

材料の破断特性と成形性

山 田 嘉 昭

板材の成形性とはかなり複雑なものであるが、多軸応力下における材料の加工硬化特性と、ある変形過程を経て最後に到達した応力状態の下における破断特性とが明らかにされるならば、成形性の本質、ひいては各種の成形性試験方法の意義もはっきりしてくるものと思われる。

著者は、いままで主として理論的に加工硬化特性と成形性の関係を調べてきたが、⁽¹⁾最近 楕円孔ダイスによる液圧バルジ試験⁽²⁾を行い、その結果にもとづいて、破断特性と成形性の関連について考察を試みたので、その概要を報告する。

第 1 表 楕円孔液圧バルジ試験における応力比と歪比

	長軸 a	短軸 b	軸比 b/a	歪比 ϵ_a/ϵ_b	応力比 σ_a/σ_b	破断応力 σ_{bmax}
円 孔	100mm	100mm	1	≈ 1	≈ 1	54 kg/mm ²
楕円孔 A	100	66.7	$\frac{2}{3}$	0.57	0.82	>48
楕円孔 B	100	50	$\frac{1}{2}$	0.42	0.75	52

使用した楕円孔ダイスの寸法は第 1 表に示すとおりであって、長軸と短軸の比は 1 : $\frac{2}{3}$ と 1 : $\frac{1}{2}$ の 2 種である。なお、同時に円孔によるバルジ試験も実施した。あらかじめ試験片に焼付けた同心円と半径からなる格子点の座標を変形の各段階について測定し、膨れの頂部における歪比と応力比を適当な算式によって計算した結果を同じ表に示す(材料は厚さ 1 mm のアームコ鋼板)。この結果から、楕円孔を用いた場合にも、頂部における歪比は近似的にそれぞれ固有の一定値を保つこと、破断時の最大主応力は孔の寸法比(したがって歪比)に無関係にほぼ一定値(約 50 kg/mm²)であることがわかる。

もし、今後の実験によっても、上述の結果の一つ、すなわち“破断時の最大主応力は歪比に無関係にほぼ一定”という事実が確認されるものとする、深絞り性に関して次のような解析が可能である。さて、深絞りにおける破断の多くはすでに絞られた円筒壁がポンチ先端の丸味部に接する点の近くに生じ、この部分は、変形の全期間を通じて、ほぼ平面歪状態にあると考えてよいであろう。すると、深絞りにおける破断荷重 P_{cr}^* および同一断面積の板を単軸引張試験したときの破断荷重 P_{cr} はそれぞれ

$$P_{cr}^* = A_0 e^{-\epsilon_{cr}^*} \sigma_{cr}^*, \quad P_{cr} = A_0 e^{-\epsilon_{cr}} \sigma_{cr} \quad (1)$$

で与えられる。ただし $A_0 = \pi d t_0$ (d = ポンチ径, t_0 = 板の原厚); σ_{cr}^* , ϵ_{cr}^* = 深絞りにおける破断時の中心軸方向の真応力と対数歪; σ_{cr} , ϵ_{cr} = 単軸引張における破断時の真応力と対数歪。ここで、材料の破断特性は歪比に無関係で $\sigma_{cr}^* = \sigma_{cr}$ が成立し、加工硬化は塑性仕事のみの函数と仮定する。すると、弾性変形を無視した近似度において

$$\epsilon_{cr}^* = \frac{\sqrt{3}}{2} F \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_{cr} \right), \quad P_{cr}^* = P_{cr} e^{\epsilon_{cr} - \epsilon_{cr}^*} \quad (2)$$

が成立する。⁽³⁾ただし F は単軸引張における応力-歪特

性(加工硬化特性) $\epsilon = F(\sigma)$ をあらわす函数である。

さて、上述の加工硬化特性をあらわす函数形として、いわゆる n 乗法則

$$\sigma = k \epsilon^n, \quad k \equiv \sigma_B (e/n)^n \quad (3)$$

を仮定することにする; ここに σ_B = 引張強さ, e = 自然対数の底, n = 材料に固有の常数。すると、このような材料に対し、(2)式は

$$\epsilon_{cr}^* = a \epsilon_{cr}, \quad P_{cr}^* = P_{cr} e^{(1-a)\epsilon_{cr}}, \quad a = (\sqrt{3}/2)^{(1+n)/n} \quad (4)$$

と書かれる。この式(あるいは一般的にいうと、(2)式)は、 P_{cr}^*/P_{cr} が単に加工硬化特性だけでなく、引張破断歪 ϵ_{cr} の函数となることを示している。

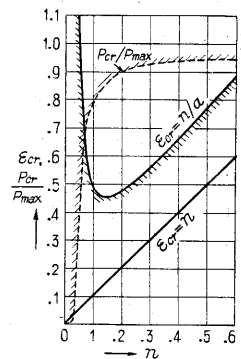
最後に、絞られた円筒壁の強度からきまるポンチ力の最大値 P_{max}^* とそのときの歪について考察する。円筒壁にかかる中心軸方向の応力と歪を σ^* , ϵ^* とすると、ポンチ力は $P^* = A_0 e^{-\epsilon^*} \sigma^*$ で与えられ、最大荷重時($dP^*/d\epsilon^* = 0$)において $d\sigma^*/d\epsilon^* = \sigma^*$ が成立する。ここでも材料の加工硬化特性として(3)式の n 乗法則を仮定すると、これらの関係を用い、最大荷重時において

$$\epsilon^* = n, \quad P_{max}^* = P_{max} (2/\sqrt{3})^{n+1} \quad (5)$$

の成立することを容易に証明できる。 P_{max} は単軸引張試験における最大荷重である。

(4) によれば深絞りにおける破断時の中心軸方向の歪は $a\epsilon_{cr} (< \epsilon_{cr})$ であり、(5)によれば最大荷重時のそれは n に等しい。故に、(3)式で与えられる加工硬化特性を持つ材料の単軸引張破断歪 ϵ_{cr} が小さくて $a\epsilon_{cr} < n$ すなわち $\epsilon_{cr} < n/a$ が成立するような場合には、深絞りにおいて

ほとんど局所的な伸びを伴うことなしに破断が起る可能性がある。このような場合には P_{max} または P_{max}^* でなく、 P_{cr} または P_{cr}^* を基準として深絞り性を論ずる必要がある。第 1 図は n と n/a 関係を示したもので、 n の各値に対して、 ϵ_{cr} が $\epsilon_{cr} = n/a$ をあらわす曲線の下にあれば、上述のような現象が起る。引張試験によって得られる諸量でいえば P_{cr}/P_{max} の値が第 1 図の点線より大きい材料において上述の現象が起ることを容易に証明できる。



第 1 図 平面歪状態において破断の状況をきめる限界線

(1955. 11. 15)

文 献

- (1) 山田嘉昭, 機械学会誌, **58** (1955), 287.
- (2) 山田嘉昭, 生産研究, **4** (1952), 1.
- (3) D. A. Barlow, *J. Mech. Phys. Solids*, **2** (1954), 259.