



軽合金板の成形 加工の特徴



福井伸二

1 板の種類

軽合金として実用されるのは Al, 又は Mg 合金が主であるが、板材として成形加工の對稱となるのは、現在では Al 系が殆んど全てであつて、純度 99.7% から 98%, 96% までの Al 板, SD 又は 24S と云う符號で, Cu: 3.8~4.8, Mg: 1.7~1.8, Mn: 0.4~1.0, Si: <0.5, Fe: <0.6 の成分である超デュラルミンと, ND の符號で, Cu: 3.5, Mg: 0.4, Mn: 0.6, Si: 0.8, Fe: 0.7, Zn: 0.2 程度のニホンデュラルミン材が大部分である。SD, ND は何れも焼入れ後の時硬現象を利用して抗張力, 及び硬度を高くし, 強度部材として使う目的で作られた物であるが, 構造物の形状的の要求から成形加工をうける場合が多く, しかも曲げ, 複合曲げ, 深絞り, 潰し加工等, 銅系統, 鐵系統の一般の板材の受ける加工の何れに對しても, 室温で殆んど同様に加工可能であるが, その場合の特徴とか, 注意事項の主なる者について簡単にのべる事とする。

2 特長又は利點

Al を主體としているので熔點は 900°C 附近で, 熱處理温度は焼入れにしても 500°C 附近, 實用の焼鈍は $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ で, 他の材質に較べて遙かに低く, 處理温度の變化許容範囲は狭くて, 焼入れは大體 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 程度であるのは注意を要するが, 温度の低い點と, 熱傳導度が良好で, 又加熱, 冷却の方法にさ程難かしい要求がなく, 更に酸化物の生成がさ程問題にならない等熱處理が割合簡易であるのが一つの特長である。又比重が小さくて軽いから, 持運び等の取扱いが樂である。硬度は Al でヴィカース硬度數 25~40, D では 50~100 位であるからさほど硬いと云うわけではなく, 又變形抵抗は他の材料の數分の一から高々等しい程度で小さいから, 使う機械の容量は小さく, 又構造も頑強でなくてよい。更に加工に必要な型の材質をさほど吟味する必要がなく, 従つて型の加工に要する手間も比較的簡單で, 又その消耗もさほど大きくはない。以上は何れも特長, 或は利點と看做す事が出来る。

3 被加工性の差異

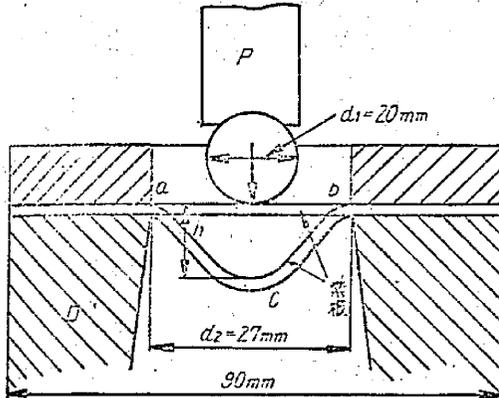
被加工性の點になると他の材質とは多少違ふ點もありそれは注意事項になるわけである。もつとも被加工性といつても非常に複雑で, 一概にかたづけけるわけにはゆかぬ。まづ加工の失敗をみると, 殆んど割れとか裂けと, 云ふ形で現れるのが一番多まる。その原因は時には材質の局所的な特別な缺陷による場合もあるが, 一般には殆んど引張り應力による破斷である。そこで先づ引張り試験の結果を調べて見る必要がある。

a) 引張り加工 第1表は最も普通に行われる試験の結果である抗張力, 伸率, エリクセン値をアルミニウム超デュラルミン, ニホンデュラルミン, 銅, 黄銅 (7:3) 磷青銅, 軟鋼の燒鈍板について示した物で, () 内は規格, 又は一般の標準値を示して居り, エリクセン値は第1表 引張り試験結果

材 質	燒鈍温度 $^{\circ}\text{C}$	符號	抗張力 kg mm^2	伸率 %	エリクセン値 mm (1mm 板)
アルミニウム	360	AO	12.0 (>7)	35.2 (>25)	(10.0)
超デュラルミン	360	SDO	18.0 (<25)	19.0 (>10)	8.3
ニホンデュラルミン	350	NDO	21.0	21.7	6.0
銅	550	Cu	48.5	44.5	(11.0)
黄銅 (7:3)	650	Br	30.0	66.5	14.0
磷青銅	550	P Bz	39.0	79.0	
軟鋼	850	MS	38.0	39.0	11.3

