技 術 論 文

衝撃押出法の研究(第6報)角型ケースの冷間押出について*

五 弓 勇 雄** 鈴 木 壽** 湯 川 透**

Isao Gokyu, Hisashi Suzuki and Tôru Yukawa : Studies on Impact Extrusion (6th Report). On Cold Extrusion of Square Shells. Fundamental studies on impact extrusion of round shells were already reported in 1st~5th report. As the basis of this process applied to rectangular shells, impact extrusion of aluminium and zinc square shells were investigated by the same method. To examine the extrusion forces, we described the influences of various factors on extrusion forces, such as influence of "R" of punch, tapering of punch, rate of extrusion, thickness of the wall of shells, annealing temperature of blanks and extruding temperature, etc. and the forces were calculated from our formula. The method of flow by the use of composite blanks, some defects of the shell, some earing behaviors and their prevention, hardness distribution and microscopical structures of the wall were also described. The textures in both wall and bottom of shells were determined. The experimental results were, in general, nearly in the same tendency as with round shells and we could obtain the basic data for the application of the process to rectangular shells.

(Received December 25, 1953)

I. 緒 言

第1報乃至第5報^{(1)~(5)}には亜鉛およびアルミニウムの継目なし圓筒形ケースの衝撃押出について報告したが、本報では四角形ケースの押出について述べる。従来より継目なし角形ケースの要求は多く、たとえばアルミニウム製のものでは中間周波トランス用ケースなどとして、また亜鉛製のものでは主として乾電池用ケースとして用いられて来ている。特に乾電池用角型ケースは多数ならべて電圧を高める際は丸型のものよりも電池間の空隙を少くし得て同一占有面積で容量を大にし得る利点がある。しかるにこれら角型ケースの製造は従来より多段深絞り法によつてゐる現状である。これら異形ケースが衝撃押出法によつて作製出来れば、工程の簡易化とコストの低下をはかり得る。四角形ケースの衝撃押出に関してはその押出力、ケースの性質などについての研究発表は今まで内外を通じて見當らず僅かにアルミニウムの場合に型⁽¹⁾の設計基準が Alcoa 社型録に記載されているのみである。以上の見地から著者等は亜鉛およびアルミニウムの四角形継目なしケースの押出について、押出力におよぼす種々の影響、粗材の流れ、押出耳、押出ケースの諸性質などを圓筒形の場合に準じて實驗した。

II. 試料および實驗方法

試料は 99.9% 純度の亜鉛および 99.5% 純度のアル

ミニウムをそれぞれ電気爐にて溶解後 25×72×365 mm 金型に鑄造し、それぞれ 200° および 400° に 80 分焼

後 4 mm 厚まで冷間壓延して壓延度 84% の帯板とした。この板より 11.5 mm 平方の四角形ブランクを打抜き試料とした。静的押出力の測定には Fig. 1 に示す装置を用いて、30 t 松付式試験機にて押出を行いその他の試験にはクランクプレスによる衝撃押出を行つた。

Fig. 1 Apparatus for measuring extrusion force
A...Punch, B...Guide, C...Nut to fix die, D...Die.

III. 押出力におよぼす種々の影響

まず第1報⁽¹⁾および第4報⁽⁴⁾

の圓筒形ケースの場合と同様に押出力におよぼす種々の影響を調べた。この場合一般にケース肉厚は 0.5 mm にして雄型には R をつけずかつ逆テーパは 2/150~3/150、雌型各邊は 11.5

mm でその底部角隅の R は 1.5 mm、また潤滑剤としてグリースを用い押出条件を一定にした。實驗は亜鉛およびアルミニウムの場合につき未焼鈍ブランクを用いて行つたが両者は同一傾向を示したので以下亜鉛についてのみ記述する。

まず雄型の R の影響であるがこの場合は雄型にテーパを附けず R は 1.5 mm まで變化させ實驗したが圓筒

** 東京大學工學部冶金學教室

* 1952 年 4 月本會東京大會に發表。

(1) 五弓, 鈴木, 本誌, 18 (1954), 232.

(2) 同上 236 (3) 同上 321 (4) 同上 375 (5) 同上 379.

