

四角筒容器の深絞り加工 (第1報)

福井伸二, 竹山壽夫, 吉田清太*

Studies on the Deep-Drawing of Rectangular Shells

(Part I)

Shinji FUKUI, Hisao TAKEYAMA and Kiyota YOSHIDA

ABSTRACT: Experimental apparatus for deep-drawing of rectangular, chiefly square shell of about 100mm width, was made, and effects of shape of blank and dimensions of tools were studied about aluminium plates mainly of 1 mm thickness. Results are as follows :

1) Fairly rounded corner shape of blank is the best to avoid unevenness of edge, and octagonal shape is permissible when corner radius of shell r_1 is larger, but square shape is unsuitable. Corner radius of blank R_0 is desirable to be (5~10)% larger than R_c calculated, assuming the surface area is constant.

2) Maximum drawing force P_m relates linearly to (R_0/r_1) when l_1, r_1, r_a remained constant, and also relates linearly to $(R_0 h_c)/r_1 \cdot (l_1 - 2r_1)$ practically. Braking force is nearly estimated from the tensile strength of the blank material when r_1 is about 20mm, but is nearly the half when r_1 is smaller.

3) The limits of drawing expressed by $(R_0/r_1)_{lim}$ just before tearing go up to 6, and 8~10 by $(h_c/r_1)_{lim}$. They are larger when r_1 is smaller and l_1, l_2 are larger, and relate to (l_1/r_1) nearly linearly.

4) Distributions of strains at the corner denote the similar tendencies with drawing of cylindrical shell. (Received July 24, 1951)

I. 緒 言

薄板の深絞り加工の研究として、圓筒型ポンチと、圓孔ダイスを用いて絞る場合については數多くの研究が發表されているが、矩形又は正方形斷面を有する四角筒容器については、實用上廣く加工が行われているにも拘らず、研究發表は極めて少く、その内容も概念を與える程度で、詳細な資料が見られない。従つて此の加工法の研究に際し、各種のポンチとダイスについて、ブランクの形と絞り得る限界、絞りに要する力、しわ抑え力の大きさ、板の變形等について實驗と測定とを行

い、加工の本質を知ると共に、板の他の性質との關連を明らかにする事が必要である。

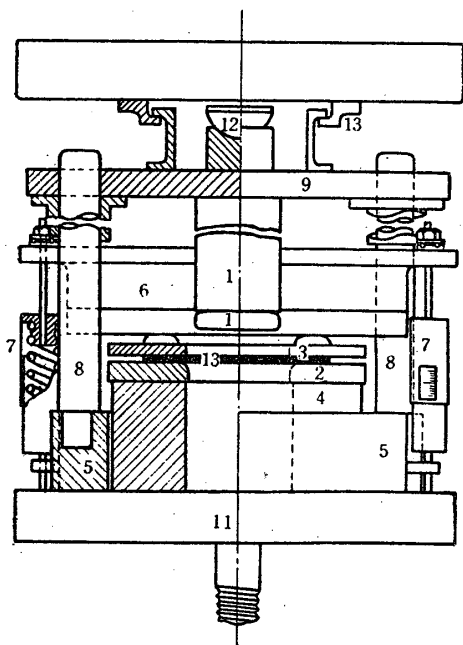
以上の諸項に影響を與える原因として、板取り、ポンチ斷面の長邊と短邊の長さ、四隅の曲率、側壁と底との交わる部分の曲率及びその四隅に於ける曲率、更にダイス孔の肩及びその四隅に於ける曲率、しわ抑え力、しごき等が主なものである。此等は結局變形部分の歪、應力、ひいては絞りに要する力、材料の破斷従つて絞りの限界等に影響を及ぼす。此等の諸項目について順次研究を行い、更にそれをすゝめてゆくのであるが、此の報告に於ては、アルミニウム板を用い特に斷らない限り一邊の長さ 100^{mm} の正方形斷面について

* 千葉大學工學部

ポンチの隅の曲率半徑, ダイス孔の肩の曲率半徑を變數にとつた場合に, 二三の板取りについて行つた實驗結果を述べ, 併せて以後の研究の準備として行つた諸項目に關する實驗結果を述べる.

II. 深絞り試験装置

第1圖は深絞り試験装置であつて, ダイス(2)はダイス保持臺(4)の上に皿ねぢでとめ, 全體を枠(5)に枠の側面に取付けられた8個のボルトの先端でおさえる. ダイスの枠に對する相對位置は, 此の8個のボルトにより調節する. 枠には又案内柱(8)が2本取付けてあり, 此の案内柱がポンチ取付臺(9)の案内をする. ポンチ取付臺には中央下側にポンチ(1)をねぢどめし, 上側には球座(12)をおく.



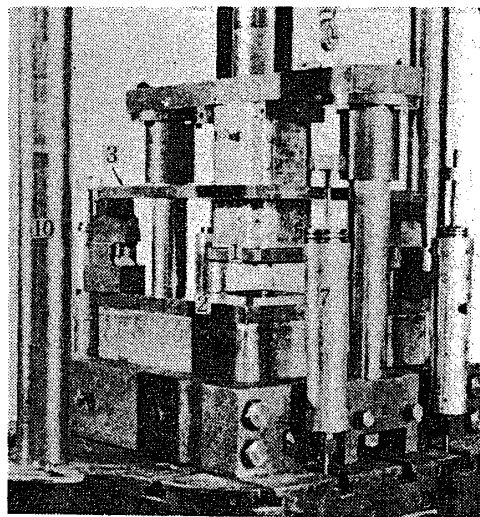
第1圖 深絞り試験装置

ダイスの上に試験片であるブランク(13)をおき, その上をポンチでおしてブランクをダイス孔におしこむのであるが, 此の時板は周邊にその方向に壓縮應力を生じしわが発生する. 此を避けるために平らな板——しわ抑え板(3)をブランクの上におき, その上に2本の梁(6)をわたしてしわ抑え板をおさえる. 此の梁はダイス枠(5)に圓筒(7)内の蔓巻バネ4本で固定され, 従つてポンチにかゝる力とは分離されている. 各1のバネは300kg 逆引張力を受持つことが出来るから, しわ抑え力としては1,200kg 迄かけることが出来る. しわ抑え力はバネの伸びで加減し, その程度は

(7)の表面に刻んだ目盛で讀む.

ダイスに關する部分を試験機の移動臺(11)の上のせ, 案内柱に, ポンチを取付ける梁(9)の孔をはめる. 試験機の上の臺(11)を上昇させ, ポンチの先端がブランクに觸れると, ポンチ支持梁はとめ金(13)から外れ, 更に臺を上昇させると球面座(12)の上面が試験機の上部に接觸し, 絞り加工が進行すると共に試験機のをこを動かしポンチにかゝる力が目盛板に示される.

一方移動臺の進んだ距離は試験機の案内柱の側に取付けられた1耗目盛の物差により讀みとることが出来る.



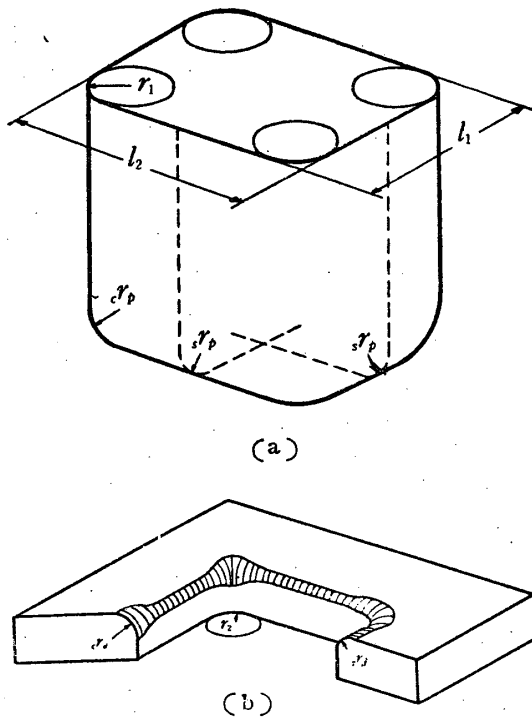
第2圖 深絞り試験装置

使用した試験機は10噸のアムスラー型壓縮試験機で, 臺の移動速度は無負荷時毎分4.4耗, 荷重の讀みは全容量0.5~1%の程度の誤差内に入る.