厚さ 1mm の板について求めたものである。ここですぐ眼につくのは軽合金板は抗張力, 伸率が他に較べて小さい事である。抗張力の小さいのは變形抵抗の小さいのを聯想せしめ, 伸率は一般伸びと局部伸びの和であつて, 兩者共に小さいのが普通である。伸率の大小は常識的にはその材質の變形能の大小を示すように考えられる處で引張り應力を生ずるような加工をうけると, 變形抵抗は

小さいが、伸び變形能が小さく、無理がきかず、裂け易く、脆いと云う感じを起さざるわけである。エリクセン試験は第1圖のように、直径 $d_2=27\text{mm}$ のダイス孔の上に 90° 角の試片を置き、孔と同心の直径 $d_1=20\text{mm}$ で先端が球状のポンチを押し込んで行くのであるが、この際試片全體は孔の中にポンチと共に押込まれるのではなく、主にダイス孔の直上にあつた部分だけが伸び、損がつて變形する。大ざつぱに考えるとポンチ P の先端



第1圖 エリクセン試験の變形

が h だけ押込まれると ab の部分が acb のように變形する。P の先端の接觸角を 2θ とすると、

$$acb = d_1 \cdot \theta - d_1 \cdot \tan\theta + (d_1 / \cos\theta),$$

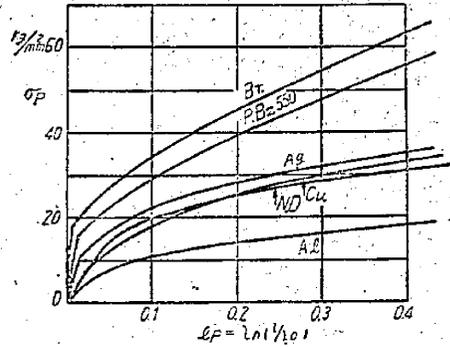
$$2h = d_2 \cdot \tan\theta + d_1 - (d_1 / \cos\theta)$$

であつて、 ab の平均伸を e_r とすると、

$$e_r = (acb - ab) / ab = (1 / \cos\theta) - 1 - d_1 (\tan\theta - \theta) / d$$

であらされる。この他圓周方向に伸び、厚みは縮るが e_r が一番大きく、引張變形能が小さいと思える輕合金板は割れ目の生ずるまでの押込み深さであるエリクセン値が他の材料より小さく出て、引張試験の結果と對照する原因はここにあると考えられる。従つてこの場合に相應する加工、實際には型張出し加工というような通稱で呼ばれるものにおいては、加工限度を伸率から割出した程度に銅、鐵系の材料より低目にとる注意が必要である。以上は總合的な伸びをとつての話であるが、もう少し細かく觀察する爲に所謂塑性曲線をとつた結果は次のような事になる。やり方は、引張りの方向に伸びると同時に、伸びと直角の方向、即ち幅と厚みの方向には縮んで斷面積が變化するので、荷重の變化と共に、長さ、幅、厚みの變化を夫々測定して、眞の應力と、各方向の歪の關係をばつきりさせるのである。時に最高荷重點を過ぎて局部收縮が始まると、その部分の伸びは直接に計る事が出来ないから、一ぱん斷面の小さくなる箇所の幅と厚みを計り、斷面積 A を出し、容積は一定で變化しないとしてその斷面の平均の伸び歪 e_p を算出する。即ち最初長さ l_0 、斷面積 A_0 、荷重時のそれらを l, A とすれば容積一定から $A_r l_0 = A l$ で、 $e_p = (l - l_0) / l_0$ 、斷面積變化率 $q_p = (A_0 - A) / A_0$ とすれば、 $(1 + e_p) A / A_0 = 1$ 又は

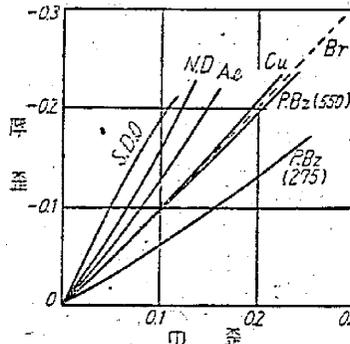
$(1 + e_p) \cdot (1 - q_p) = 1$ となるので、 A 又は q_p から e_p は算出される。更にこのようにして得た伸び歪を有効歪又は對數歪 $\bar{e}_p = l_n(1 + e_p)$ に換算し、一方荷重 P のをその時の A で割つて、有効應力又は眞の應力 σ_p を出し、 $\sigma_p \sim \bar{e}_p$ 又は $q_p \sim \bar{e}_p$ の關係を示したのが塑性曲線で、第2圖はその實例である。縦軸が σ_p で、變形抵抗の程