形の場合と大凡同様な傾向にあり、R の増加とともにも僅か押出力は漸増した。角錐臺状雄型尖端角の押出力におよぼす影響は雄型に 0.5/150 の逆テーパを附して実験したが、この実験の範囲では Fig. 2 に示した如く尖端角

Fig. 2 Influence of θ on extrusion force.

θ の減少とともにも押出力は減少した。雄型の逆テーパの

Fig. 3 Influence of tapering of punch on extrusion force.

速度にて試験したが速度の増加とともにも押出力は漸増した。次にケース

Fig. 4 Influence of thickness of shell wall on extrusion force.

肉厚の押出力におよぼす影響は雌型の R=0.5 mm のものにて実験したが

影響は Fig. 3 に示した如く、逆テーパが大になるほど押出力は減少した。押出速度の影響は 6mm/min 以下の速度にて試験したが速度の増加とともにも押出力は漸増した。次にケース肉厚の押出力におよぼす影響は雌型の R=0.5 mm のものにて実験したが

Fig. 4 に示した如く、薄肉になるにつれて押出力は急増する。焼鈍温度の影響は各温度にて

Fig. 5 Influence of annealing temperature of blank on extrusion force.

は最小値を示すようであるが亜鉛の場合焼鈍の影響はそれほど敏感でなかった。押出温度の影響は装置全體を底無し

の電気爐に入れ、ブランクを所定の温度に約 5 分間保持後押出を行った。この結果を Fig. 6 に示したが、たとえ

Fig. 6 Influence of extruding temperature on extrusion force.

ば押出温度 200° には常温押出の場合の約半分の押出力ですみ、押出温度の上昇とともにも押出力は急激に減少した。角型ケース用雌型の作製は丸型の場合に比べて困難である上、角型用雌型は應力集中のため破損し易い故、かゝる異型ケースの押出においては特に型の點から押出温度の高いことが望まれる。雌型底部角偶の R の影響は、たとえば R=0.5mm と 1.5 mm の場合他の条件を一定にすれば、R が大なるものの方が小なるものより約 10 % 押出力が小となる。また潤滑剤の影響はパラフィンおよびラノリンなどが良好であつた。

以上の如く四角ケース押出においても押出力におよぼす種々の影響は圓筒形ケース押出の場合とほぼ同一傾向にありそれぞれの理由についても同様に説明出来る (第 1 報参照)。たゞこの際の比押出力は丸型の場合に比べてやゝ大きくなっている。これは主としてダイスが角型であるためダイスの研磨が丸型に比し不充分で流れ抵抗がより大きくなったことに原因があると思われる。また雄型の R およびブランクの焼鈍の押出力におよぼす影響などが、丸型の実験ほど明瞭でなかつたのもやはりこの理由によると考えられる。

なお押出力-行程曲線も丸型の場合と同様な形状を示し、曲線に見られる極大および極小點が不明瞭になる場合は、偏肉著しい場合、押出速度が極めて小なる場合、ある程度ケース肉厚が大となる場合、加工温度がある程度高くなる場合、流れ抵抗の影響がある程度大となる場合などで、これらも丸型の場合と同様であつた。四角型ケースの押出力の理論式では圓筒形ケースについて第 1 報⁽¹⁾に記載したと同様にして誘導することが出来、次の如く書き表わせる。すなわち

$$P = 4a^2 \left\{ k f_1 \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{a}{h} \right) + k f_2 \cdot \left(\ln \frac{2ha}{s(2a+s)} + \frac{\mu + 0.5}{2} \cdot \frac{h}{s} \right) \right\}$$

こゝに a は雄型の一辺の長さの半分であり、丸型の場合の半径に對應している。他の記號は第 1 報の場合と同様である。本式を丸型の式と比較すれば、同一肉厚ブランクから同一斷面積のしかも同一肉厚ケースを押出す際の所要力は常に角型の方が僅か大となることが結論出来る。従つて上記実験における比押出力が丸型に比して大であつたの

は一つにはこの影響にも依存するであろう。なお $h=4$ mm, $s=0.4$ mm, $a=5.35$ mm の場合, $\mu=0.2$ と仮定し第 1 報⁽¹⁾にて求めた亜鉛の變形強度を用いての亜鉛角型ケースの押出力を上式より計算した値と實測値とを Fig. 7

Fig. 7 Extrusion force-stroke of punch curves calculated from our formula (A, B) and actually obtained (A', B').

