- (Düsseldorf)
- 6) I. Masumoto, K. Imai & K. Matsuda ;
Memoirs of the Faculty of Engineering,
Nagoya University, 19 (1967) 2, 270
 - 7) 関口, 益本, 今井, 溶接学会誌, 35 (1966) 10,
1025
 - 8) I. Masumoto, K. Tamaki & M. Kutsuna ;
Zentral Institut für Schweiztechnik (ZIS)
Mitteilungen (東ドイツ), 印刷中
 - 9) D. Rozet, H. C. Campbell & R. D. Thomas;
Welding J., 27 (1948) 27, 484-S
 - 10) Kihlghen & Lacy, Welding J. 25 (1946) 11,
769
 - 11) K. Loreng, H. Fabritius u. E. Kranz ;
Schweissen und Schneiden, 20 (1968) 9,
459
 - 12) R. G. Baker & R. N. Younger ; Brit. Wel-
ding J. 8 (1961) 8, 579
 - 13) 小林, 桑名, 菊地 ; 溶接学会誌, 33 (1964) 9,
149
 - 14) Р. А. Козлов ; Сварочное производство (1968)
10, 8
 - 15) R. Killing ; Der Praktiker (Schweissen
und Schneiden), (1968) 9, 214
 - 16) Das Schweissen von 9 % Nickelstahl (1962)
Nickel-Informationbüro (Düsseldorf)
 - 17) П. Ц. Заруба, А. Г. Потальевский ; Автомат.
ическая Сварка, (1958) 6, 32

UDC 669. 14. 018. 8 : 621. 97

ステンレス鋼板のプレス成形

戸 沢 康 寿*

Press Forming of Stainless Steel Sheet

Yasuhisa Tozawa

1. ま え が き

薄板材料のプレス成形は、製品の軽量化や生産性向上のために極めて有効な加工法であり、生産加工技術の中で占める割合は誠に大きい。このプレス成形の進歩発展は被加工材料と加工技術、さらに加工機械・工具の改良開発によって達せられる。そしてこれらは個別に処理される性質のものではなく、他との関連において対処されるべきものである。たとえば、加工の難易、製品の精度や性質は被加工材の性質によって影響されるが、いま大きな加工度を与えることについて考えれば、材料は一般に延性に富んだものであることが要求される。しかし比較的に硬い材料でも静水圧的応力が増えられた状態で加工すればこのことは可能となる。もっともその場合には加工力が増大するのが普通

であり、大きな加工力に対しては加工機械や工具の強度が問題となることはいうまでもない。機械や工具は強度のみならず剛性も重要な影響因子で、特に製品の精度はこれによっても支配される。このようにプレス成形では材料と加工方法とを総合して考察する必要がある。材料特性をいかした加工方法の選択、あるいは加工技術上の要求を満足する材料の使用をはからなければならない。

いっぽうプレス成形における問題点は、細かく分ければたくさん考えられるが、加工限度と製品精度の二つに集約できよう。加工限度は工具などの変形や破壊によってきめられる場合もあるが、材料の強度不足あるいは変形能の不足による破壊、および材料の不安定変形すなわち各種の座屈やくびれ変形の発生によって規制される。製品の精度は工具の精度に左右されるこ

昭和44年3月12日受付

* 名古屋大学工学部 教授

とはいってもないが、成形終了時の形状、さらに離型時に生ずる弾性的戻りによって影響され工具形状とは異なった形状の製品が得られる。この弾性的戻りは板厚内で一様な変形が与えられた場合には量的にさほど大きくないが、板厚内で差のある場合すなわち曲げ変形ではその戻り（スプリングバック）による形状変化が著しく、これを主対象として対策が講ぜられている。

ここではステンレス鋼板のプレス成形における諸問題を理解するために必要な基礎的事項について述べることにする。

2. プレス成形の分類

薄板のプレス成形は、第1図中の微小要素に対し説明図的に示してある基本的な4つの変形、すなわち曲げ変形、半径絞り（縮みフランジ）変形、張り出し変形および伸びフランジ変形の組み合わせと考えることができる。これらの変形がそれぞれ成形の主要部となるものは基礎的成形で、第1図に示したのはその一例である。これからわかるように基礎的成形といえどもいくつかの基礎的変形が同時に生じており、たとえ