猶第2圖は此の装置の寫眞である.

・ポンチの形及び寸法は第3圖(a)で, 断面は短邊の長さ l_1 , 長邊の長さ l_2 の矩形で, その隅は曲率半徑 r_1 でつながれている. 側壁と先端面の間は矢張り曲率半徑 r_p でつながり直邊部では s_r , 曲邊の隅部では c_r とする. 絞られた製品の内側, 特に底部に近い部分の寸法は主にポンチの寸法に近い値をもつ.

ダイス孔の方は(b)圖の様で, ブランクののるダイス面に直角に孔を明け, 孔の断面は矢張り矩形で, ポンチの断面寸法より大きく, その程度は兩者の間隙が1.5mmである. ダイス面と孔のつながりめである肩の部分は曲率半徑 r_a の曲面で, 直邊部 s_a , 隅部は c_a であらわす.



第 3 圖 ポンチ及びダイス

実際に使用した $l_1, l_2, r_1, s'p, c'p, s'a, c'a$ の値は次の通りである。(以下 $c'a = s'a$ の時は r_a とかく)

第 1 表 工具の寸法 (単位 mm)

l_1	l_2	r_1	$s'p$	$c'p$	$s'a$	$c'a$	t
100	100	4.5	5.0	5.0	2.5	2.5	1.0
					5.0	5.0	
100	100	10.5	5.0	5.0	2.5	2.5	1.0
					5.0	5.0	
100	100	20.0	5.0	5.0	2.5	2.5	1.0
					5.0	5.0	
100	100	30.0	12.5	12.5	5.0	8.0	0.8
100	120	30.0	12.5	12.5	5.0	7.5	0.8
100	150	30.0	12.5	12.5	5.0	7.5	0.8
99	99	11.0	9.0	9.0	5.0	7.5	0.8
106.4	171.4	11.2	9.2	9.2	5.0	7.5	0.8
136	176	12.0	10.0	10.0	5.0	7.5	0.8
126	184	15.0	15.0	15.0	5.0	7.5	0.8
205	435	40.0	15.0	15.0	5.0	7.5	0.8
60	105	30.0	10.0	10.0	8.0	8.0	1.0
60	75	30.0	10.0	10.0	8.0	8.0	1.0

しわ抑え力は製品にしわの出来ない程度でなるべく小さくしプランクの最初面積のうち、外周から r_a までのしわ抑えのかゝる部分単位面積當り $3 \sim 4 \text{kg/cm}^2$ とし、潤滑油は大豆油を用いた、

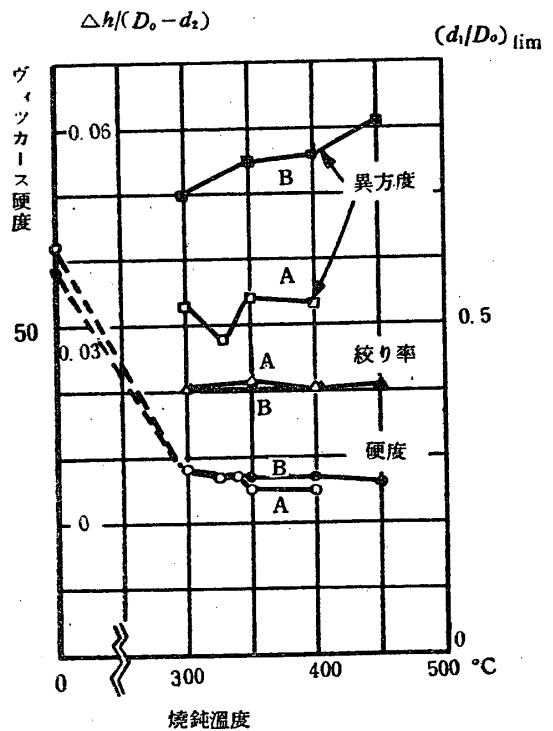
III. 材料及びその機械的諸性質

材料は日本アルミニウム工業株式會社製のアルミニウム板で厚さは 1mm でその化學成分は次の通りである。

第 2 表

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	最終冷延 壓下率%
A	99.10	0.44	0.36	0.07	0.03	tr.	tr.	87.5
B	99.37	0.29	0.30	0.04	—	—	—	75.0

焼鈍温度とヴィッカース硬度との関係を第 4 圖に示す。焼鈍温度は $300^\circ \sim 450^\circ \text{C}$ の範囲をとり、此の間の各温度で圓錐ダイス(ポンチ直径 $d_1 = 20.64 \text{mm}$, $r_p = 6 \text{mm}$, ダイス孔の径 $d_2 = 24.40 \text{mm}$)による深絞り試験⁽¹⁾を行い限界深絞り率 $(d_1/D_0)_{\text{lim}}$ ($D_0 = \text{プランクの直径}$)を求めた結果を第 4 圖に示す。焼鈍温度 $300^\circ \sim 400^\circ \text{C}$ の間では限界深絞



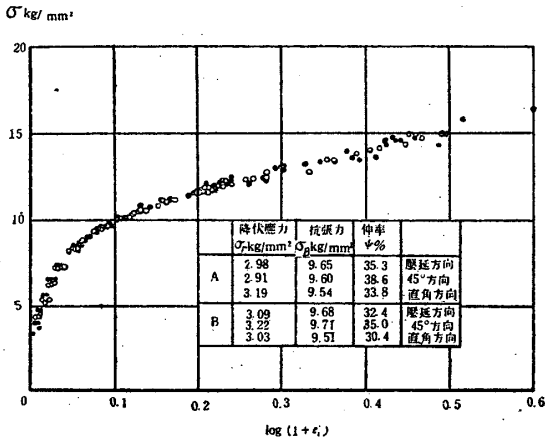
第 4 圖 アルミニウム板のヴィッカース硬度、絞り率及び異方度と焼鈍温度との関係

率の平均値は A が 0.407 B が 0.405 である。焼鈍温度 350°C 附近が、製品の表面が最も綺麗になるので、角絞りを行う場合は此の温度で 1 時間焼鈍し、その後常温迄爐冷した。加工後の表面は B の板の方が A の板より幾分粒子が粗大化している。

板の壓延による異方性を、異方度⁽¹⁾ $\Delta h / (D_0 - d_2)$ (Δh カップの側壁の高低差の平均値)として求め

た結果を第4圖に示す。Bの方が異方度の大きいのは最終壓下率が小さいためであると考えられる。

350°C 1h 焼鈍による試験片で引張試験を行い塑性曲線を求めると第5圖のようになる。二種の板の



第5圖 アルミニウム板の塑性曲線 (ϵ_1 : 伸びの普通% 至, σ : 眞應力)

塑性曲線は実験誤差範囲内でよく一致して居り、壓延の方向による相違も殆ど認められない。猶壓延方向、直角方向、45° 方向の降伏点: σ_Y , 抗張力: σ_B , 伸率: ψ は圖中に記入してある。

IV. 板取り

絞りをを行う時、ブランクの最初の形——板取り——は、絞り込まれて出来た製品の上縁の形に大きな影響をもち、高さが一樣になる事が望まれる。と共に加工中の材料の變形に影響を及ぼし、材料に生ずる應力分布の相違のために絞りの難易にも亦複雑な作用をする。従つて考えるべき重要項目の一つである。最も簡単な方法は、材料が變形中殆ど密度變化を生じないこと、更に(1)直邊になる部分と四隅になる部分との間には材料の移動がなく、(2)板厚も亦變形中一定であると假定して*