果はすでに述べた丸型の場合と同様であつたので詳細を略すが、一例として Fig. 8 (a) に積層状ブランクによる衝

Fig. 8 Square shells extruded; (a) Flow test by blank in thin layers; (b) A defect on the side wall; (c) Ears of square shells.

ム共に同様で一般に邊部分に生じてこの耳の發達が著しければ同圖左のケースの如く耳の尖端が裂ける。かゝる 4 個の耳の位置は焼鈍、未焼鈍の粗材に關係せず、またブランクの一邊を壓延方向に平行または直角にしても一般に變化しない。かゝる耳の高さは亜鉛の場合、同一肉厚ケースの押出であれば、壓延方向にブランクの一邊を平行にする時は壓延方向の二つの耳が優越し、アルミニウムにてはかゝる影響がない。これら耳の發生原因として、ブランクの邊

に示す。これによると焼鈍、未焼鈍材共計算値と實測値はおおよそ 10 % 以下の誤差範囲内でよく一致して上記理論式が工業的にも有用なることを示している。

IV. 偏肉および押出耳について

角型の衝撃押出ケースの種々の流れ試験の結果

方向は對角線方向より流れ抵抗が小である故、この方向へ粗材が流れ易く、他方かゝる流れ抵抗の影響がブランクの結晶學的異方性よりも一般に優越したとめと考えられる。事實雄型の縦の角隅をさらに削り、丸みを帯びさせることにより、雌雄兩型間における角隅部の間隙を大ならしめ、この部分を通るケース肉厚を大にし、この部分の流れ抵抗を小ならしめることによつて上記押出耳を阻止することが出来る。

V. 押出材の性質

顯微鏡組織は亜鉛およびアルミニウムの衝撃押出ケースにつきそれぞれ濃硝酸および Perryman⁽⁶⁾の腐蝕液を用いて検討したが、亜鉛ケースでは再結晶組織を示し底部ほど粗粒であり、アルミニウムケースでは加工時再結晶の痕跡なく押出方向に一樣に伸びた組織を示した。

次に衝撃押出ケース側面の硬度分布であるが、角型ケースは丸型と異なり肉厚は一樣でなく四角隅部が厚い。従つて側面および角隅部は加工率および加工による發熱量を異にするので、硬度分布はケースの表面にて一樣でないと考えられる。荷重 2 kg にてビッカース硬度壓痕對角線長の平均値をケース長約 30 mm の側面各所につき測定した結果を亜鉛およびアルミニウムにつきそれぞれ Fig. 9(a)(b)

Fig. 9 Hardness distribution on the wall of zinc and aluminium shells extruded

に示した。これによれば何れの場合もケースの上下方向では上部ほど硬化しており、またケースの同一高さにおいては、亜鉛ケースはほぼ邊中央ほど軟かく角隅ほど硬化しているが、アルミニウムケースは逆となつてゐる。また底部の硬度測定結果は何れも中心部が最も軟かく周邊部ほど硬化していた。以上の理由として角型ケースでは角隅部より邊部は肉厚が薄く加工度が大である故加工時の發熱量もこの部分がより大であり、従つて亜鉛では邊部がより再結晶が進行し、アルミニウムではかゝる發熱量に對して再結晶軟化が行われにくく、また何れの場合も下部ほど軟化しているのは加工熱による再結晶または回復による軟化が下部ほど著しくさらに底周

(6) E. C. W. Perryman, Metal Industry, 27 July (1951), 71.

邊部の硬度が大であるのは周邊部ほど放熱量が大であるためと考えられる。

次に押出ケースの聚合組織を検討したが第2報⁽²⁾および第4報⁽⁴⁾においてすでに明らかにした如く、この際もケース側面には壓延組織が発生していると豫想されるので、まず亜鉛およびアルミニウムケースにおいて、側面上下方向および隣接二側面間における聚合組織の差異について調べた。

Fig. 10 Orientations of compression axis at centre of bottoms of extruded aluminium shells are indicated in standard stereographic projection triangle. X-ray determination.

