

工業用純チタン薄板の深絞り

赤松 泰輔*・浮田 静雄*²・宮坂 勝利*²・史 蒙*³

Deep Drawing of Commercially Pure Titanium Sheets

Taisuke AKAMATSU, Shizuo UKITA, Katsutoshi MIYASAKA and Shi MENG

Synopsis : The technology of deep drawing of commercially pure Ti cold-rolled sheet for obtaining drawn cup without defects was developed. Oil hydraulic press of max. 490 kN punch force and 98kN max. blank holding force (BHF) and 300mm/min drawing speed were used. Ti sheets (TP28C) of 0.8mm sheet thickness (t) were used. The punch diameter is $\phi 40$ mm, and various punch radii were used.

First, blanks lubricated with machine oil were deep drawn. BHF values were calculated by Dr. Fukui's formula. The limiting drawing ratio (LDR) was about 1.8, inferior to steel sheets.

Next, two 30 μ m polyethylene (PE) films were used on each side of the Ti sheet and BHF values were calculated by Dr. Fukui's formula. The LDR increased to 2.5, but large and numerous wrinkles were found. When the BHF was increased to 98kN, only traces of wrinkles were found. Last, punch lubrication was eliminated by the 50mm center hole of PE films of the punch side. The BHF was also 98kN. The LDR increased to 2.6, but severe earing was formed.

As for the effect of r_p on LDR, when r_p is smaller than $(4\sim 6)t$, LDR somewhat diminished.

By adequate blank shape, this earing was nearly eliminated.

Key words : deep drawing ; lubrication ; polyethylene film ; pure titanium ; formability.

1. 緒言

工業用純チタンの板の深絞り性に関しては、D.H.Lloyd¹⁾とM.Atkinson²⁾の論文などが有名で、D.H.Lloydの論文は厚さ約75 μ mのポリエチレン(PE)フィルムを用いて絞っているが³、絞り比が²2.63程度の絞り容器の外観を見ると、欠陥が高さの約1/3程度認められる。M.Atkinsonの論文にはD.H.Lloydの論文などの結果が引用されていて、PEフィルムを使用した場合と、鉄系材料などに対してもPEフィルムを使用したデータが油潤滑のデータと共に示されており、チタンの深絞り性の優位(高深絞り比)が r 値との関係で示されている。D.H.Lloydの論文の結果は広く引用されているが³、潤滑条件はほとんど明記されておらず、また、しわ押え力についての記述も殆どない³⁾。

前ら⁴⁾の純チタンの深絞り性の報告には、MOLYCOTEを使用して、深絞り比が約2.6に達したとの報告があるが³、しわ押え力は5.88kNと記されているのみである。幣司ら⁵⁾は純チタンの深絞りに対して、銅合金金型を使用して深絞り比が²2.35に達したと報告しているが、しわ押え力には言及していない。また、五弓ら⁶⁾はチタンの深絞り性を単一素板荷重法により、ポンチ頭部の無潤滑化により限界絞り比(LDR)が大きくなったとしているが、しわ押え力に関しては容器壁の断面荷重の検討のために変えているのみである。

一方、チタン板の耳形成に関しては五弓ら⁷⁾がHillの異方性理論を元にして考察している。

一般にチタンのとき高 r 値の深絞りは極めて簡単なように思われるが、実際に絞ってみると通常の絞り条件では極めて成形し難いことは井上⁸⁾も指摘している。

以上のように、チタンについて高いLDRが得られたとの報告はあるが、その成形条件は必ずしも明白であるとはいえない。著者らは市販の純チタン板を用いて通常の深絞り実験をしたところ、高 r 値にもかかわらず極めて絞りが困難であった。そこで、潤滑条件をPEフィルムを用いて絞ったところ高いLDRが得られたが、しわの発生が著しく容器としての価値は少ないものであった。このため、しわ押え力を増加させて絞ったところ、しわの発生を僅少にできることが判明し、ポンチ頭部を無潤滑にすることにより、さらに高いLDRの容器が得られたのでここに報告する。

2. 実験方法

著者らの使用した油圧式プレスの容量はポンチ荷重490 kN、しわ押え力98kNで絞り速度は約300mm/minである。ポンチとダイスの関係をFig. 1に示す。ポンチ直径は40.0mm、ダイス直径は42.1mm(クリアランスは1.05mmで板厚の約1.3倍)、ポンチ角半径 r_p は板厚の1~25倍の7種で、ダイ

平成4年3月27日受付 平成5年5月14日受理 (Received on Mar. 27, 1992; Accepted on May 14, 1993)

* 工学院大学(現:工学院大学名誉教授)(Kogakuin University, now professor Emeritus)

* 2 工学院大学(Kogakuin University, 2665-1 Nakanomachi Hachioji 192)

* 3 工学院大学大学院生(現:(株)ミクニ)(Graduate Student, Kogakuin University, now Mikuni Corp.)

