

東海大学工学部

富家知道
○森下忠衛

1 緒言

円筒深絞り製品を作る場合、限界絞り比が大まな意味を持つことは広く知られている。プラスチックの深絞りを行う場合、牧野内らがプラスチックの円筒深絞りの場合の限界絞り比は、「その材料の引張降伏真応力と圧縮降伏真応力との比と非常により相関関係がある」としている。しかし、深絞りに用いられる板材の厚さは1 mmあるものは2 mm以下のものが多いため、それから降伏真応力を求めるための試験片を取り出すには、数多く重ね合せなければ、端面摩擦の影響により求めることができない。そこで、簡単に限界絞り比を求める方法として、硬さ試験機を用いて、その押し込み深さによって、限界絞り比を求めることを行った。

2 実験

2-1 供試材料

市販のPVCを2種類(以下PVC(1)、PVC(2)とする)、ABS、PP、PC、PE、PA(ナイロン6)の呼称板厚1 mmの板材を用いた。

2-2 限界絞り比(LDR)

a) 実験装置および実験条件

使用した深絞り試験機はポンチ直径50 mm、ダイス穴直径52 mmのものを作成し、それを可変速付き2 ton万能材料試験機に取り付けて行った。ポンチ肩半径、ダイス肩半径は予備実験の結果6 mmとした。実験条件としては温度20°C~23°C、湿度60%±5%の室内で試験機のポンチ速度5 mm/minとし、無潤滑であった。

b) 各種材料のLDR

限界絞り比を決める場合に、ブランク直径を順次大きくした場合、ある直径以上になると絞れずに破断するが、材料によっては、それより小さいブランクは絞れ、それより大きいブランクは破断するという境界が必ずしも明らかでない。

そこで本実験では、同一直径のブランクを3個用い、それらがすべて絞れた直径をもって適正最大直径とみなした。

これらから限界絞り比を計算すると表1のようになる。

2-3 硬さ試験機の押し込み量

a) 実験条件および各種材料押し込み量

使用した試験機はスーパーフィナルロックウェル硬さ試験機を用い、スケール15-Yとした。またプラスチックにおける硬さ試験の場合、押し込み量は試験荷重負荷時間と除荷後の時間とに影響を受けることが考えられるので予備実験を行

表1

	適正 最大直径	限界 絞り比
PVC(1)	92 ^{mm}	1.84
PVC(2)	96	1.92
PP	92	1.84
PC	90	1.80
PA	90	1.80
ABS	90	1.80
PE	100	2.00

その結果、荷重負荷後 2 min の押し込み量を、除荷後 2 min の押し込み量をそれぞれ読み取り、それらを記録した。その結果を表 2 に示す。

2.4 引張試験

1) 実験条件および各種材料引張強さ

前述の万能材料試験機に荷重変換器を取り付け、電磁式記録計を用いて記録した。試験片の形状は図 1 に示したようなもので、深絞りに供した板材から切削加工した。なお試験機の引張速度は 5 mm/min とし、その結果を表 3 に示す。

3 実験結果による検討

3.1 押し込み量と機械的性質との関係

金属材料の場合では、一般に押し込み硬さ値と引張強さの間には、相関関係があり、その値は HRC 値の約 3.2 倍であるとされているが、プラスチックの場合には未だそのような値が提案されているものがない。そこで、今回の実験結果によれば、図 2 に示すようになり、硬さ値と引張強さの間に相関関係が認められる。また、荷重負荷時の押し込み量の場合、「押し込み硬さでは圧子と試料間の接触圧力に相当する平均圧力が、材料の圧縮降伏応力または圧子の形状により定まる一定の代表ひずみに対応する変形応力と一定の関係があることが知られている。」したがって荷重負荷時の押し込み量は圧縮強さと関係がある。

3.2 限界絞り比と機械的性質の検討

今、材料は完全塑性で絞り変形中板厚は変わらず、摩擦力を無視できると考え、図 3 に示したようにフランジ部の記号をさだめる。

表 2 $\times 10^{-3} \text{mm}$

	h_p	h_o
PVC(1)	41.1	4.3
PVC(2)	50.3	9.9
PP	118.0	43.4
PC	59.5	6.4
PA	91.0	28.5
ABS	60.5	20.4
PE	128.9	72.3

h_p : 負荷時押し込み量
 h_o : 除荷後 "