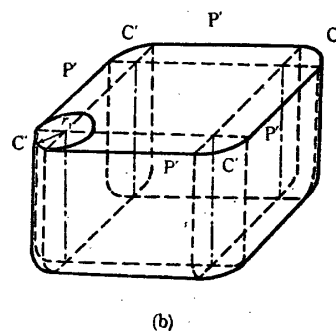
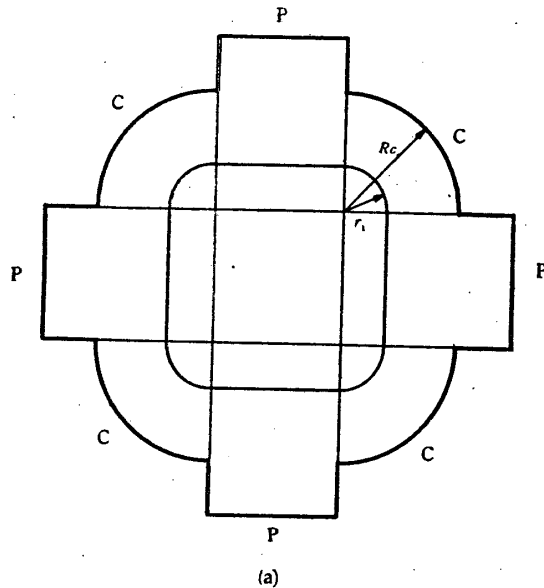
$$R_c = \sqrt{2r_1 h + r_1^2 - (4 - \pi)r_1 \cdot cr_p - (\pi - 3)c^2 r_p^2} \quad \left. \begin{array}{l} r_1 > cr_p \\ r_1 < cr_p \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$= \sqrt{2r_1(h - cr_p) + 2r_1' \cdot cr_p + 2cr_p(r_1 - cr_p)\sin^{-1}(r_1'/cr_p)}$$

但し $r_1' = \sqrt{r_1(2cr_p - r_1)}$

**実際には四隅の部分の材料は直邊部に流れ、周邊に沿う方向の壓縮應力が平均化されるので、四隅は豫想した高さより低くなり直邊部は高くなる。板取りについては二三發表されたものもあるが⁽²⁾、此の點を考慮し且表面積一定の原則を用い

*求める事である。



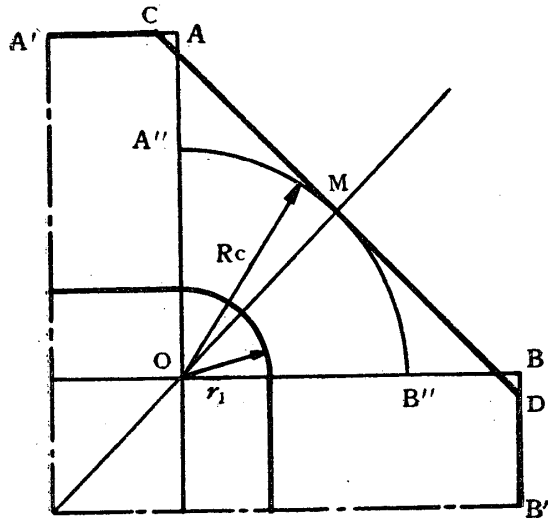
第6圖 板取り (a) と製品 (b)

即ち製品の直邊部 P' はブランクに於ては P の部分から成り、四隅 C' はブランクの C から成ると假定する。従つて四つの C 部は一つの圓板を形成し、それが、製品の四隅をあつめて出来る圓筒型容器に絞られることになる。製品の壁が一樣の深さ h になるものとすれば、此の圓板の半径 Rc は、上記圓筒容器から求められる。簡單のために製品の内側寸法をとることになると Rc は次の式から得られる.**

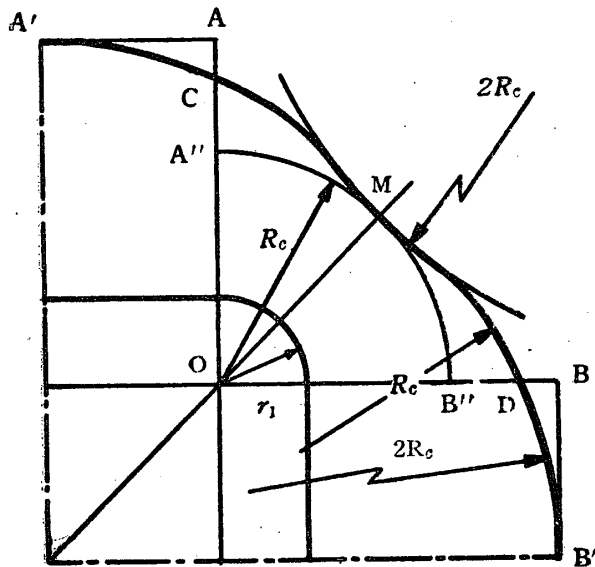
た比較的簡單な作圖法が Brootzkoos により企てられた⁽³⁾。併し此の方法も概念的のものであつて r1 の廣範圍にわたる値に對して必ずしもよい結果を與えないことが我々の實驗からわかつた。

此の研究で試みた板取としては四隅を對角線に

直角に直線で切りおとした八角形のもの、數種の圓弧によつて整形した角丸形の二種を主に用いた。



(a)



(b)

第 7 圖 板取り法

板取りを行ふには第7圖に示すように、先ずポンチ断面の四隅の曲率(半徑 r_1) の中心を通る矩形を描き、絞ろうとする容器の豫想される深さ h から求めた長さ s をその延長上に O よりとり OA, OB とする。

$$s = OA = OB = h + r_1 + (\pi/2 - 2)r_1 \quad (2)$$

次に O を中心として (1) 式より求めた R_c を半徑とする圓弧を描く。こゝまで一應ブランクの形が出来るが、 s と R_c との交わる點で段がつきこ

のまゝでは不適當である。

$\angle AOB$ の二等分線圓弧との交點を M とする。八角形板取りの時には、 M を通り圓弧に切線をひき、直邊部の直線 AA', BB' との交點を C 及び D とする。かくして出來た $A'CMB'D'$ が四隅に於ける形となる。

角丸形に整形する場合には OM 上に、 M に對して O と反對側に MO' を $2R_c$ に等しくとり、 O' を中心とし此を半徑とする圓弧を描く。 O を中心とする圓と OA, OB との交點 A'', B'' から夫々 AA'', BB'' の $2/3$ の長さの點 C, D を定め C, D を通り圓 O' に切する半徑 R_c 又は $2R_c$ の圓弧を描き、更に C 又は D を通り AA', BB' に切する半徑 $2R_c$ の圓弧を描く。最後に C, D に於て曲線をなめらかに修正しておく。