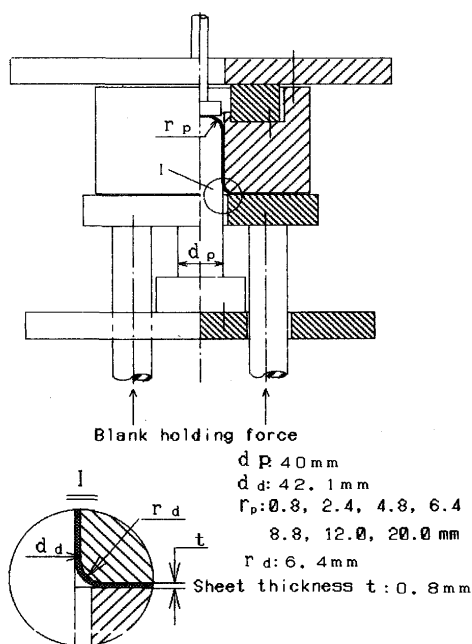


Fig. 1. Punch and die dimensions.

Table 1. Chemical compositions of Ti (TP28C). (wt%)

	Fe	O	N	C	H	Si	Ni	Sn	Al
TP28C	0.033	0.042	0.004	0.004	0.0008	0.005	0.014	0.012	0.004

Table 2. Mechanical properties of Ti (TP28C).
Average value = $(L + 2X + C)/4$

	Sampling direction	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_B (MPa)	Total elongation (%)	Uniform elongation (%)	n value	r value
Ti (TP28C)	Longitudinal (L)	153.9	300.8	48.3	37.7	0.26	1.46
	Diagonal (X)	200.9	282.2	55.0	11.8	0.13	4.39
	Transverse (C)	205.8	303.8	41.1	7.2	0.07	6.79
	Average value	190.4	292.3	49.9	17.1	0.15	4.26

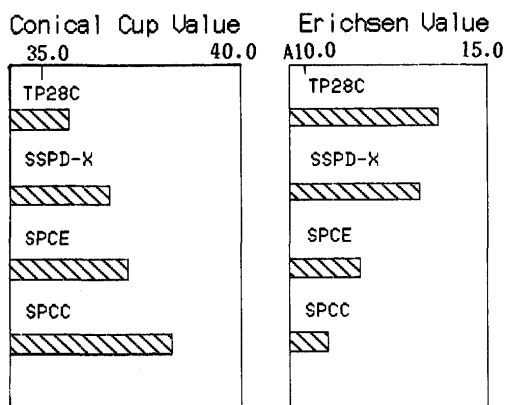


Fig. 2. Erichsen test value and conical cup test value.

ス肩半径 r_d は板厚の 8 倍 (6.4mm) にとってある。試料は 0.8mm の冷間圧延工業用純チタン (TP28C) で試料の化学成分と機械的性質を Table 1 と Table 2 (試験片: JIS 13号 B, 引張速度 20mm/min, インストロン型引張試験機) に示

す。なお、圧延方向を L, 45° 方向を X および直角方向を C と表記する。また、均一伸びの少ない X 方向と C 方向の r 値の測定はいくらか精度が低いと思われるが、秋末⁹⁾などの r 値の理論的計算結果の傾向に合っており、彼らの実験値とそれほど大差はない。なお、エリクセン値とコニカルカップ値の鉄系との比較を Fig. 2 に示す。この結果より純チタン板の深絞り性の有利性が分かる。また、円形ブランクの製作に当たっては打ち抜きによるひずみをさけるため、すべて旋盤により行った。

しわ押え条件は福井の式¹⁰⁾を基本とし、しわが防ぎきれない場合は増大させた。潤滑剤はコニカルカップ試験のマシン油を基本とし、さらに文献¹²⁾に報告されている PE フィルムをも使用する。用いた PE フィルムは 30 μ m の厚さで、その密度は 0.922 (g/cm³)、メルトインデックス 2.0 (g/10min)、数平均分子量 12000 の低密度ポリエチレンである。

実験方法としては、潤滑油としわ押え力 (BHF) の各組合せに対して r_p はすべて板厚の 1~25 倍を試験し、各組合せは 1) マシン油と福井の式 2) PE フィルムと福井の式 3) PE フィルムと 98kN 4) PE フィルム (ポンチ潤滑を除く) と 98kN とした。