第2圖 塑性曲線

度を示し、横軸は \bar{e}_p で變形能の程度を示す。ND は Cu と同程度で、Br の約半分、SD も略この程度である。Al は ND の約半分、Br の約4分の一程度となる。

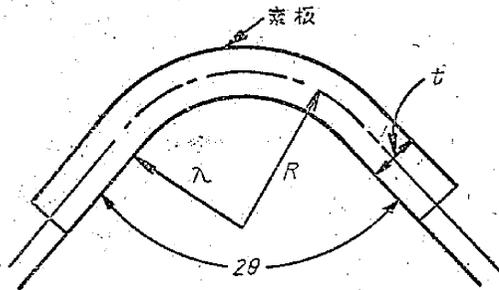
\bar{e}_p は伸び率で示された程度よりも大きい範圍まで變形に耐えるのを示しており、引張り作用のもとでは局部收縮の起り方が輕合金は他に較べて狭い範圍であると考えられる。又この際幅方向と、厚み方向の變形については普通ふれられていない。そこでこれ等の間の關係を示したのが第3圖であつて、縦軸は厚みの方向の歪 e_t 、横軸



は幅方向の歪 e_w である。Cu, Br, PBz のような鋼合金では原點からほぼ 45° の直線で示され、 $e_t = e_w$ となり、Al, ND, SD は横軸と 45° 以上の角をなす線で、 $e_t > e_w$ である事になる。これらの場合は第3圖中と厚み方向の歪の關係 試片の幅が厚みよりも大きい矩形斷面であるから、その形状の影響が現れて來ているようにも考えられるが、事實斷面の形を變えてもこれらの關係にはたいした影響はない、そこで鋼合金の全てではないが、ここで取扱つた物は幅の方向にも、厚みの方向にも變形能は略、等しいいわゆる等方質に近い性質を示すが、輕合金はそうではなく、厚みの方向に異方性を示し、その方向に變形しやすく、又は板の面内の方向には變形し難いと見る事ができる。これの原因はさておき、輕合金板は厚み變化を制限しないような加工

を受けると出来上つた結果は厚みの變化、又は不同が場所によつて著しくなる傾向があり、その程度は大體SD, ND, AI という順序であるといふことができる。

b) 曲げ加工 曲げ加工には色々方法があるが、代表的なのは第4圖のように先端の曲率半径が r で、接觸角が 2θ になるように出来た型の表面に密着するように曲げられるいわゆる型曲げの場合である。 r の丸みをもつ部

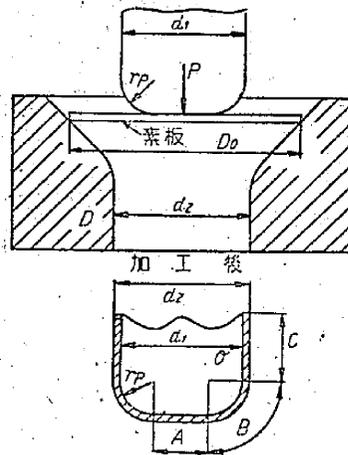


第4圖 曲げ變形

分に接着する範圍が主に塑性曲げ歪を起して居るので、外側は引張り歪、内側は壓縮歪を生じ、何れも表面が最大で、厚み方向に直線的分布をしているのは弾性曲げの場合と同様と考へてたいした誤はない。従つて厚みの中間の或る所で歪が0、即ち中立面となる所がある。この位置は厚みの中央に近いが、弾性的場合とは違つて中央から少し内側の方へずれている。そしてこの面の曲率半径を R とすれば、 R の中心は r のそれと略一致し、 $R-r$ が内表面から中立面までの距離となり、輕合金では板厚みを t とすれば、 $R-r \approx 0.4t$ 程度であつて、他の材料では $0.35 \sim 0.50$ 位の事が多い。この値は素板の板取りをきめる所に注意すべきことである。更に又外表面の最大引張り歪は略、 $\{t - (R-r)\} / \{r + (R-r)\}$ で與えられ、 r が小さくなる程大きくなり、割れる怖れを生ずるのは素板の事實である。そこで割れないようにするなめ、當然曲率半径をあまり小さくしないようにする注意するのが必要であつて、これの小さい方の限界標準値がいわゆる最小曲げ半径 r_m で、 $r_m \approx (2 \sim 3)t$ 位にとるのが適當である。従つて黄銅、鋳板のようにこの値を殆んど0にして鋭い角をつけたり、又内面が互に密着するまで折曲げると云う事は一度の操作では無理であつて、どうしてもこのような要求のある時は焼鈍をまじえて2回、又は3回の操作による必要がある。これの原因は伸び率の小さい事と關連すると考へてまづ差支へない。複合曲げの場合には以上の何れもの事項を考へ入れる必要がある。