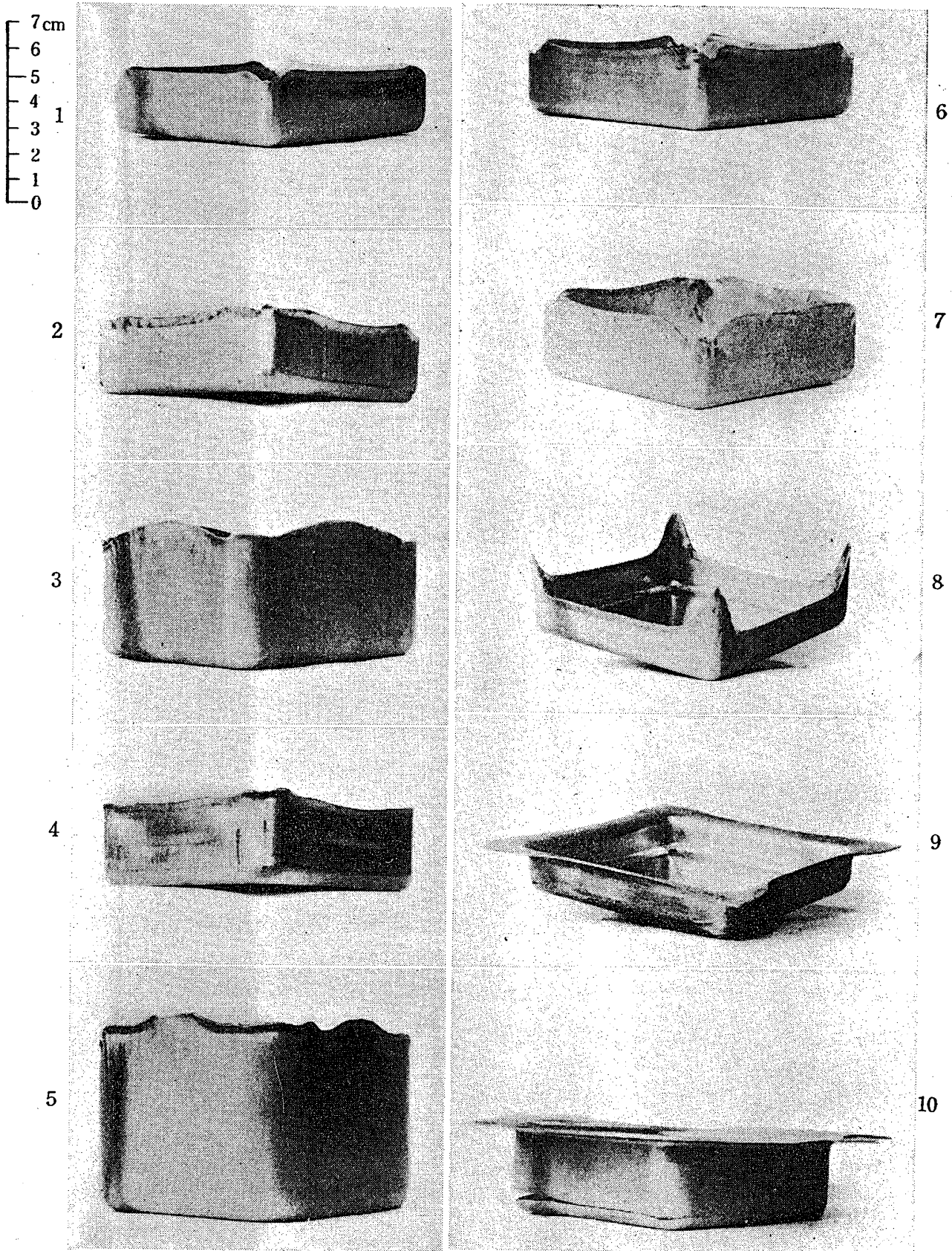
四隅の半徑 R_c のかわりにもつと大きな半徑 R_0 をとることがあるが、その時の作圖は、上の方法に於て R_c のかわりに R_0 を用いるのみで、全く同様に行えばよい。

以上の各種の板取法による實驗結果の一例を示したのが第8圖であつて、何れも直邊部の高さ h_s と隅部の高さ h_c とは等しくならないが、その中で角丸形が高さが最も一樣に近く良好であることがわかる。比較のためブランクの隅を全く落さない角形の場合も示してあるが、隅が異常にとがつて高くなり、特殊の場合を除いては當然切落しを必要とするから、材料經濟の上からも不適當であるのがわかる。

更によく見ると、 h_s と h_c の間に最高 h_a 、最低 h_b が現われることがある。そして之等は何れも r_1, h, r_a, R_0 等に影響される。板取り半徑に (1) 式の R_c を用いた場合の關係を示したのが第9圖であつて、横軸に h/r_1 、縦軸に $h_s/r_1, h_a/r_1, h_b/r_1, h_c/r_1$ をとつてある。 h_s は大體豫想される。高さ h に等しく、 r_1 が小さいか又は h/r_1 が大きい時は h より大きくなる傾向がある。

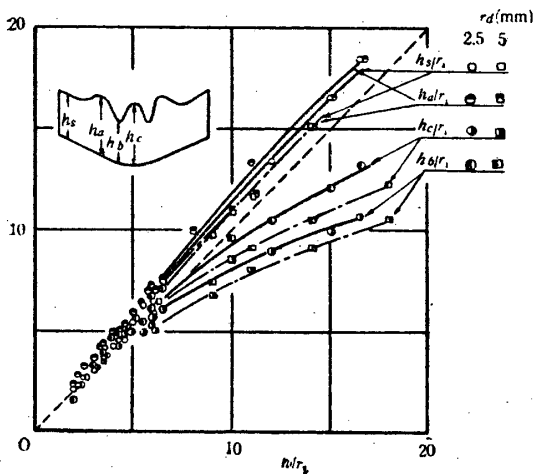
一方 h_c, h_b は一般に h より小さく、とくに r_1 が小さい時が著しく、 $r_1 = 20\text{mm}$ 位では差がなくなり、又 r_a の小さい方が h_c は大きくなる。

完全に一樣な深さ或は $h_c \geq h$ の容器を得るためには、ブランク四隅の半徑 R_0 を R_c よりも大きくする必要がある。併し後に示すように、此の時



第 8 圖 板取りと製品及び破断の状況

- | | |
|---|---|
| 1 角丸形 $r_1=4.5 \text{ mm}$ $R_0=R_c$ | 6 八角形 $r_1=4.5 \text{ mm}$ $R_0=R_c$ |
| 2 角丸形 $r_1=4.5 \text{ mm}$ $R_0=1.05R_c$ | 7 Brootzkoos 形 $r_1=4.5 \text{ mm}$ $R_0=R_c$ |
| 3 角丸形 $r_1=10.5 \text{ mm}$ $R_0=R_c$ | 8 角形 $r_1=4.5 \text{ mm}$ |
| 4 角丸形 $r_1=10.5 \text{ mm}$ $R_0=1.05R_0$ | 9 角形 $r_1=4.5 \text{ mm}$ (破断) |
| 5 角丸形 $r_1=20.0 \text{ mm}$ $R_0=R_c$ | 10 八角形 $r_1=10.5 \text{ mm}$ (破断) |

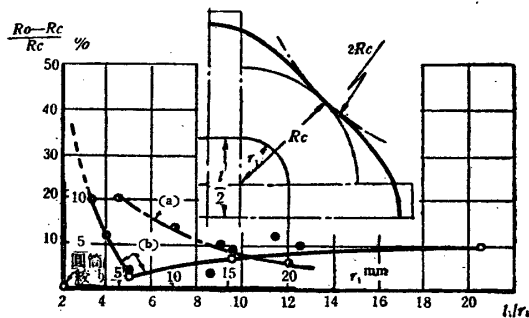


第9圖 製品の壁の高さ(八角形板取)

には絞り限界の深さは $R_0 = R_c$ の場合に比べて減少する。

又 h_c が h_s より大きい方が成形後の縁切等の處置に便利な場合が多いので R_0 を R_c より大きくとる板取りが使われる。此の時 h_c は略 R_0 に對し直線關係により増加する。

角丸形板取り法で、 $h_c = h_s = h$ となる略一様の深さの容器を得るのに、増加すべき R_0 の大きさを $(R_0 - R_c)/R_c$ であらわし、此の値を各 r_1 について求めた結果を第10圖(a)に示す。此の値は h/r_1 によつても幾分異なるが此の曲線により大體の目安が與えられる。