(a) 曲げ変形と曲げ成形 (b) 半径絞り変形と絞り成形 (c) 張り出し変形と張り出し成形 (d) 伸びフランジ変形と伸びフランジ成形

第1図 基本的な変形と成形

ば曲げ変形はすべての成形に必ず伴われている。

第2図¹⁾は軸対称形状（第2図右上）と非軸対称形状（左上と右下）の成形の場合にどの成形領域に属するかを示したものである。 δ 領域および γ 領域ではそれぞれの成形が完成する。 α 領域ではポンチ先端のかどで破断が生じ、 β 領域では穴縁から割れが発生する。しかしこの両領域とも成形行程の少ない所で成形を止めれば割れは生ぜず製品となり、したがってこの

第2図 成形領域の区分(吉田)

両領域ではこれらの割れによって成形限がきめられる。

3. ステンレス鋼の力学的性質

力学的性質は普通引張試験によって求めている。試験片に加えた荷重と標点長さの変化とから次式

$$\sigma_n = P/A_0, \quad e = (l - l_0)/l_0$$

ここで P : 荷重, A_0 : 試験片の元の断面積, l_0 , l : 元および負荷時の標点長さ

で計算される慣用の応力および歪では大きな変形を対象とする成形加工の場合には適当でないで、変形中の各瞬間を基準にとった応力（実応力）および歪（対数歪）を一般に用いる。これらは次式で表わされ、また慣用の応力と歪との関係も次のようになる。

$$\sigma = P/A = \sigma_n(1 + e), \quad \varepsilon = \ln(l/l_0) = \ln(1 + e)$$

ここで A : 負荷時の試験片断面積

第3図にこれらの応力・歪曲線の関係ならびに特定な応力, 歪について記号を示した。塑性域における $\sigma \sim$

第3図 応力・歪曲線

ε 曲線は、かなり大幅に挙動の違いのものに対しても近似的に次式で表わされる。

$$\sigma = F\varepsilon^n$$

$n=0$ のときは曲線は水平となり、 n の大きいほど加工硬化が著しいことを示すので n を加工硬化指数（あるいはそのまま n 値）とよぶ。もし $\sigma \sim \varepsilon$ 曲線が完全に上式で表わされるならば

$$n = \varepsilon_u, \quad F = \sigma_B \left(\frac{2.718}{\varepsilon_u} \right)^{\varepsilon_u}$$

となる。弾性変形が無視できない場合には弾性域 ($\sigma \leq \sigma_e$) に対し

$$\sigma = E\varepsilon$$

が適用される。ただしこの場合係数間には次の関係がある。

$$\frac{F}{E} = \left(\frac{\sigma_e}{E} \right)^{1-n}$$

実際に得られる $\sigma \sim \varepsilon$ の関係は、必ずしも一本の指数曲線と一致するとは限らない。従って近似の仕方によって n 値 (F の値も同時に) は異なる。たとえば第4図は歪の範囲を二分してそれぞれの範囲で一致するように定めたものであり、もし全範囲を一つの式で近似するならば n , F はこれらの値とはまた異なった値となる。それ故厳密には歪範囲あるいは決定方法を明確にして n 値を示す必要がある。

第4図 SUS27の応力・歪関係

引張試験片に引張方向の伸び歪 ε_l が与えられると、板幅方向および板厚方向にそれぞれ歪 ε_w , ε_t (いずれも < 0) が生ずる。そのときつぎの比

$$r = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t}$$

を r 値（塑性歪比）と呼ぶ²⁾。板厚方向に比べ板幅方向がどの程度変形しやすいかの異方性を示す量で、等方性材料の場合には $r = 1$ となる。異方性は板の面内の方向についても一般に存在する。従って引張試験片の元板からの採取方向によって r 値は変化する。それ故一般には圧延方向に対し 0° , 45° , 90° の方向から試験片を採取し、それぞれの r 値, r_0 , r_{45} , r_{90} を求め、それらの平均値をとっている。すなわち

$$\bar{r} = \frac{1}{4} (r_0 + 2r_{45} + r_{90})$$

また r 値の異方性を示すものとして

$$\Delta r = \frac{1}{2} (r_0 + r_{90}) - r_{45}$$

を用いている。 r 値は一般の場合には歪によってそれほど大きな変化はないが、やはり歪を指定する必要がある。普通 $\varepsilon_t = 0.15$ または 0.20 のときの値がとられている。

r 値で示される歪の異方性は、当然結晶方位に依存

する。立方晶系での三つの主要方位 $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ が板面に垂直で面内では回転対称的に配列している集合組織 (100) (cube-on-face), (110) (cube-on-edge), (111) (cube-on-corner) のそれぞれにつき、粒界の拘束を無視し Schmidt 法則により相対強度を計算した結果は第5図⁹⁾のようになる。この図から板面に $\langle 111 \rangle$ があるときは強度の低い $d\epsilon_t = 0$ の変形が優先して起こり、(100)面のときは $d\epsilon_w = 0$

