ ↓ X	9.6 10.0 9.7	18.5 18.8 18.6	18.3 18.5 18.3
	1.0	0.446	988	0.416	1093	—	8.3	58.7	55.6	↑ ↓ X	8.0 8.5 9.0	19.3 20.1 18.5	18.0 18.9 18.9
	1.2	0.451	1094	0.418	1337	—	7.3	62.4	57.7				

↑: 圧延方向=直角=取材引張し者, ↓: 平行=取材引張し者, X: 45° 方向=取材引張し者。

=19.95, $d_1=17.46\text{mm}$ ($\frac{11}{16}$ "), 板厚 1.0 mm, 及び
1.2 は $d_2=24.40$, $d_1=20.64\text{mm}$ ($\frac{13}{16}$ ") の工具を

使つた。ポンチは $r_p=d_1/2$ で先端が半球状で底の破れ易いので、 $r_p=(4\sim6)t$ の圓筒形で最も都合のよい場合について夫々 $(d_1/D_0)_{lim}$ と最大絞り力 P_m を求め他の結果と比較してある。 $(d_1/D_0)_{lim}$ は $r_p=d_1/2$ では大體 0.44~0.45, $r_p=(4\sim6)t$ に対しては 0.41~0.42 で、板厚による差は認められない。黄銅 Al, Fe 等普通深絞り加工に使はれる材料ではこの方法によれば 0.41 程度⁽⁹⁾であるから、SDO は加工状態が適當であれば普通の材料と略同様な結果を示し、ポンチ形状が不適當であれば劣る結果を示す事になる。 P_m は $(d_1/D_0)_{lim}$ に對應する値であるから、これが小さい場合は必然的に大きくなり、ここに示した値の大小は一概に判断の基準とはなり難い。引張試験結果は口系統は一般に降服點、抗張力は共に低く、伸率は大きい、 $(d_1/D_0)_{lim}$ はイの 1.0 mm を除いては差なく、 P_m は低めである程度で優劣は認め難い。抗張力低く、伸率大であれば變形抵抗は小さくなるが同時に深絞り強さが低く、底が破れ易くなり、結局この程度の差は深絞り限界には影響を認め難い。異方向においてもハの 0.6 mm は耳が顯著で、壓延に 45° の方向に高くなつて居り、伸率は同じく 45° の方向が大きい、その差は左程顯著な者ではない。V.H.N. は表面研磨の方が幾分高めであるが、イの 1.0 mm の様に特に高い物以外は影響は認め難い。エリクセン値は一般に板厚が薄い程小さく出る傾向にあるのである

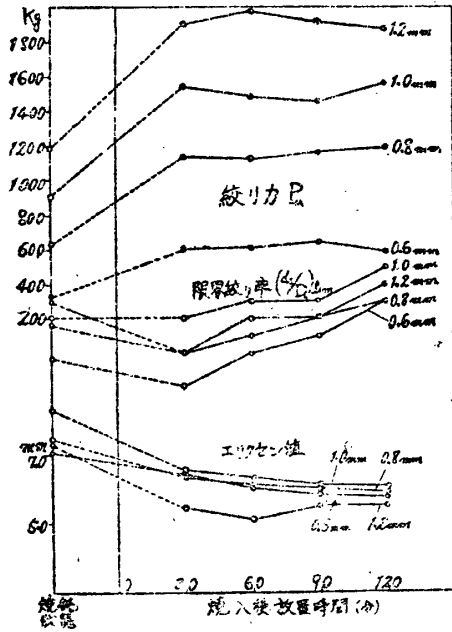
が、この實驗の程度では特に口、ハ系統では現れず、イの 1.0 mm の様に小さな物は劣るが、口の 1.0 mm ハの 1.0 mm の様に大きくても必ずしも優るとは限らない。

第3表は SDCO の結果で、 $(d_1/D_0)_{lim}$ は $r_p=d_1/2$ においては板厚による差はなく、0.44~0.45 で、 $r_p=(4\sim6)t$ に対しては同様 0.42~0.41 程度で、第2表と比較すれば P_m は幾分低めであるが、大差ない被加工性を示す。又他の機械的性質との関係も前者と同様である。エリクセン値は板厚 0.6 mm では SDO の方が大で、板厚 1.2 mm では SDCO の方が大であるが、 $(d_1/D_0)_{lim}$ には差は認め難い。従つてこの場合エリクセン試験では深絞り加工の性能を判断するのは不當である。

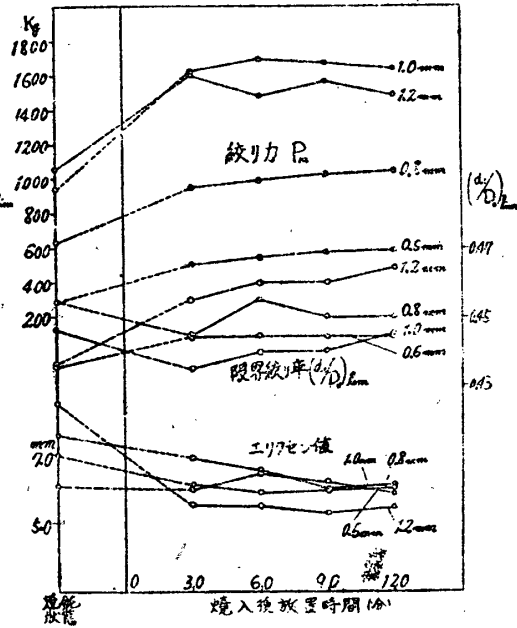
SD 板は焼入直後時効硬化のまだ充分でない間は硬度低く、加工仕易いとされて居るので、その状態を驗べた結果が第2, 3圖である。即ち SD 板を 495°C ~±5°C の鹽浴中で 40 分間加熱し、水に焼入し、30 分, 60 分, 90 分, 120 分経つた後 $(d_1/D_0)_{lim}$, P_m エリクセン値を測り、経過時間を横軸として圖示し、焼鈍状態と比較してある。 $(d_1/D_0)_{lim}$ は前述の經驗により $r_p=d_1/2$ の場合を求めた。30 分後には焼鈍状態よりは幾分小さな値を示し、以後幾分大きくなつてゆくが、90 分まではさして劣化せず、2 時間経つと明かに大きくなり劣化を示す。 P_m は焼入によつて 60~90% の増加を示すが、2 時間まではそれ以上の變化はない。エリクセン値は焼入によつて低下するが、2 時間までは大いした變化はない。従つて焼入直後はエリクセン値は低下し、絞り力は増すが、絞り限界