第10圖 製品の深さを一様とするための R_0 のとり方

(a) $(R_0 - R_c)/R_c$ と r_1 の關係

(b) $(R_0 - R_c)/R_c$ と l_1/r_1 の關係

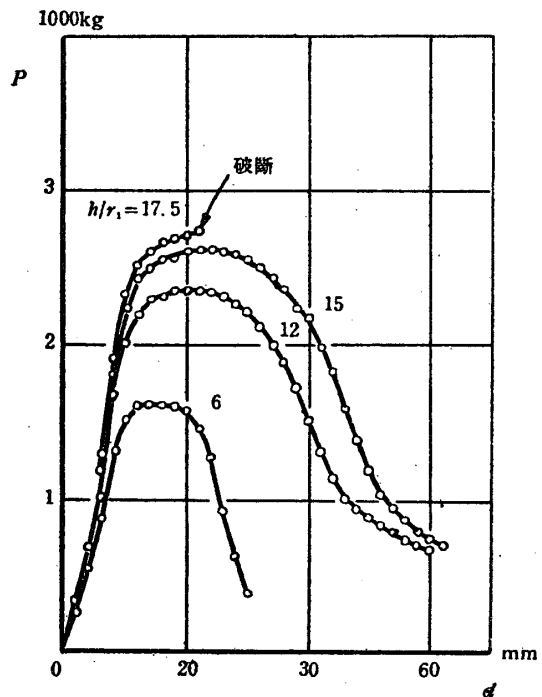
更に r_1 が等しくても l_1 が小さくなれば、 h_s 、 h_c は共に大きくなると思われる。 l_1/r_1 が小さくなる時、高さをそろえるため R_0 を R_c よりどれだけ増させればよいかを示したのが第10圖曲線(b)である。

是によれば l_1/r_1 が減少すると共に R_0 の増加の割合も減少するが、 l_1/r_1 が十分に小さくなると、かえつて増大せしめなければならない事がわ

かる。その境界は $l_1/r_1 \approx 5$ の所にある。此以下では圓形に近い板取がよく、 $R_0 = R_c$ としてブランクをつくと、圖中に波線で示すような十字形に近い形となり容器の深さの一様性がわるくなる。此の場合には第7圖に示した作圖法を用い、側壁のみは大きな圓弧でむすぶようにすればよい。一例を上圖の中に示す。

V. 深絞り力又はポンチ力

以上のようなブランクを加工する場合、ポンチには所謂深絞り力を加えてブランクをダイス孔に絞り込む必要がある。この力はブランクの直邊部を r_a にそつて折曲げて再びのぼす際の抵抗に打勝つのに必要な力、隅の部分に圓筒型に變形させる際の抵抗に打勝つ力及びダイス面としわ抑え板面とブランク面との間の摩擦抵抗に打勝つ力の三つの部分から成立っている。あるきまつた大きさのブランクの場合には加工がすゝむにつれ歪が大きくなり、又變形部分の廣さかわるので、力の大きさは變化する筈であるし、又ポンチがきまつている時ブランクの大きさがかわれば、矢張り變形部分の大きさがかわるから力は變化する筈である。此等の關係を示すのが第11圖であつて縦軸



第11圖 深絞り力 P とストローク d ;

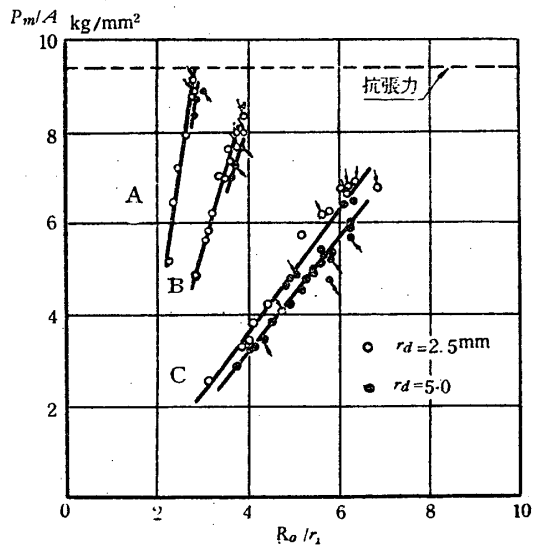
八角形、 $r_1 = 4.5\text{mm}$ 、 $r_p = 5\text{mm}$ 、 $r_a = 2.5\text{mm}$ 。

は綜合的の深絞り力 P で、横軸は絞り込みの深

さ d である, P は先ず深さが増すと共に略直線的に増し, ある所から略一定となり最高値に達し, 次第に減少して, 遂に加工が終ると 0 になる. 又たとえば R_0 が大きくなってブランクが大きくなると P も全體として大きくなる. 此等の傾向はすでに多く取扱われた圓筒型絞りの場合と同様で, 前にも述べた歪及び變形部分の廣さの變化で概念的に説明される. P はポンチ先端面に接するブランク部分につたわり, そこに隣接する r_2 部に接して, すでに略變形を終つた部分に引張應力を生ぜしめ, 更に周邊の變形部分に, 抵抗に打勝つようにつたえられる. 抵抗が大きくなると P も應力も大きくなり, 遂に應力が破斷強度に達すると, その部分の厚さが急激に減少し所謂局部收縮を生じ, 次でブランクは破斷して P も急激に減少し, こゝで所謂深絞り限界に達する. 圖に破斷として示したのはその一例である. この破斷する個所は第 8 圖に示すように製品の底の四隅のいずれかに先ずおこるのが通例で, この部分の引張應力が最大と考えられる.

P の最大値 P_m は勿論多くの因子に左右されるわけであるが, 比較のために加工された容器の側壁部の P に直角な斷面積 A 當りの引張應力 P_m/A のにして考えてみる. A は便宜上 r_2 部と側壁との接する所にとる.

$$A = 2t\{l_1 + l_2 - (4 - \pi)r_1\} \quad (3)$$

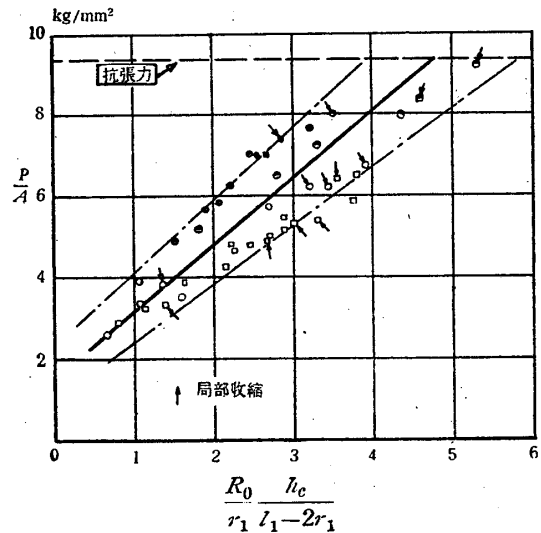


第 12 圖 P_m/A と R_0/r_1 の關係 (八角形)

矢印: 破斷. A: $r_1=20\text{mm}$, B: 10.5mm , C: 4.5mm

第 12 圖は八角形板取りについて R_0/r_1 との關係を示したもので, 直線的な關係をもつというこ

とが出来る. 此の直線は r_1 及び r_a によつて異なる. 此圖には $r_1=4.5\text{mm}$ の場合 $R_0=R_c$ で h/r_1 が變化する場合の外に h/r_1 が一定で R_0 が變化する場合をも加えてある. 圖によれば, R_0/r_1 が一定ならば r_1 の大きい方が P/A は大きい. 又 r_a は大きい程荷重は減少する. r_a が等しくとも R_0 ,



第 13 圖 P_m/A と $(R_0 \cdot l_c)/r_1(l_1 - 2r_1)$ の關係;

圓は $r_a=2.5\text{mm}$ 正方形は $r_a=5.0\text{mm}$

矢印は局部收縮を生じたことを示す

r_1, l_1 で異り, その差は歪分布の違いに原因がある. その分析は困難であるが, 便宜上 $(R_0 \cdot l_c)/r_1 \cdot (l_1 - 2r_1)$ を横軸にとつて r_a の相違をも含めてまとめると第 13 圖となり實驗の範圍では結果は略一つの直線で示され一應の目安とすることが出来る.

板取りの影響は r_1 が大きい程少い. $r_1=20\text{mm}$ では二種の板取りによる差は殆ど認められない. $r_1=4.5\text{mm}$ では角丸形板取りの方が P/A が大きい. それはブランクの隅部の周邊の形及び面積のちがいが大きいためである.