第5図 板面に垂直な方向に関し回転対称の集合組織をもった板の r 値と相対強度 (Hosford)

に近い変形が起こることがわかる。等方性の場合はもちろん $d\epsilon_t = d\epsilon_w$ のとき強度が最も低い。これらの変形状態は r 値で表わされ、(111)面が板面にあれば r 値は大きく、(100)面のとき r 値が小さい。

この図からさらに次のことがわかる。 $d\epsilon_t = 0$ で変形させる場合、(111)集合組織を持った板(この板の r 値は大きい)は(100)の板(r 値が小さい)より変形強度は低く容易に変形する。また $d\epsilon_w = 0$ で変形させる場合は(100)の板に比べ(111)の板は極めて強度が大きい。(110)集合組織の場合は両者の中間である。

強度あるいは変形抵抗の r 値による影響は巨視的な塑性理論によっても導かれる。上記の場合と同様板厚方向に対してのみ異方性をもち r 値の異方性がないとしたとき、Hillの異方性塑性理論⁴⁾によれば平面応力($\sigma_z = 0$)の場合の降伏条件式は

$$\sigma_x^2 - \left(\frac{2r}{1+r} \right) \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 = \sigma_0^2$$

となる。この式によって表わされる曲線(降伏曲線)の r 値による変化を図示したのが第6図である。 x 方向を引張方向に選ぶと、 $d\epsilon_t = 0$ および $d\epsilon_w = 0$ はそれぞれ第4および第1象限に示されている $\alpha (= \sigma_y / \sigma_x) = -1$ と $\alpha = r / (1+r)$ の線上の応力で達成される。 $\alpha = -1$ のときは r 値の大きいほど応力は低く、 $\alpha = r / (1+r)$ のときは r 値の大きいとき応力が著しく高くなることが、曲線(楕円)との交点の位置によって示されている。

r 値と集合組織の関係をX線回折により測定した結

第6図 平面応力での降伏曲線の r 値による変化

第7図 アルキルド鋼の r 値と集合組織 (Whiteley ら)

果が Whiteley⁵⁾ により第7図のように示されている。(111)の増加と(100)の減少につれて r 値は増大し、(100)が増加し始めると r 値は減少している。従って板面に(111)が多数存在し、(100)が少ない板は大きな r 値をもち、その逆の場合は r 値が小さい。このように鋭い集合組織をもった板は、一般には Δr の絶対値も大きくなる。第8図に冷間圧下率による Δr の変化が示されているが、第7図と比較すると、 $\bar{r}$ 値

第8図 リムド鋼の Δr と深絞り耳 (Whiteley ら)

と同じように変化しており $\Delta r \approx 0$ のとき $\bar{r} \approx 1$ になっている。第9図⁶⁾にはSUS24について $\bar{r}$ 値と Δr の関係が示してあるが、大部分は $\bar{r}$ 値が大きくなると Δr も大きくなるような直線的関係にある。しかし添加元素および冷間加工度を適当に選ぶことによってこのような関係から離脱せしめる可能性のあることが見出される。なお縦弾性係数 E も結晶方位によって異なり、ほとんどの立方晶金属では $\langle 111 \rangle$ が最大で、

第9図 SUS24の r 値と Δr の関係 (藤倉)

$\langle 100 \rangle$ が最小となる。そのため板面における(111)の存在と(100)の欠乏が E を大きくする効果を与える。

以上のほか引張試験によって得られる材料特性値で成形加工と関係あるものを次に挙げる。

第10図 力学的性質と速度効果 (SUS39□■, SUS27○●, SUS24△▲) (佐藤ら)

降伏比：降伏応力（耐力）を引張強さで割った値で、 n 値と似た性格をもちこの値が小さいものは加工硬化が大きい。

u 値：一様伸び限界 ϵ_u での幅歪 $\ln \frac{w_u}{w_0}$ で、 r 値を使って表わせば $nr/(1+r)$ となる。

ϕ 値：破断後の最小板幅部での慣用幅歪 $\frac{w_0 - w_f}{w_0}$ であり、近似的に $\epsilon_f \cdot r/(1+r)$ と等しい。 ϵ_f は破断部の局所的な伸び歪である。