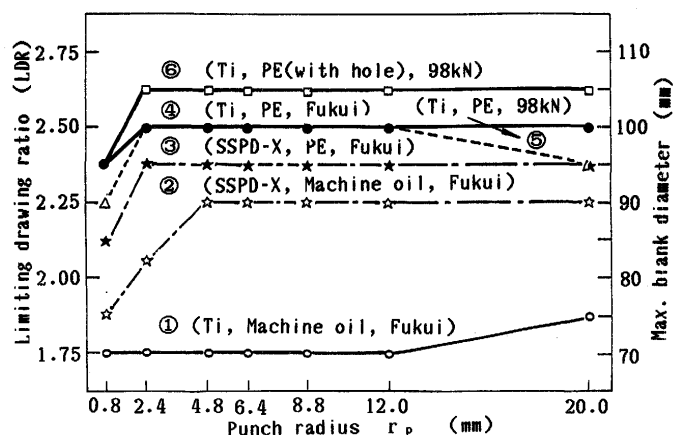
3. 実験結果および考察

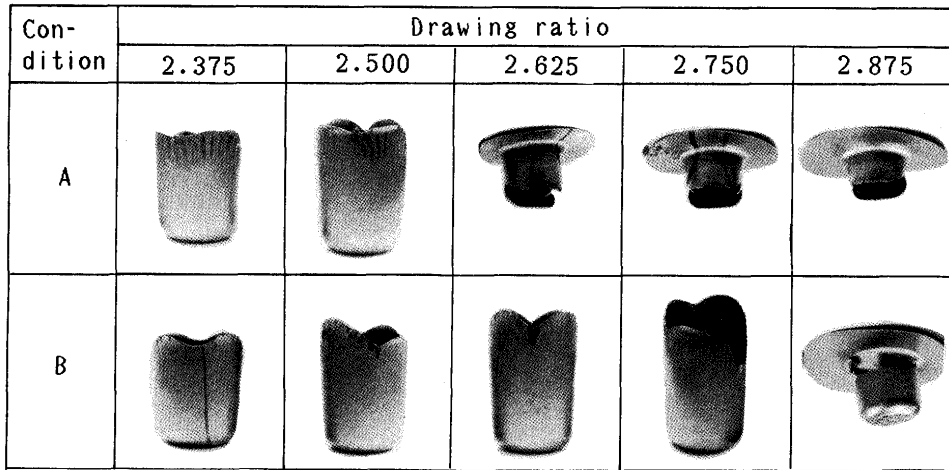
深絞り加工において重要な因子として、しわ押え力がある。日本においては次の福井の式¹⁰⁾が使用される。

$$H = \{(\sigma_B + \sigma_S) D_0 / 180\} \left[\{(D_0 - d_d - 2r_d) / t\} - 8 \right]$$

ただし、 H : しわ押え力 (N), σ_B : 引張強さ (MPa), σ_S : 降伏点 (MPa), D_0 : ブランク直径 (mm), t : 板厚 (mm), d_d : ダイスイ穴直径 (mm), r_d : ダイスイ肩半径 (mm)。

福井の式による著者らの実験によれば、鉄系、Al 系、Cu 系においては、しわは発生せず、必要かつ十分なしわ押え

Fig. 3. Relation between material, lubrication condition (LC), blank holding force (BHF), r_p and limiting drawing ratio (LDR), maximum blank diameter.



A : BHF; Fukui's formula
Lubricated by PE films ($30\mu\text{m} \times 2$ for each side of sheets)
B : BHF; 98.0kN
Lubricated by PE films ($30\mu\text{m} \times 2$ for each side of sheets. punch is not lubricated)

Fig. 4. Difference of appearance of drawn cups of circular blanks by difference of blank holding force (BHF) and lubrication conditions (Ti, $r_p=8.8\text{mm}$).

力を与える。Tiに対しては、ブランクが小さい時はしわが発生しなかったが、ブランク径が85mm前後になるとかなりのしわが発生した。そこで $\phi 100\text{mm}$ のブランクを福井の式による値(約13.2kN)より順次にしわ押え力を増して最高117.6kNまで試験したところ、約98kNでしわはほとんど消失し、こん跡をとどめる程度であることが判明した。したがって、以後は主として98kNで実験を行った。Fig. 3にそのしわ押え力と潤滑条件および r_p が限界絞り比(LDR)に及ぼす影響をまとめて示す。また、Fig. 4には絞り外観をまとめて示す。

3・1 潤滑条件と破断位置

すでに述べたように潤滑条件は以下の3通りとした。

潤滑条件(1)：マシン油をダイス側だけに塗油。

潤滑条件(2)：板の両面に $30\mu\text{m}$ のPEフィルムを2枚ずつ使用する(フィルム1枚の場合は深絞り中、早期に切れて潤滑不十分でLDRは低下し、3枚ずつの場合は2枚ずつの場合に比してLDRは向上しない)。