破斷時の $(P/A)_B$ は r_1 が大きい程大きく $r_1=20\text{mm}$ の場合は抗張力に近く, 引張應力は平均化されて居ると考えられるが, $r_1=4.5\text{mm}$ の場合ではその半分位である. 角をおとさないブランクの場合は更に小さい. 此の事實から $r_1=4.5\text{mm}$ では四隅の底の部分にかなり大きな應力集中があり, その程度は板取りにより大きく左右されることがわかる.

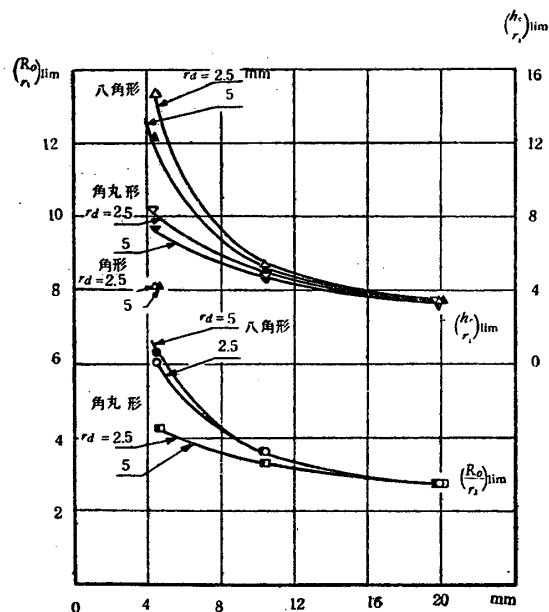
VI. 絞り限界

あるきまつたポンチで絞る時, ブランクの寸法

を大きくしてゆくと、次第に深い容器が出来るが、それと同時に変形抵抗も大きくなり、前述のようにブランクのある場所が破断状態に達しそれ以上の加工が不可能で、所謂限界絞りになる。实用的見地からすれば縁の高さが一樣で、少しでも深い製品が出来た方が、或いは少しでも大きいブランクを取扱うことの出来る方が便利である。特に隅部が絞り加工をうけて変形が複雑であるから、その深さに相当する量 $(h_c/r_1)_{lim}$ 、或いはブランクの大きさに相当する $(R_0/r_1)_{lim}$ で限界を表わす事とし、此等に影響をもつ多数の因子の中特に工具の寸法の影響を求めた。

a) r_1 の影響

まず $l_1=100\text{mm}$, $r_2=5.0\text{mm}$, $r_a=2.5\text{mm}$ 及び 5.0mm とし、八角形、角丸形、角形ブランクについて r_1 を $4.5\sim 20.0\text{mm}$ の間で変えた結果を示すと第14圖の如くなる。



第14圖 深絞り限界 $(R_0/r_1)_{lim}$, $(h_c/r_1)_{lim}$ と r_1 の関係

r_1 が小さい程 $(h_c/r_1)_{lim}$ は大きく角形では $12\sim 14$ 、角丸形では 10 に達する。併し實際の高さは r_1 の大きい方が大きい。 $(R_0/r_1)_{lim}$ は八角形では 6 、角丸形では 4 に達する。此の値は隅部最外周の壓縮歪に對應し、圓筒絞りでは略 2 の筈である。従つて角絞りに於て特に r_1 が小さい時は圓筒絞りよりも遙かに大きい歪状態まで加工出来る事になるわけで、この理由の詳細は更に研究の必要があるが、後述の如く、直邊部の此の種の歪

は遙かに小さく殆ど 0 であつて、壓縮應力も小さく、隅部の材料は直邊部に流入する事も出来、壓縮應力が緩和される爲抵抗力が圓筒絞りの場合程大きくなり得ないためと考えられる。

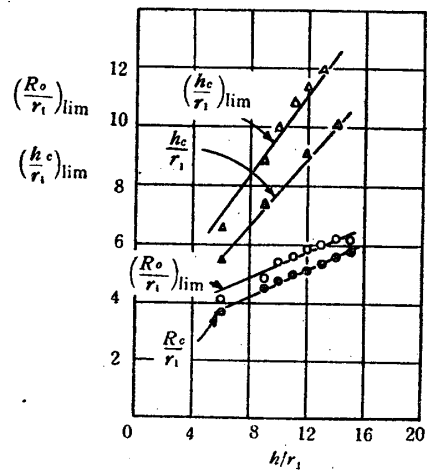
r_1 が大きくなると此の値が小さくなるのは、 l_1 が一定であるから直邊部が短くなり、應力緩和効果が少なくなるのが原因の一部であると考えられる。

又八角形ブランクは角丸形よりも絞り限界が大きい。此の理由はブランクの四隅及び直邊部にわたり切りおとされる面積が前者の方が大きく、従つて縁にそう壓縮應力が比較的小さい状態にあることにある。此の差は r_1 が小さい程著しく、 r_1 が大きくなると何れの板取りによるも隅の面積に著しい差がなくなる。従つて加工中の変形が似てきて絞りの限界値も亦近い値をとることになる。

角形が他の何れの板取りの場合よりも限界値が小さいのは、ブランクの隅部面積が大きいため、歪も大きく抵抗が大きくなり破断し易くなるものと考えられ、不必要な餘肉をブランクに付けることが、實際問題には禁物であることがわかる。

b) R_0 の影響

前項に述べた事柄は $R_0=R_c$ の場合についての結果である。容器の豫想深さ h を一定にして、 R_0 を大きくして行つた場合にも限界に達する。その模様を八角形板取りについて $r_1=4.5\text{mm}$, $r_2=5.0\text{mm}$, $r_a=5.0\text{mm}$ の場合の結果をとり第15圖に示す。



第15圖 h/r_1 を一定にした時の R_0 に対する絞り限界:

八角形, $r_1=4.5\text{mm}$, $r_2=5.0\text{mm}$, $r_a=5.0\text{mm}$

$R_0=R_c$ ならば $(h/r_1)_{lim}=18$, $(R_0/r_1)_{lim}=6.4$ であるが, h を小さくして R_0 を大きくすると, $(R_0/r_1)_{lim}$ は h と略直線的関係を保ち乍ら 6.4 より小さくなる. 各値を $(R_0/R_c)_{lim}$ になおしてみるとすべての h/r_1 について 1.15~1.20 で破断を生じている. 従つて実用上, ブランクの隅の半径を増すことの出来る範囲は, $(R_0-R_c)/R_c$ の値で 0.1 程度迄である.

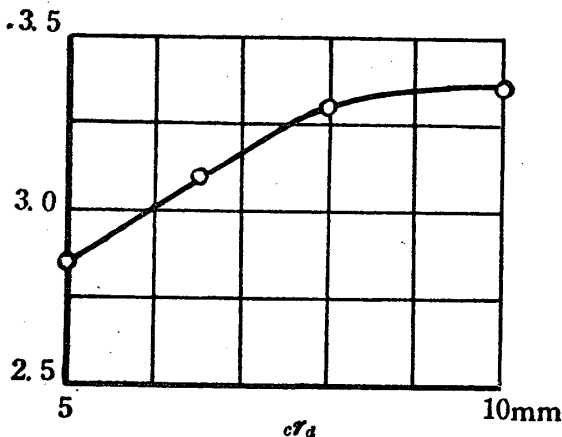
c) sra の影響

第 14 圖によると $(R_0/r_1)_{lim}$ については $sra=2.5\text{mm}$, 5mm の場合に對して差があらわれていない. 差のあるのは $r_1=4.5\text{mm}$ で八角形板取りの場合のみである. 此の限界は破断によるものではなく, 此以上大きな h/r_1 に對しては板取りの作圖が無意味になるために現われた限界で特殊の場合であつて, 角丸形の板取りではこのような事はおこらない. $(hc/r_1)_{lim}$ についてみると, sra の差がよくあらわれて居り, sra の小さい方が大きい値をもつ. 更にその影響は r_1 が小さい程大きく, 隅部の材料が直邊部に移行する事が困難になることを示している. 又此の事實は r_a と r_1 との相對的の大きさによると考えられ, $r_1=4.5\text{mm}$ に對する $r_a=2.5\text{mm}$, 5mm の組合せからみて, $r_1=10.5\text{mm}$, 20.0mm に對しては更に大きな r_a の値の組合せと比較してみるべきことを示唆するものとする事が出来る.

d) era の影響

ダイスの隅部の era を直線部の sra より大きくとる事により絞り限界をひろげることが出来る.