面間の聚合組織の差異は、ブランクの打抜角度に依存していたことが判る。次にケース底面の聚合組織については、圓筒形ケースの場合に亜鉛では{0002}壓縮組織⁽²⁾、またアルミニウムでは{110}壓縮組織⁽⁴⁾の出現を指摘したが、こゝに改めてアルミニウム角型ケース底部中心の壓縮組織を調べて見た。このためにはまず{002}および{111}極點圖を求め、次にこれら極點圖を用いて壓縮組織のステレオ三角形内表示を行つた。

この結果を Fig. 10 に示したが、これよりアルミニウムでは<110>壓縮組織を示すことが判り、しかもこの場合<110>組織の分散はおおよそ8.5°以内にあり<111>および<001>極點からそれぞれおおよそ11°および5.5°範囲内には空白部を生じている。これら組織は加工法を異にするが Barrett⁽⁷⁾の求めた壓縮の結果とよく一致している。角型ケース底部周邊の聚合組織は Fig. 11 に掲げたが、周邊部においても流れ方向を壓延方向、壓縮面を壓延面とする{110}<112>壓延組織に近いことを示している。そして極點圖の形状は押出組織⁽⁴⁾と形状を異にし壓縮組織より押出組織へと移行する中間組織を示してい

(7) C. S. Barrett and L. H. Levenson, AIME, Met. Div., (1940), 112.

る。すでに述べたケース側面下部の押出聚合組織の分散の大きいことは、押出の機構からケース下部ほど上記の壓縮組織に影響されること大であるためと考えられる。

VI. 結 括

亜鉛およびアルミニウムの繼目なし四角型ケースの衝撃押出の研究を行い次の諸結果を得た。

(1) 押出力におよぼす雄型の R、角錐臺狀雄型の尖端角、雄型の逆テーパ、押出速度、ケース肉厚、ブランクの焼鈍温度、押出温度および雌型の R 等の諸影響はすで行つた圓筒形ケースの場合とほぼ同一傾向にあつた。

(2) 四角型ケース押出力の理論式を丸型の場合と同様にして導き、この式による計算値と實測値は良く一致することを示した。

(3) 押出力-行程曲線の形状も丸型の場合と同様であつた。

(4) 流れ試験の結果も丸型の場合と同様であつた。

(5) 押出耳は、亜鉛、アルミニウムの焼鈍および未焼鈍ブランクについて何れも邊方向に4個発生するのが一般で、これら現象は押出における流れ抵抗の大小から説明出来る。

Fig. 11 (a) - {002} and (b) - {111} pole figure for the inside textures at bottom-circumference of extruded aluminium shells. Solid circle and cross indicate {110} <112> and {112} <111> orientations in figures respectively.

(6) 押出耳はケース角隅部の肉厚を大きくすることにより阻止出来る。

(7) ケースの顯微鏡組織は丸型の場合とほぼ同様であつた。

(8) ケース側面の硬度は、上下方向では亜鉛、アルミニウム共に下部ほど軟化しており、同一ケース長の左右方向では、亜鉛では邊中央ほど軟化しているがアルミニウムはこの逆であつた。これらは加工熱の影響より説明出来る。

(9) ケース側面の聚合組織は丸型の場合と同様壓延組織を示した。聚合度は同一側面にては上部ほど、また隣接二側面間では何れか一側面が高かつた。後者は角型ブランクの方向性に依存する。

(10) アルミニウムケース底中心部の組織は<110> 壓縮組織を示し、この分散はおよそ 8.5° 以内にあつた。

(11) ケース底周邊部の 聚合組織は、壓延組織に近く壓縮組織から押出組織へ移行する中間組織と考えられた。

本實驗を遂行するに當り型の製作に御協力下さつた東芝柳町工場奥村保吉氏および衝擊押出に援助せられた宮本工業宮本鬼外、田中沙男兩氏に深甚の感謝の意を表する。