潤滑条件(3)：ポンチ側のPEフィルムにダイスのフラット部に相当する約50mmの穴をあけ、ポンチ部の潤滑を除いたもの。

実験条件としてはTiに対しては、しわ押え力が福井の式に対しては潤滑条件(1)と(2)を、98kNに対しては(2)と(3)とを組合せて、各組合せにつき r_p を変化させた。なお、参考にTi添加絞り鋼板SSPD-Xに対して、福井の式と潤滑条件(1)と(2)を組合せて実験し、その結果をFig. 3に併記した。

深絞り是一般に破壊危険部となるポンチ肩部での変形抵抗が大きく、フランジ部での円周方向への圧縮による変形抵抗の小さい材料が成形限界を高くするとされている。Fig. 5には破壊危険部をみるため板厚ひずみの分布を求めた。

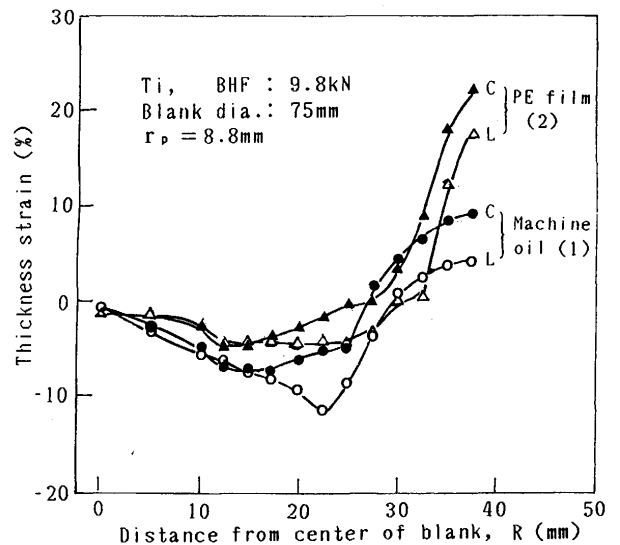


Fig. 5. Thickness strain distributions at 2 different lubricating conditions.

同図は絞り比1.875でBHFは福井の式による場合の潤滑条件(1)および(2)について示す。板厚ひずみの測定位置はブランク中心から半径 $R=2.5\text{mm}$ ごとに同心円をえがき、これらとL, X, C方向との交点である。この場合、潤滑条件(1)のL方向の測定位置は、亀裂がL方向に直角に発生するため180°ずらした未亀裂部である。なお、X方向はおおむねC方向に類似しており省略した。図よりポンチ頭部における板厚減少をみると、絞り比が小さいため潤滑方法による差は少ないが、潤滑条件(2)の方が(1)より小さく比較的均一な変形条件を示しており、板厚減少の最大点は $R=12.5(\text{C}) \sim 25(\text{L})\text{mm}$ と方向によって異なる。一方、潤滑条件(1)のそれはポンチ頭部近傍で総じて大きく、特にL方向の $R=22.5\text{mm}$ には(2)条件より顕著な板厚減少の最大が現れる。両潤滑条件共に破断はこれらの板厚の最小部分に生

じ、これが潤滑条件(2)の場合、Fig. 4の絞り比2.625以上の成形条件Aにみられる。

Fig. 3において、標準となる曲線②のSSPD-Xは、潤滑条件(1)のマシン油と福井によるBHFの式の組合せで、曲線③は潤滑条件のみを(2)のPEフィルムに変えた結果である。PEフィルムを使用によりLDRは向上するがその差は大きくなく、最大ブランク直径で5mmの上昇である。LDRの低下をきたす r_p は曲線②で4.8mm以下であるのに対し、③では2.4mm以下と少し改善される。この場合、福井の式によるBHFでしわの発生はない。