$(hc/r_1)_{lim}$



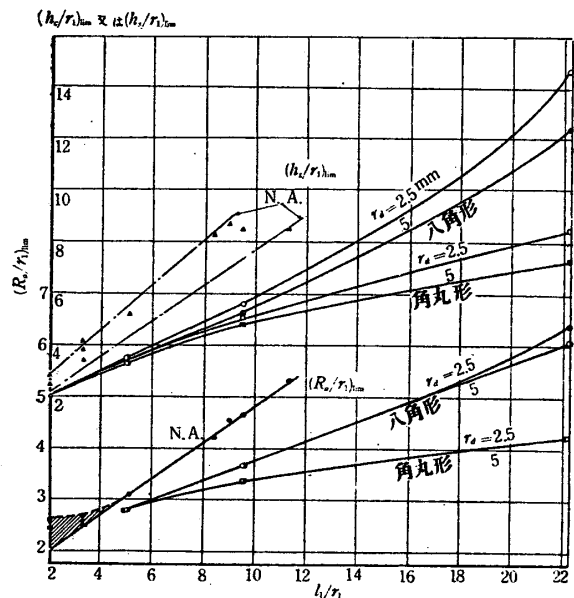
第 16 圖 深絞り限界 $(hc/r_1)_{lim}$ と era の關係

併し或る程度以上大きくしても限界値は増大の割合が減少し遂に飽和状態に達する. その一例を第 16 圖に示す. 此の曲線は $l_1=l_2=100\text{mm}$; $r_1=30\text{mm}$, $r_p=12.5\text{mm}$ のポンチを用い, $sra=5\text{mm}$ とし era を 5mm , 6.5mm , 8.0mm , 10.0mm とした場合の結果である.

このように era を大きくした場合限界値が飽和状態になるのは, era を大きくすることにより, ダイスの隅部のブランクに當る面積が小さくなり, そのため特に絞りの終りの段階でブランクにしわが出来易くなり, しわによる隅部の破断が生ずるためである.

e) 邊長 l_1, l_2 の影響

前にも述べたように, 短邊の長さ l_1 に比べて r_1 が大きくなると, 直邊部が短くなり應力緩和効果が少なくなつて抵抗が増すと考えられるので, 限界は低くなる筈である. 第 17 圖は $era=sra=5\text{mm}$ の場合を, 横軸 l_1/r_1 として示した圖で, 第 14 圖を描き直した事になるが, $(R_0/r_1)_{lim}$



第 17 圖 深絞り限界 $(R_0/r_1)_{lim}$, $(hc/r_1)_{lim}$ と l_1/r_1 との關係

は略直線的結果を示す. $l_1/r_1=2$ は圓筒形又は短邊に直邊部のない小判形の場合である. N.A. 線は日本アルミに於ける矩形断面の容器, 即ち l_1 と l_2 とが異なる場合の結果で, $l_1/r_1 > 5$ では同様な直線的關係を示し, l_2 の影響は認められない. $l_1/r_1 < 5$ では l_2 が影響し, l_2 の大きい方が應力緩和効果が大きく抵抗がへるため限界は上昇する. ハツ

チ領域の上縁線は l_2 の大きい場合で、下縁線は l_2 の小さい場合である。

又 N. A. 線が全體に高いのは $\sigma_d \div 1.5, r_d \div 7.5 \sim 10.0 \text{mm}$ で我々の場合より大きい事に主な原因があると考えられる。

VII. 歪の分布

しばしば歪の分布について言及したが、ブランクの表面に各種の標線をかき、廣範囲にわたつて變形状況を觀察することは屢々行われているが⁽⁴⁾ 詳しく歪分布を測定した例は少い⁽⁵⁾。そこで最も歪の大きい隅部二等分線(第7圖参照)上及び最も小さい直邊部中央線上の分布を測定した結果を示す。何れもブランク表裏両面の線上に 1mm 間隔に刻み線を入れ、最高絞力附近で加工をやめて取り出し、刻み線間隔をコンパレータで測定して間隔の變化量を求め、又厚さをマイクロメータで測定して歪を算出した。何れも對稱軸であるから、線方向、厚さ方向、及び線に直角の方向が主歪の方向と考えられる。此等の方向の歪を夫々 e_1, e_2, e_3 とする。 e_1, e_3 は表裏両面の値を平均し、容積不變として $(1+e_1)(1+e_2)(1+e_3)=1$ より e_2 は算出出来る。

測定を行つたのは $r_1=4.5 \text{mm}, r_p=5.0 \text{mm}, r_d=2.5 \text{mm}$ に於て板取りは角形、八角形、角丸形の三種で、圓筒絞りの結果と比較してある。

第18-1圖は、角丸形の隅部であつて、横軸は變形前の横線の位置で、座標は中心からの距離を示し、變形後は圖に示す位置にくる。縦軸は歪で普通 % で示してある。 e_3 は r_p 部迄は引張りで、それより外では絞りによる壓縮歪としての値を示す。 e_1 は底では引張りで、 r_p では曲げ引張りのため第一の高値を示し、この値は此れ以上加工が進んでもさして變化はない。次に r_d 部では曲げ引張りとなつて絞りによる壓縮 e_3 のために第二の高値を示すが、この値は、以後の加工で變化している。更にフランジ部にすゝむと引張りであるが、縁に近づくに従い大きさは減少する。此は引張應力と絞り壓縮 e_3 のためと考えられる。

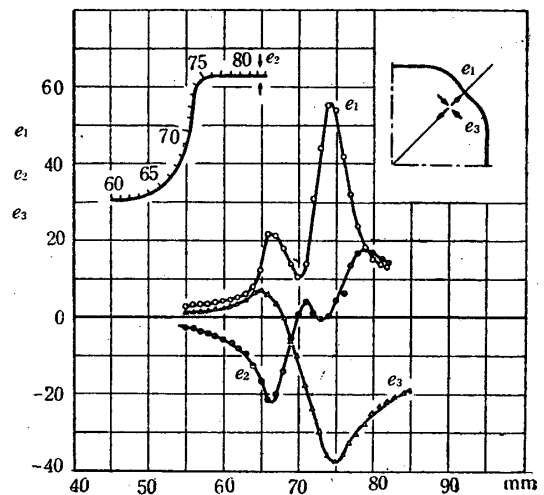
厚さ方向の應力は小さいので直接 e_2 を支配しないが、 e_2 は底から r_p 部までは e_1, e_3 が引張りであるから厚さが減少することを示して居り、それより外方では主に e_3, e_1 の効果で厚さが増

加することを示している。

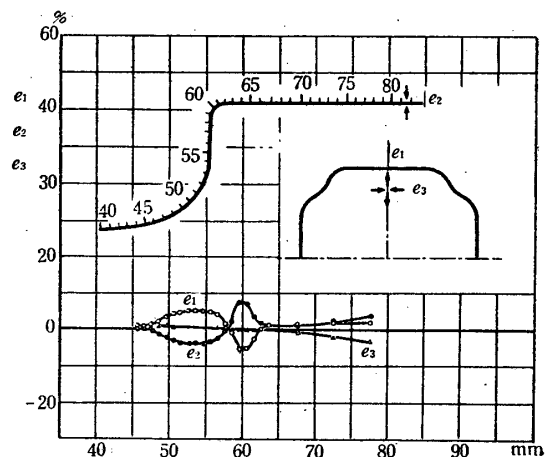
同圖2は直邊部の中央であつて歪は何れも小さく、 e_3 は底では殆ど0で、外縁で多少壓縮の値を示し前述と符號する。 e_2 は底で厚さが減少することを示す。