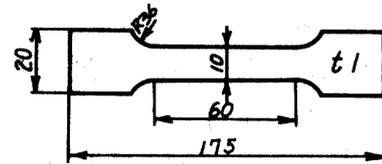


図 1

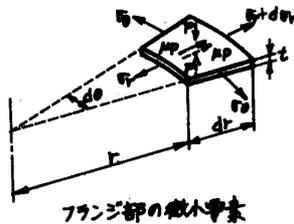
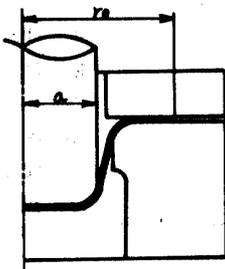


図 3

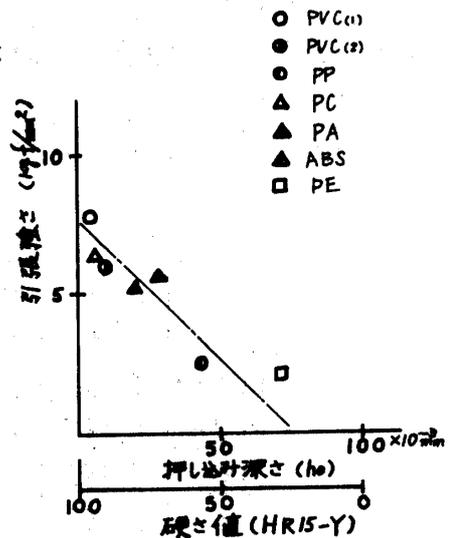


図 2

フランジ部の微小部分における半径方向の力の釣合方程式は、

$$(\sigma_r + d\sigma_r)t(r + dr) d\theta - \sigma_r t d\theta - 2\sigma_\theta t dr \sin(d\theta/2) = 0$$

この式を計算して高次の微小量を省略すると

$$d\sigma_r/dr + \sigma_r - \sigma_\theta/r = 0$$

となる。材料の降伏条件が最大せん断応力説にしたがえば、上式は、

$$\sigma_r = -\sigma_c \ln r_0/r \quad -\sigma_c: \text{圧縮降伏応力}$$

となる。ここで $r =$ フランジ部内縁 $= a$ とすると、 $r_0/a = LDR$ であるから結局

$$r_0/a = LDR = e^{\sigma_r/\sigma_c}$$

また、材料の降伏条件が最大主応力説をとれば

$$r_0/a = LDR = 1 + (\sigma_r/\sigma_c)$$

となる。そこで今回測定した負荷時と除荷後の押し込め量の比をとりと表3のようになり、理論値の σ_r/σ_c に対して約0.5不足することになる。それを補足計算した結果図4のようになり、理論値と非常によい関係を示すことがわかる。

4 結論

以上のことから本実験においては、

(1) プラスチックの円筒深絞りを行う場合の限界絞り比を求めるには、スーパーフィニル ロックワッフル硬さ試験機の15-Yスケールを用いて、試験荷重負荷時の押し込め量(h_p)と試験荷重除荷後の押し込め量(h_0)との比を用いて次式により求められる。

(a) 最大せん断応力説にしたがう材料の場合、

$$\text{限界絞り比} = e^{(h_p/h_0 + 0.5)}$$

(b) 最大主応力説にしたがう材料の場合、

$$\text{限界絞り比} = 1 + (h_p/h_0 + 0.5)$$

(2) HR(15-Y)で測定した硬さ値と引張強さの間には相関関係が認められ、次式に近似する。

$$\sigma_c = 8/100 \text{ HR}(15-Y) \text{ kgf/mm}^2$$

表3

	$\frac{h_p}{h_0}$	$\frac{h_p + 0.5}{h_0}$
PVC(1)	0.105	0.605
PVC(2)	0.197	0.697
PP	0.368	0.868
PC	0.108	0.608
PA	0.313	0.813
ABS	0.337	0.837
PE	0.561	1.061

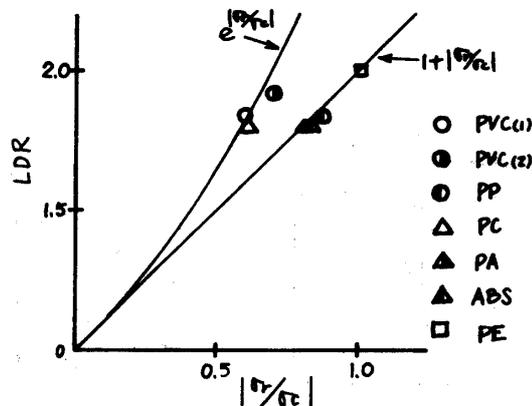


図4