Tiの場合、マシン油潤滑(1)と福井の式によるBHFを組合せたものが曲線①である。このLDRは約1.8でSSPD-Xに比し r 値より予想される値よりはるかに劣るものである。この場合、絞り可能なブランク径は小さいため、福井の式のBHFでしわの発生も問題となるような焼き付きもない。通常、Tiは深絞り性は優れているが、曲げ性(r 値とは負の相関がある)に難点があるとされており¹¹⁾、また、この曲げ性は表面あらさと相関が強いとされている¹²⁾。破断した容器には視覚的には特に焼き付き現象も見られないが、ダイスおよびポンチの肩半径部との接触面に微視的にはやや表面あらさの増加が見られる。この肩半径部表面あらさの増加およびFig. 5潤滑条件(1)にみたポンチ肩部と側壁部の連結部での大きな板厚減少が見られることから、ポンチおよびダイス肩半径部における曲げ部での油膜切れが予想される。また r 値が大きいことによるフランジ部円周方向への圧縮により局所的な面圧が上昇し、ここでの摩擦力の増加による絞り込み力の増大も考えられる。これらは曲線④のPEフィルム潤滑条件(2)と福井の式の組合せでLDRが2.50と急激に上昇すること、およびマシン油に二硫化モリブデンの微粉末を混合塗布した潤滑条件により最大ブランク直径で5mmの上昇があり、またいずれのブランク径でも本Ti材より引張強さの大きいSPCC(353MPa)に比し、ポンチ力は逆に約1.2倍高くなることも併せてTi材特有の潤滑条件に敏感な現象と思われる。なお、曲線④においてLDR以上の大きさのブランク径では r_p 部で破断するが、LDR以内のブランク径85mm以上でかなりのしわが認められた。このしわの発生防止のため、BHFのみを98kNに増加させたものが曲線⑤である。こん跡は残っているもののしわはほとんど除去されている。LDRは④とほとんど同じであるが、 $r_p=0.8$ mmではLDRはブランク径で5mm低下し、また $r_p=20.0$ mmでは張り出しやすい球頭ポンチに加えて、BHFの増加により頭頂部で破断し、LDRは直径で5mm減少した。

一方、曲線⑥は⑤と同じBHF=98kNでポンチ側PEフィルムによる潤滑をなくし、ポンチ肩部の破断防止を検討したものでLDRは最も高いレベルの絞り率2.63に達した。また、しわの発生も⑤と同様にほとんど除去されている。 r_p は2.4mm以下でLDRの低下をきたす。一般に r_p は(4~6)t $\leq r_p \leq (10\sim12)$ tが推奨されている¹³⁾が、Fig. 3よりPE

フィルムを用いることにより3t(=2.4mm)まで広げられるようである。この⑥曲線のLDRが向上した理由を次の3・2および3・3で考える。

3・2 板厚ひずみ分布と変形過程

Fig. 6には半径Rを5mmごとにえがいた同心円とL方向を0°としてブランクに放射状にえがいた16等分線の絞り後の変形状態を示す。絞り条件は $\phi 105$ mmのブランクをBHF=98kNで押し、PEフィルム(ポンチ潤滑を除く)使用の潤滑条件(3)である。これよりLおよびC方向の容器の壁に板の寄った部分のしごきの跡と、X方向の耳の上部にわずかなしわが見える。しかも全体としてX方向に大きな耳を生じ、LおよびC方向に谷が生じるが、C方向の谷が深い。このチタンの耳の形成については五弓⁷⁾が円周方向の圧縮応力の極値のところに耳あるいは谷ができると仮定して解析し、谷の深さはL方向で浅く、C方向で深くなるという結果を得て

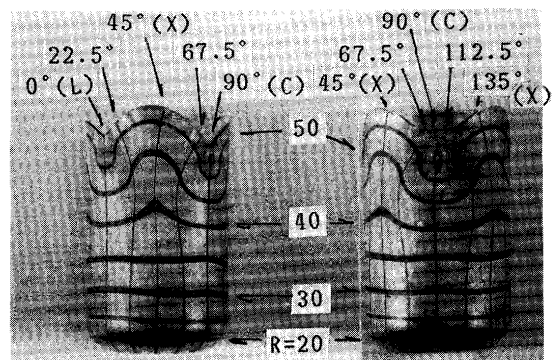


Fig. 6. Appearance of flow line of drawn cup.
Ti, $\phi 105$ mm, $r_p=8.8$ mm, 98kN, lubrication condition (3)

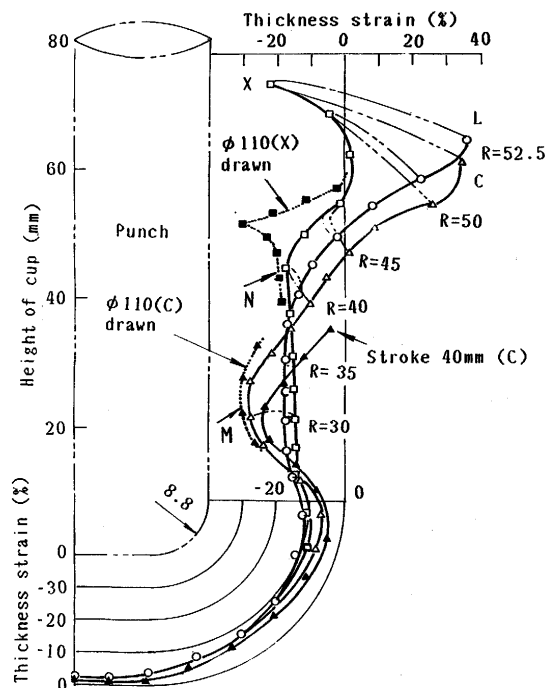


Fig. 7. Thickness strain distribution of drawn cup.
Ti, $\phi 105$ mm, $r_p=8.8$ mm, 98kN, lubrication condition (3)