第3表 SDCO 板の結果

種別	板厚 mm	$r_p=d_1/2$		$r_p=(4\sim6)t$		異方度	エリクセン 値 mm	ヴィッカーズ硬度		引張試験			
		$(d_1/D_0)_{lim}$	P_m kg	$(d_1/D_0)_{lim}$	P_m kg			表面 研磨	製品 12-	取 向	降伏 kg/mm ²	抗張 kg/mm ²	伸率 %
イ	0.6	0.443	299	0.413	366	-	6.4	52.3	51.9	上 下	18.3 18.2	18.3 18.4	14.8 16.0
	0.8	0.448	647	0.426	764	-	6.8	61.6	55.4	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	1.0	0.445	923	0.413	1073	-	6.7	63.0	54.7	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	1.2	0.439	1005	0.415	1216	0.02	8.0	56.7	48.2	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
口	0.6	0.447	297	0.413	370	0.04	6.1	54.8	53.9	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	0.8	0.454	625	0.417	726	0.03	6.9	57.4	53.9	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	1.0	0.446	949	0.416	1087	0.02	7.5	55.2	53.0	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	1.2	0.436	1078	0.416	1282	0.04	8.4	56.2	50.7	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
ハ	0.6	0.436	329	0.411	387	0.06	6.7	57.0	58.2	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	0.8	0.450	640	0.416	735	0.08	7.4	56.7	54.8	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	1.0	0.440	931	0.413	1064	-	8.2	57.7	52.2	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0
	1.2	0.441	1064	0.420	1290	-	8.3	57.9	52.9	上 下	18.3 18.4	18.3 18.4	14.8 16.0



第2圖 SD板焼入後の結果



第3圖 SDC板焼入後の結果

90分位までは焼鈍状態と大差なく、力を問題としない場合は被加工性は同程度と考へる事が出来る。猶異方度は一般に 0.05 以下で方向性は消失して居る。第3圖は SDC 板を同様に取扱つた結果であつて、夫々の板厚において、多少の差はあるが SD の場合と同様、エリクセン値は低下し、 P_m は 50~90% 増すが絞り限界は 90 分位までは大差ない。以上は何れも一系統の材料についての結果であるが、他の系統においても同様な傾向を示したのでこゝに示すのを省略する事とした。

確かな関連性は認められない。従つてこれらの數値が常識に一致する時は夫々の試験法に類似な加工に對して被加工性が良好であるが、直に深絞り加工に對しても同様であるとは判断出来ない。

(5) 焼入直後 30 分乃至 90 分以内では絞り力は大きく、エリクセン値はやゝ劣化するが、深絞り限界は焼鈍材と殆んど等しく、又方向性は認め難い。

以上の研究に研究費を補助せられ、且つ色々便宜を與へられた學術研究會議、日本學術振興會に厚く謝意を表する次第である。

IV. 結 言

以上述べた事柄を要約すると、

(1) 超デュラルミン系輕合金薄板の厚さ 0.5~2.0 mm の範圍に對し、圓錐型ダイスを用ひて皺抑へ力無しに材質の性能を簡単に比較する深絞り加工試験方法を提唱し、厚さ 0.6~1.2 mm の範圍で實用し、適當である事を確めた。但し材質が異なる場合には工具寸法を吟味する必要がある。

(2) 限界絞り率 $(d_1/D_0)L_m$ は焼鈍板では、 $r_p = (4\sim6)t$ の圓筒型ポンチを使用すれば 0.41~0.42 で黃銅、Al、Fe 等と大差なく、 $r_p = d_1/2$ の半球型ポンチに對しては 0.44~0.45 となり劣化を示す。

(3) 異方度 $= h/(D_0 - d_0)$ を算出すれば、所謂耳の發生が顯著な時は 0.1 以上の値を示し、實際的に方向性有無の比較の基準となし得る。

(4) 普通一般に行はれる引張試験、エリクセン試験、ヴィカース硬度試験を行つて結果を比較した處、

参考文献

- (1) 例へば Handbuch der Werkstoffprüfung Bd. II, pp. 398~404.
- (2) L. Herrmann, G. Sachs : Metallwirt., Bd. 13 (1934), pp. 687~692.
- (3) 例へば (5)
- (4) W. Helling : Metallwirt., Bd. 15 (1936), pp. 388~394, 409~412.
- (5) A. Pomp, A. Krisch : Mit. K. W. I. Eisf. Düsserd. Bd. 22 (1940), Lf. 3 Abh. 393 pp. 19~34.
- (6) S. Fukui : Sc. Pap. I. P. C. R. Vol. 34 (1938) pp. 1422~1527.
- (7) 海野幸秀 : 愛知時計電機研究報告 昭和 16 年 2 月.
- (8) S. Fukui : Sc. Pap. I. P. C. R. Vol. 35 (1939) pp. 373~384.