c) 深絞り加工 実際には深絞りかどの程度にきくかという事がしばしば問題になる。この加工は第5圖のように板材をポンチ P でダイス孔に押込み、絞り通して梳とか、辨當箱のような底のある筒型容器をつくる方法で、前述のエリクセン試験の場合とは少し違つて、板材全體がダイス孔の中へ移動する。この際板材のうける應

力、歪は形により、又場所によつて異なり、頗る複雑であるが、一應一番



第5圖 深絞り加工

あるが、一應一番簡単な直径 D_0 の圓形素板を圓筒形容器に加工する場合を考へる。第5圖はこの場合に相當するので、出来上り物の底の平な部分 A は主に引張りをうけるがその量は大いした者ではない。となりの B 部は内面がポンチの頭部角の丸み半径 r_p に沿つて曲げられ、その上加工中ポンチを押込むに必要なポンチ力 P は引張り應力 σ_r の形で、ここより外周部の C 部に傳達される。C 部は加工前はポンチ径 d_1 、又はダイス孔径 d_2 よりも大きい直径の圓周部分を占めていた部分で、加工後は $d_2 \sim d_1$ の間の直径の圓周に変化しているから、圓周方向の壓縮をうけたことになるので、この變形に對して抵抗した管で、又ここはダイス D の面上を這りながら孔の中へ移動したから、その際摩擦抵抗を生じた管である。これらの抵抗の總和に打勝つために P が必要で、しかもその作用が B 部から σ_r の形で傳達されてくるから、C 部は引張り應力 σ_r と圓周方向の壓縮應力 σ_c の作用のもとに變形する。従つて各所の歪の分布は複雑にならざるをえない。加工をやる際に抵抗が大きくなると σ_r も大きくなる必要が起り、遂に B 部の破斷強度に達すると底が抜けて加工限界に達し、失敗に終る。抵抗は摩擦抵抗をへらしても、C 部の廣さが廣くなれば當然大きくなり加工は困難になるわけで、吾々はこの程度を絞り率 d_1/D_0 と云ふ數値で考へるのが普通である。そして底が抜るか抜けないかの限界の値を限界絞り率 $(d_1/D_0)_{lim}$ と呼ぶ。この値が小さい材料は底が抜けないで加工出来る範圍が廣いわけで、都合がよい事になる。そこで深絞り加工に對する被加工性もこの限界絞り率の數値で比較する事が行われる。しかれこの値はダイス、ポンチの形、摩擦抵抗で左右されるがダイス面を頂角 60° 程度の圓錐面の一部とし、孔の径 d_2 を板厚みに對して適當に選ぶと、ダイスの形、及び摩擦を省略しうる程度にへらして、ポンチの形の影響だけを示すことができる。前述のように B 部は r_p に沿つて曲げられるので、これを小さくすれば當然曲げ歪が大きくなり裂け易くなつて不利であるが、ほとんど全ての材料は r_p が板厚み t の $(4 \sim 6)$ 倍位が一番裂け難く、これより大きへると又裂け易くなり、 $(d_1/D_0)_{lim}$ の

第2表 限界絞り率の比較

材 質	焼鈍温度 °C	限界絞り率(d/D_0) _{lim}	
		$r_p=6t$	$r_p=d_1/2$
Cu	550	0.390	
Br	650	0.390	
PBz	550	0.400	
PBz	275	0.390	
Ag	550	0.385	
Al (98%)	400	0.390	0.410
ND	355	0.417	0.434
SD	260	0.413	0.450

第3表 SD の 495°C 焼入後経過時間の影響

経過時間	30分	60分	90分	120分	360°C焼鈍
限界絞り率	0.450	0.455	0.455	0.465	0.450
エリクセン値	7.8mm	7.6	7.5	7.5	8.3