W 値：一定の伸び歪 $\epsilon_a (=0.20 \sim 0.25)$ における幅歪 $\ln \frac{w_a}{w_0}$ で、 $\epsilon_a \cdot r/(1+r)$ に等しい。

数種のステンレス鋼について耐力、引張強さ、全伸び、 n 値、および r 値と、それらの速度効果を第10図⁹⁾に示す。

4. ステンレス鋼のプレス成形

4.1 曲げ加工⁹⁾

板に曲げモーメントのみを加えて曲げたときの板の断面内の応力分布は概略第11図のようになる。外力を

第11図 板厚内の応力分布（破線は残留応力）

除去するとスプリングバックが起こり、応力は弾性的に減少して図の破線のような分布の残留応力が生ずる。残留応力によるモーメントは当然零である。したがって所定の形状（中立面の曲率半径 ρ ）に曲げたときの応力分布（これはその材料の応力・歪関係から定まる）と外力を除去したとき弾性的に減少する応力とによってスプリングバックの大きさは求めることができる。応力・歪の関係を弾性、塑性両範囲に分け、それぞれ

$$\sigma = E\epsilon, \quad \sigma = F\epsilon^n$$

で表わした場合、スプリングバックによる曲げ角の変化割合（これは曲率の変化割合と等しい）は次式によって与えられる⁹⁾。

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{3}{2+n} \lambda_e^{1-n} - \frac{1-n}{2+n} \lambda_e^3$$

第12図 均等曲げのスプリングバック

$$\text{ただし } \lambda_e = \frac{2\rho}{t} \cdot \frac{\sigma_e}{E}$$

この関係を立体図で表わしたのが第12図である。 $\lambda_e \geq 1$ は弾性曲げであるから $\Delta\theta/\theta = 1$ であり完全に元の形状に戻り、 λ_e が1より小さくなるにしたがい $\Delta\theta/\theta$ も小さくなる。 λ_e は $2\rho/t$ に比例するから、薄い板を大きな半径に曲げる場合にスプリングバックが大きいという結果が導かれる。材料の性質としては σ_e/E も n も小さいものほどスプリングバックは小さい。縦弾性係数の等しい場合には σ_e （降伏点あるいは耐力に対応する応力と考えることができる）の低い材料ほどスプリングバックは小さい。また σ_e/E が同じならば n が小さいことは引張強さが小さいことになる。従って降伏点、引張強さとも低い場合、スプリングバックは小さい。第13図¹⁰⁾の測定結果にこれらのことが示されている。

第13図 スプリングバックの測定値
（・ゴムプレス、○プレスブレーキ）(Sachs)

厚さに比べて幅の広い板を曲げる場合には幅方向の変形が拘束された平面歪状態になる。この場合の応力状態は、第6図の平面応力での降伏曲線に当てはめると第1および第3象限にあるから、 r 値の大きい板ほど曲げ加工に必要な力は増し、また E が多少大きくなるけれども一般にはスプリングバックも増すので、 r 値の大きいことは好ましくない。

冷間圧延材では板面内でも異方性があり、引張試験でそれが認められなかったとしても曲げにおいてはかなりの異方性を生ずる。これは圧縮において方向性があり、また引張と比較して著しく異なるためである¹¹⁾(第14図参照)。

第14図 曲げ変形での異方性と引張・圧縮での異方性

第15図 V曲げにおける板の変形過程

第16図 V曲げにおける板各部のスプリングバック

プレス型を用いた曲げ加工ではさらに複雑ないくつかの現象が現われる。たとえば最も基本的なV曲げの場合を考えると、板は第15図のような変形過程をたどり最終的にはポンチ形状とほぼ一致した形になる。その状態からポンチを上昇させて除荷すると板の各部はそれぞれの変形履歴に応じてスプリングバックをする。第16図のAB部分はみかけ上変形が進む様な向きのスプリングバックが起こるため全体としても $\Delta\theta$ が負になることがある。 $\Delta\theta$ はポンチ荷重によっても変化する。これは前記の変形過程とポンチ行程端での加圧の効果¹²⁾に基づくものである。第17図にこれらのことが示されている。