おり、著者らの実験結果と同じである。ここでは実験による変形過程を主として伸び率の観点から検討する。Fig. 7には各方向の板厚ひずみの分布を示す。なお、同図には変形過程をみるため、絞り途中のポンチストローク40mmにおけるC方向の板厚ひずみおよびブランク直径110mmの絞り込み後のC方向、X方向の板厚ひずみの一部を併記した。ここでポンチストローク40mmの場合、フランジ部は約12(C)~22(X)mm幅で全周にわたって残る状態である。

図より、いずれの方向もポンチ頭部は無潤滑のため板厚ひずみは小さく、肩半径部でやや変形が増すが、側壁部でのひずみは方向によって著しく異なる。全体として円周方向への圧縮変形は容器上部になる程大きくなるのが見られる。側壁部でのC方向の板厚ひずみは $R=30\sim32.5\text{mm}$ のM部で著しく、これは全伸び率最小のC方向が相対的に早くダイス内に流入し、この際、 r 値が大きいため円周方向に圧縮されて厚さを増したフランジ部が絞り込まれてくる過程で抵抗が増し、引張力が加わるものと考えられる。M部の板厚減少はストローク40mmの状態でも既に明瞭に現れているが、ここで破断はしない。この理由は全伸び率が小さいため、ブランクが拘束されるしわ押え部を早期に離脱してしまい、これ以上のひずみを受けにくいためと考えられる。L方向においては r 値が小さいためフランジ部の円周方向への圧縮が少なく、このためしわ押えを離脱する時の抵抗がC方向より小さくなり、C方向にみられたM部の板厚減少は少なく、X方向と類似して均一となる。容器上部はしごかれてC方向と類似している。一方、X方向においては一軸引張の最高荷重点以後の拡散ネッキング量が極めて大きいため、フランジ部全体のダイス内への流入が遅れる。このため絞り込みの最終過程でL方向より全伸び率が小さく、かつ r 値の大きなC方向により多く板が寄ることはFig. 6の 22.5° と 67.5° の線の流れ具合から明らかである。このX方向が最終的に絞り込まれてくる過程で、壁部の板厚が減少するが、N部の減少が目立ってくる。LDRを少し越える絞り比2.750($\phi 110\text{mm}$)の場合、X方向のフランジ部が最後に絞り込まれる時、ブランク外縁のCおよびL方向は既にしごかれてダイス内で半固定状態になっており、この外縁のCおよびLの谷部とN部とをそれぞれ連結するV字形のネックが生じる。この時、C方向のM部は $\phi 105\text{mm}$ の場合に比し板厚ひずみの増加は少ないのに対して、N部では局所的な板厚ひずみの著しい増加によりこの部分で破断する。これがFig. 4の絞り比2.750の成形条件Bにみられる。絞り比がさらに増すと絞り行程は極く小さい段階でポンチまたはダイスの肩部で破断する。

以上のことより、Fig. 3の曲線⑥のLDRが曲線①、④、⑤より向上する理由は、次章3・3に述べるPEフィルム使用によりダイス肩半径部およびダイス面の摩擦力が減少することの他に、マシン油潤滑時に存在するポンチ肩半径部の破壊危険部を、潤滑状態を制御することにより側壁上部に

分散させることができるためである。

3・3 潤滑条件と絞り力

以上にみたように、潤滑条件やしわ押え力などの成形条件が異なると変形状態が変化し、破断挙動も異なることになる。このため最大絞り力も変化し、LDRも変化する。Fig. 8はしわ押え力を9.8kN一定とし、潤滑条件を(1)および(2)とした場合の最大絞り力の変化を示す。潤滑条件(1)の場合、わずかな絞り比の増加で著しく最大絞り力が増加し、LDRは1.75と低い。一方、潤滑条件(2)の場合、(1)に比べ最大絞り力は小さく、絞り比1.5で49%である。絞り比が増しても絞り力の増加は潤滑条件(1)に比べて少なくLDRは2.5に達した。一般に容器深絞り加工における最大絞り力は材料をダイス内に流入変形させるための加工力と、工具との摩擦力の和で表せると考えられる。この場合、同じブランク寸法で同一のダイスとポンチの組合せでは、変形に要する加工力は一定であるから、摩擦力が最大絞り力に影響し、潤滑条件が同じ場合はしわ押え力に比例することになる。