値が劣化して来る場合がある。そこでこの関係を示したのが第2表であつて、 $(d_1/D_0)_{lim}$ は $r_p=3t$ と、 r_p を大きくしてポンチの先端が球面の一部になつた $r_p=d_1/2$ の場合が示してある。Cu, Br, P Bz, Ag は何れも 0.39~0.40 で、Al も同程度で、これら間にはたいした差はないといえる。ND, SD の焼鈍板は $r_p=6t$ の場合は 0.41~0.42 で多少劣るかの程度であるが、 $r_p=\frac{d_1}{2}$ 、即ちポンチの先が球面となりとがつてくると 0.44~0.45 のようにはつきり劣化する事がわかる。そこで軽合金板はポンチの形が適切ならば他の材料と大差ないが、形が悪いと相當劣り、形の影響に敏感であるから注意を要する次第である。この原因も伸び率の小さいという事に關

連すると考へられる。又 SD 系はよく焼入直後、まだ時硬が進まないうちに加工される場合がある。それに相當した結果が第3表であつて、495°C±5° に保つた懸浴中で40分間加熱し、水中に焼入れし、その後30分、60分、90分、120分経過した後に限界絞り率、エリクセン値を求め、焼鈍状態と比較してある。限界絞り率は90分位までは殆んど變化なく、エリクセン値は焼鈍状態より悪いが、90分位までは劣化の程度が小さい。従つて焼入後90分以内に加工するのが、適當であるという現場の経験とはほぼ一致する。更に前述の引張りの場合の幅方向と厚み方向との間に變形能が違ふという性質が、壓延方向に對して色々な方向でその程度を異にするように板ができていると、深絞りて出来た容器の縁に耳といわれる凹凸ができて困るのは、他の材料と同じであるが、この現象が起らないような板をつくる壓延條件については現在不明な點が多いが、かならずしも銅系統の物と同じようにはゆかない。

4 む す び

以上述べたように軽合金板は、軽く取扱ひが樂である、熱處理が割合簡易である、變形抵抗、及び硬度が比較的小さいため加工機械に困難な問題が少く、型の材質及び加工に困難が少い、等の特長がある。

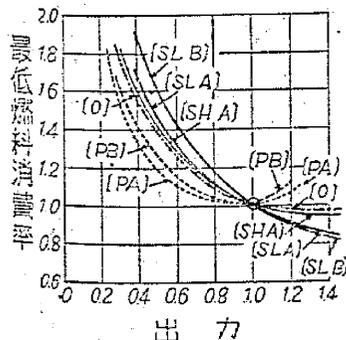
被加工性の點からみると、引張りに對し破断までの總伸び變形能が、特に SD, ND では小さい點に注意が肝要で、曲げ加工では最小曲げ半徑を(2~3)t 程度に又深絞り加工ではポンチ先端の形がとがりすぎないようにすれば、室温で他の材料と大體同程度の加工に耐えるものである。(東大理工學研究所々員・1950・2・3)

速報 24

ガス・タービン
の部分負荷特性

水町 長 生

抽油用或は陸上交通用の動力としてガス・タービンを使用する時は、部分負荷における特性を知ることが必要である。そこで各種の實現可能なサイクルについて部分負荷における燃料消費率、流量、トルク、回転數及びガス温度等を計算し比較してみた。出力を變えるには燃焼器内の燃料噴射



最低燃費曲線

の割合を變えて行つた圖は結果の一部で、各出力において燃料消費率が最小になるように回転數を調整した時の出力-燃費曲線である。[O] 型は最も簡単な基本型で同一軸上に壓縮機一個、タービン一個、及び負荷がある場合で、[P] 型はタービンを壓縮機タービンと出力タービンの二つに分割し、同一壓縮機に對し兩タービンが並列に入っている場合、[S] 型は二つのタービンが直列に入っている場合であつて、後者の場合高壓タービンが出力タービンの場合を [SH]、低壓タービンが出力タービンの場合を [SL] とする。

一般に最低燃費曲線は輕負荷の所では並列の場合が小さく、過負荷では直列の場合が小さい。又負荷のトルクが回転數の(1.5~2)乗に比例するような時は並列にすれば大體最低燃費曲線に沿つて運轉することができる。回転數一定で負荷を變える時は、直列にして高壓タービンを出力タービンにした方がよい。

(1950・1・10)

× × × ×