第17図 V曲げの曲げ荷重によるスプリングバック角度の変化

製品が希望の形状となるようにするにはスプリングバックを見込んであらかじめ余計に変形を与えればよい。ただ多量生産部品については製品間の変動を少なくすることが要求される。この変動の原因となる因子はまず第一に板の寸法、性質のバラツキであり、第二に加工条件の変動が考えられる。しかし後者は前者によっても生ずるので、素材の均一性が強く要求され

る。この考え方とは別に板厚内の応力分布を均一化してスプリングバックを抑制し精度を上げる方法がある。具体的には板厚方向に圧縮¹³⁾、または板面に沿った方向に引張¹⁴⁾あるいは圧縮¹⁵⁾を加えることによって得られる。これらの効果は力を加える時期、方向、それに板材料のバウシング効果によっても差はあるが、ある程度の大きさの力を加えるとスプリングバックは小さい値に収束する。(第18図¹⁴⁾はその関係の一例である。)この収束した値は板の性質や曲げ半径と板厚

第18図 引張曲げのスプリングバック

との比に対して鈍感であり、多量生産の場合はきわめて効果的である。この考え方は深絞りその他の成形品の精度を上げるための方法として利用されている。

曲げ加工における加工限度は割れを生ずることなしに曲げることのできる最小の曲げの内半径 R_{min} で表わされる。割れの発生する場所は板厚に比べ板幅のせまいときは両側面の外側のかどから、板幅の広いときは縁から離れた外表面においてである。これは前者がくura形そりによる歪の大小から、後者が幅方向の歪拘束による応力状態の違いから説明できる¹⁶⁾。曲げ割れはどのような条件になったとき生ずるか、したがって板材料のどのような性質と結びつきがあるのか、いろいろな考え方がなされているが、引張試験での一様伸

第19図 最小曲げ半径と n 値の関係

びの歪より大きく、破断歪より小さい歪で割れが生ずるという事実は、外力(曲げモーメント)の不安定条件を適用することによって矛盾なしに説明できる¹⁷⁾。第19図はそれにしたがって R_{min} を計算した結果で、 n 値が支配的であることがわかる。図中の Γ は、割れ発生時に生ずる割れ近傍のせん断変形の大きさの程度を表わす量で、材料のせん断抵抗の大小、板厚寸法の大小によって変化する。従って材料のせん断特性も曲げ割れの影響因子と考えられる。なお実際の加工に際しては曲げ角度や加工方法によって同じ内半径の場合にも外表面の歪は変化し、したがって R_{min} も影響をうける。

4.2 絞り加工

円筒絞りの加工途中での各部の応力状態は第20図に示すとおりである。ポンチ力 P は主としてフランジ部

第20図 円筒絞り各部の応力状態

(半径絞り変形部) AB の変形に費やされ、ほとんど変形の終了した部分 $C \sim F$ によって支えられる。製品直径 d に対しblank直径 D が大きくなると、フランジ部の変形に要する力が増加し、ポンチ力が荷重負担部の強度以上になると破断が起こる。この破断が起こらない限界の (D/d) を限界絞り比 ($L.D.R$) と呼ぶ。blank材料の n 値が大きくなるとポンチ力、破断強度ともに低下するが、最大ポンチ力の低下の方が著しく、したがってより大きなblankまで絞り可能となる。これは n 値によって $L.D.R$ が支配されることを意味し、第21図¹⁸⁾の結果が得られている。 r 値が $L.D.R$ に影響を与えることは実験的に第22図¹⁹⁾のようには示されたが、これはフランジ部と荷重負担部の応力状態がそれぞれ第6図の第4、および第1象限に相当することから、 r 値の増大は破断強度の上昇と最大ポンチ力の低下をもたらすこととなり、理論的にも理解できる。第23図²⁰⁾は n 値と r 値の $L.D.R$ に対する

第21図 限界絞り比におよぼす加工硬化指数の影響 (福井ら)

第22図 r 値と限界絞り比の関係 (Atkinson)

第23図 種々の n 値に対する r 値と限界絞り比の関係 (Chiang ら)

関係を計算した結果であるが、 r 値の方が $L.D.R.$ に効果的な影響を与え、直線的関係にあることが見出される。第24図⁶⁾は SUS24 も軟銅ほどではないが r 値と $L.D.R.$ に相関のあることを示している。 $\Delta r \neq 0$ は板面異方性があることを意味するが、その場合 r 値の