Fig. 9にはPEフィルムを用いた潤滑条件(2)の場合の、

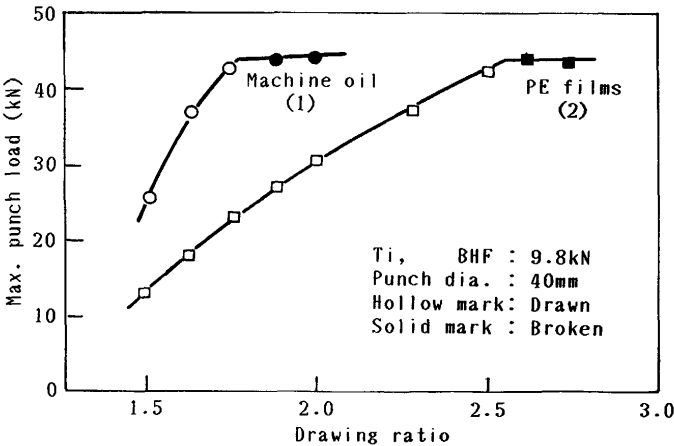


Fig. 8. Relations between max. punch load and drawing ratio at 2 different lubricating condition.
 $r_p=8.8\text{mm}$

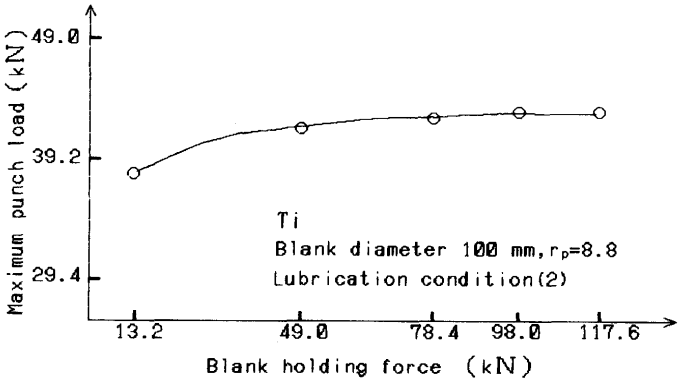


Fig. 9. Relation between punch load and blank holding force.

しわ押え力と最大絞り力の関係を絞り込み可能なブランクφ100mmについて示す。しわ押え力を13.2kNから117.6kNと約8.9倍に増加させても、最大絞り力の増加は5.1kN程度で小さく、その摩擦係数は概算によっても非常に小さいものであることが推定される。このように r 値が高く相対的に円周方向への収縮が多いチタンにおいてはフランジ変形力が増すと共に、しわが発生しやすいことになるが、これをしわ押え力を増加させることにより僅少化し、同時にしわ押え力による摩擦力の増加は潤滑性能の良いPEフィルムを採用することにより減少させ、ポンチ力の増加を防ぐことができた。それゆえにしわ押え力を98kNかけてもLDRの低下はわずかであり、PEフィルムを用いてポンチ頭部を無潤滑化すれば通常の福井の式による場合よりLDRは逆に向上する。

3・4 耳を最小にするためのブランクの検討

板面異方性をもつブランクを絞った場合の円筒容器の縁の高さは各方向の r 値に対して、Whiteleyら¹⁴⁾が $\Delta r = (r_L + r_C - 2r_X) / 2$ が負の場合X方向に耳がでるとしている。本実験でも $\Delta r = -0.265$ でX方向に耳が、LおよびC方向に谷が発生し、その深さはL方向の方がC方向より浅い。これに関しては五弓ら⁷⁾の結果と同じである。これは五弓らが検討しているように、フランジ部は完全な平面ひずみ状態ではなく、平面応力状態下で絞っていると考えられ、フランジ外周縁

から内周縁までの平均の応力比を-1とし、ひずみ増分式よりL方向のひずみ増分がC方向のそれより大きくなっているとする考えを支持しているものと考ええる。

r 値と耳形成の関係についての理論的報告は目につくが r 値をブランク形状に結び付けた報告は少ない。神馬¹⁵⁾は凸多角形の深絞り加工過程を板厚不変の平面ひずみ変形とみなしてすべり線場理論による解析を行い、絞り深さがあまり深くない場合は、均一高さの製品を作るには等方性材料に比し r 値の大きい方向ではブランク寸法が小さめになり、 r 値の小さい方向では大きめになることを示し、SPC 3材で確かめている。著者らの高 r 値材であるTi材の成形結果は、 r 値の高いC方向でも深い谷を示しているため、各種ブランクを試作して山と谷を僅少にするブランク形状を実験的に検討してみた。このブランク形状とその製品外観をFig.10にまとめて示す。絞り条件はBHF=98kNで潤滑条件は(3)である。ブランクA, B, C型は基準円径をLDRに近い100mmとしている。