八角形、角形の場合も同様の傾向を示す、角形は h/r_1 が小さいにも拘わらず σ_p 部の歪が大きくなつて居り、ブランクの隅の餘肉のため絞りに對する抵抗が増大し、 σ_p 部に引張り應力が集中していることを示している。此の事は前節(a)の項に述べた事を裏付けている。

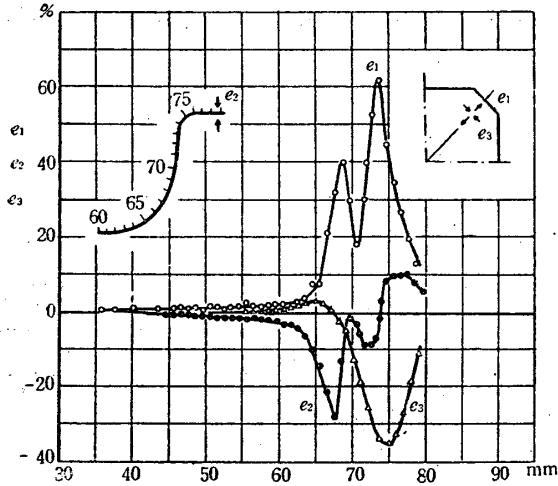
隅部二等分線上の歪分布について以上のべた傾向は圓筒絞りの場合と同様であつて、比較のために第19圖にそれの一例を示す。



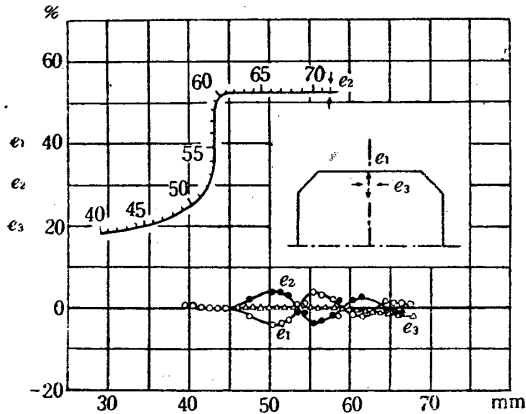
第18圖-1 角丸形、隅部の歪 $h/r_1=8.1$
 $r_1=4.5 \text{mm}, r_p=5.0 \text{mm}, r_d=2.5 \text{mm}$



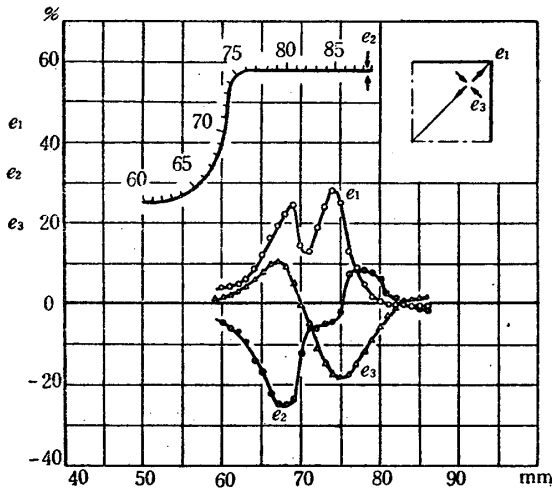
第18圖-2 角丸形、直邊部中央の歪、
 $h/r_1=8.1$



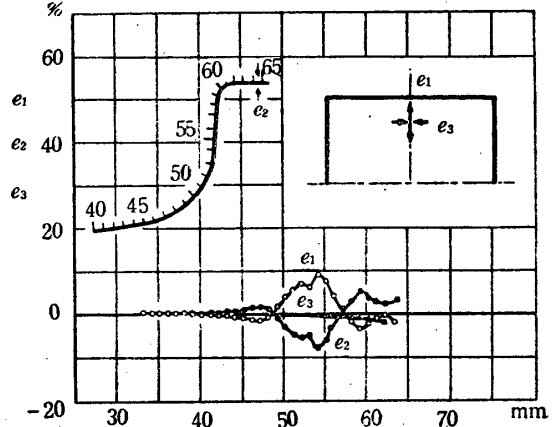
第 18 圖-3 八角形, 隅部の歪, $h/r_1=4.9$



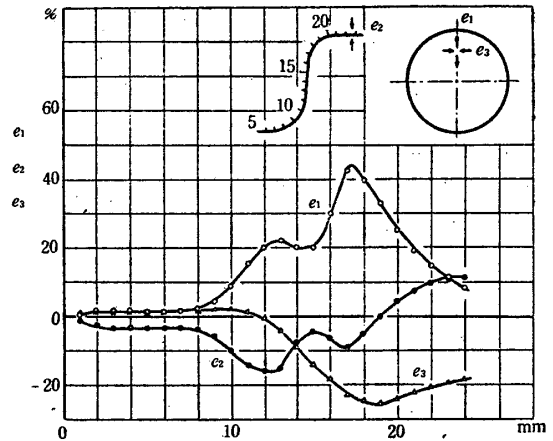
第 18 圖-4 八角形, 直邊部中央の歪, $h/r_1=4.9$



第 18 圖-5 角形, 隅部の歪, $h/r_1=3.6$



第 18 圖-6 角形, 直邊部中央の歪, $h/r_1=3.6$



第 19 圖 圓筒絞り歪分布

$d_1=24.50\text{mm}$ $r_p=3.25\text{mm}$ $d_2=27.25\text{mm}$
 $r_a=3.00\text{mm}$ $D_0/d_1=1.96\text{mm}$ $t=1.00\text{mm}$

積一定の假定から出発する角丸形の板取りが最良で、八角形でも隅半径 r_1 が大きい場合は差支えない。併し角形は不適當である。又ブランク形隅半径 R_0 は計算値より 5~10% 大きい方が適當である。

2) 最大絞り力 P_m は l_1 , r_1 , r_a が等しい時は R_0/r_1 と直線的關係を示し、更に又 $(R_0 \cdot h_c)/r_1 \cdot (l_1 - 2r_1)$ とも實用的に直線的關係を示す。破斷時の値は $r_1=20\text{mm}$ 程度ではブランク材料の抗張力により算出した値に近く、 r_1 が小さい時は 1/2 位の小さな値を示す。

3) 絞り限界は $(R_0/r_1)_{lim}$ で示せば 6 に達し、 $(h_c/r_1)_{lim}$ で示せば 8~10 に達し、 r_1 が小さく、 l_1 , l_2 が大きい程大きな値を示し、 l_1/r_1 と略直線的な關係にある。

4) 隅部の歪分布は圓筒形絞りの場合と同傾向である。

VIII. 結 言

一邊の長さで 100mm 程度の矩形、主に正方形の四角筒容器の深絞りを行う装置を作り、厚さ 1mm のアルミニウム板についてブランクの板取り、工具の寸法等の及ぼす影響を實驗した結果

1) 製品の縁高さを一様に近くするには、表面

以上の研究の装置の設計その他に盡力された由利裕三君、並びに實驗に協力された安部重二、角谷昭、澤田潔の諸君の助力に厚く感謝の意を表すると共に、文部省科學研究費の補助、並びに日本アルミニウム株式會社の援助に對して深く謝意を表する次第である。

文 献

- (1) 福井伸二, 三國英男, 工藤英明: 理工學研究所報告, No. 2, Vol. 1 (1947), 27~30.
- (2) 例えば
M. Kurrein: *Die Werkzeuge und Arbeitsverfah-*

ren der Pressen, Julius Springer, Berlin. (1926), 519, 521.

- (3) S. D. Broetzkoos: *American Machinist* No.14, Vol. 93 (1944), 67~71.
- (4) 例えば
C. W. Linman: *Press Working of Metals* McGraw-Hill, N. Y. (1941), 308, 第273圖.
石川貞俊: 最新プレス加工, マシナリー社, 東京 (1948), 110頁 第8圖.
- (5) 益田森治, 美代乙彦: 機械學會誌 No. 386, 54 (1951), 98.

(1951年7月24日受理)