第24図 SUS24 の r 値と $L.D.R.$ の関係 (藤倉)

性質からわかるように r 値の大きな方向に円筒絞り容器は耳を生ずる。耳の発生は好ましくないので $\Delta r = 0$ が望まれる。耳の生ずる方向と r 値の方向性との関係は、大部分上述の通りであるが、第25図⁶⁾に示されているように r 値の小さい方向に耳の生ずることもあ

第25図 r 値の方向性と耳の位置 (藤倉)

る。 $L.D.R.$ を上昇させる作業条件としては、摩擦抵抗のフランジ部での軽減とポンチ接触部での増加、ダイス肩半径の増大、あるいはフランジ部のみの熱処理あるいは加熱による変形抵抗の減少などがある。

第26図 平底ポンチによる純粋張り出し (佐藤ら)

4.3 張り出し加工

純粋の張り出し加工は第26図⁷⁾中に示してあるように変形領域の周囲を拘束して張り出し変形のみ(曲げ変形は伴われる)を与えるもので、加工限度は変形領域に生ずる割れで定められ、限界張り出し深さによって表わされる。割れの発生には不安定条件を適用できるが、液圧張り出しのように、工具との摩擦抵抗の存在しない場合にも変形領域の歪は一様ではないので、ある範囲を対象に不安定条件を適用する必要がある。張り出し深さは変形領域内に歪の小さい部分がないよう平均化された方が大きくなり、それは n 値の大きい場合に得られる。不安定歪も n 値の大きい程大きいので、限界張り出し深さは n 値によって強く支配される。

実際の加工においては純粋張り出しとなることはほとんどなく周囲から材料が多少とも流入する。ブランクがかなり大きい場合、この流入は周囲の部分の張り出し変形による半径方向の伸びによって生ずるので、やはり n 値に支配され、限界張り出し深さは大きくなる。エリクセン試験はこの状態に相当し、したがってエリクセン値も第27図⁸⁾に示すとおり n 値と正相関をもつ。

第27図 エリクセン値と n 値の関係(藤倉)

ブランクが小さくなるとフランジ部分の絞り込みによる流入も生ずるので、限界張り出し深さはさらに増加する。そしてブランクがある大きさにまで減少すると、フランジ部分が全部絞り込まれて破断は生ぜず、絞り成形が完了する。第28図はこれらの関係を示したものである。第20図にも示したとおりポンチ底に接するDEF部は張り出し変形を受けており、ポンチが球底の場合は尚更である。従ってコニカルカップ試験は深絞りと張り出しの複合成形性試験であり、その試験

第28図 絞り成形と張り出し成形

値は n 値と r 値の両者に影響され、たとえば($n \times r$)との相関が得られる。第29図⁹⁾はその一例である。第30図¹⁰⁾にSUS24についてのエリクセン値とコニカルカップ試験値とを示す。

第29図 コニカルカップ試験値(藤倉)

第30図 SUS24のエリクセン値とコニカルカップ試験値に及ぼす冷間圧下率の影響(藤倉)

4. 4 伸びフランジ加工

軸対称の伸びフランジ加工は第31図のように下穴 d_1 のある板をポンチでダイス穴に押込むもので、 d_1 が0 または小さいときは張り出し加工となる。伸びフ

第31図 穴 拡 げ 加 工

ランジ加工は穴縁に生ずる割れ（場合によっては縁から少し離れた所から割れが入り始めることもある）によって加工限度がきめられ、割れが生ずるまでの穴径拡大率で表わしている。割れの発生に対しては不安定条件を適用することができよう。ただし歪が穴縁で最大、外方に行くにしたがい減少するような勾配を持っているので、穴縁だけでなく縁から離れた所まで含めた領域に対し不安定条件を適用しなければならない。不安定歪は n 値で表わされるので限界の穴径拡大率も n 値と関係をもつ。第32図⁷⁾はその一例である。 r 値

第32図 平底ポンチによる穴径拡大率（吉田）

が大であれば円周方向の引張りによって半径方向に余計縮み、したがって穴径は大きくなる。ただし同じ穴径に拡大したとき、あるいは割れなしに成形したときの高さ h または H は r 値が大きいほど小さい。限界拡大率はポンチ形状によって著しく影響を受ける²¹⁾。円錐ポンチを用いたときは円錐角 θ ならびに下穴径 d_1 が小さいほど拡大率は大きく、それらの変化割合は n 値の小さいものの方が著しい。これは上述の歪勾配の

第33図 円錐ポンチによる割れ発生時の歪

第34図 円錐ポンチによる穴径拡大率（佐藤ら）

ためであり、第33図のように歪勾配の大きいほど割れ発生時の穴縁における平均歪 $\epsilon_{\theta i}$ は大きく、引張試験での幅縁における破断歪 $(-2\epsilon_i)$ に近づく。従ってこの破断歪とせん断特性も限界拡大率に影響を与える。第34図⁷⁾は頂角 30° のポンチによる結果である。

5. お わ り に

薄板のプレス成形に関しては、基礎的研究の進展と薄板材料の改良ならびに加工技術の向上とが相まって近年著しい進歩を遂げた。しかしながらなお未解決の問題が多く残されている。特にステンレス鋼では潤滑の問題は、成形技術の点から、商品価値の点から、あるいは工具寿命の点から、それぞれ異なった要求がなされ、むずかしい問題の一つである。また SUS24 のロービングなども表面状態に大きな影響を与える材料側の問題である。ここではそれらについて触れず、プレス成形時における材料の挙動と材料の基本的性質との関係を中心に述べたに過ぎないが、本文がプレス成形を理解されるのに何らかのご参考になれば筆者望外の喜びである。

文 献

- 1) K. Yoshida ; Sci. Pap. I.P.C.R., **53** (1959) 1514, 125
- 2) W. T. Lankford, S. C. Snyder & J. A. Bauscher ; Trans. ASM. **42** (1950) 1197
- 3) W. F. Hosford & W. A. Backofen ; Fundamentals of Deformation Processing (1964), 259, Syracuse Univ. Press.
- 4) R. Hill ; The Mathematical Theory of Plasticity (1956), 317, Oxford Univ. Press.
- 5) R. L. Whiteley & D. E. Wise ; Flat Roll Products III (1962) 47, Interscience Pub.
- 6) 藤倉正国・小畑英一 ; 鉄と鋼, **53** (1967) 10, 297
- 7) 佐藤隆策・阿部邦雄 ; 鉄と鋼, **54** (1968) 10, 153
- 8) 戸沢康寿 ; ステンレス, **7** (1963) 3, 22
- 9) 同上 ; 日本機械学会誌, **68** (1965) 559, 1090
- 10) G. Sachs & U. N. Krivobok ; Die Design Handbook (1965), 6—17, McGrawHill
- 11) 戸沢康寿・石川秀雄 ; 第19回塑性加工連合講演会講演論文集 (1968) 125
- 12) Y. Tozawa ; Proc. 7th Japan Nat. Cong. Appl. Mech. 1957 (1958) 49
- 13) 戸沢康寿 ; 千葉大学工学部研究報告, **14** (1963) 26, 1
- 14) 馬場秋次郎・戸沢康寿 ; 日本機械学会誌, **67** (1964) 542, 413
- 15) 益田森治・戸沢康寿 ; 精密機械, **27** (1961) 7, 473
- 16) 同上 ; 日本機械学会論文集, **27** (1961) 178, 771
- 17) 同上 ; 同上, 783
- 18) 福井伸二・他3名 ; 東大理工研報告, **6** (1952) 6, 119
- 19) M. Atkinson ; Sheet Metal Ind., **44** (1967) 479, 167
- 20) D. C. Chiang & S. Kobayashi ; J. Engng. Ind., **88** (1966) 4, 443
- 21) 益田森治・戸沢康寿 ; 日本機械学会論文集, **27** (1961) 178, 776

UDC 669.14.018.8 : 669.15-194
621.4.011

ステンレス鋼の被削性

伊 藤 哲 朗*

Machinability of Stainless Steels

Tetsurô Itô

ま え が き

周知のようにステンレス鋼, 特にオーステナイト系ステンレス鋼の被削性はわるく, その対策として欧米ではふるくから快削鋼が実用されている。ここ数年,

国内でも快削ステンレス鋼の需要が増し, おもに米国の規格に準じた, いろいろな快削ステンレス鋼が開発されている。しかしながら耐食性がベースのステンレス鋼にくらべて劣るなどの理由から欧米ほど使用されていない。以下ステンレス鋼の被削性の問題点と, そ

昭和44年2月25日受付

* 大同製鋼(株)中央研究所