(1) A型は耳のでたX方向をシャーし、B型はX方向のシャーにより相対的に寸法増となるL方向もシャーしたもので、いずれもシャー部に谷を生じたが、基準円と同じ直径の円ブランクに比しその差は減少した。なお、直線部と円弧部の接点に小さな耳が生じてしまう。

(2) 全伸びおよび r 値の小さいL方向および全伸びが小さ

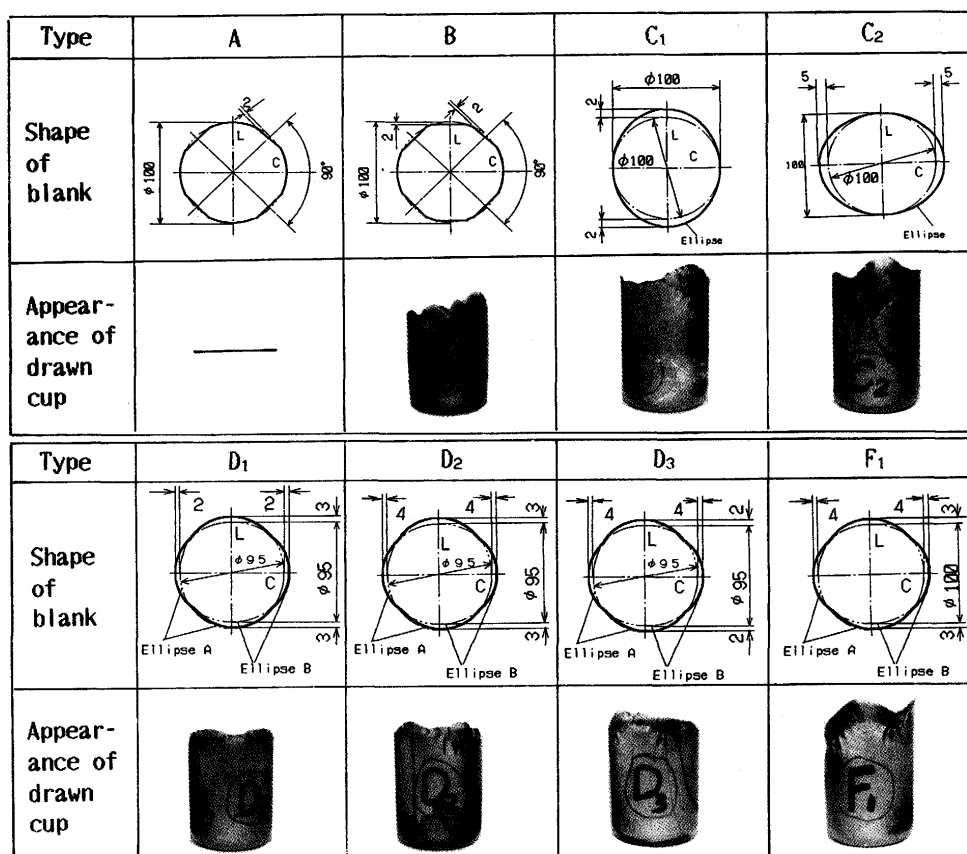


Fig. 10. The effects of consideration of shape of blanks upon appearance of drawn cup.
Ti, $r_p = 8.8\text{mm}$, 98kN, lubrication condition (3)

く r 値の高い C 方向にそれぞれ楕円の長軸をとった C_1, C_2 型は両者共に短軸側に谷を生じた。

(3) 耳の高さ減少を計るため基準円径を95mmに下げ、円ブランクで耳のでた X 方向の付加量を少なく、かつ、谷のでた L, C 方向に付加量の多い楕円の長軸をもつ D 型では、 D_1, D_2 の場合はいずれも C, L 両方向共に浅めの谷が生じた。次に、全伸びに応じて、この一番小さな C 方向に多めの4mmを、全伸びがやや小さく r 値も小さい L 方向には少なめの2mmを付加した D_3 型の絞り結果は L 方向に耳が、 C 方向には浅めの谷が生じたが、その耳と谷の差は小さく、 C 方向の板の寄ったところをしごいた部分や、その他のしわのこん跡部を除去した全くの健全部は深さ53mmで最も大きく、切捨て部は105mmの円ブランクの場合より少ない。

(4) D_3 型と同じ考えて基準円径100mmの F_1 型を試みたが $\phi 105$ mmの円ブランク外径を F_1 ブランク外形が部分的に越えるものがあり、容器上部の壁部で破断した。

以上のTi材についてみる限りでは、均一な容器を得るにはおおむね伸び値で考えてもよいと思われるが、これについては今後の検討課題としたい。

4. 結論

当研究は冷間圧延工業用純チタン板 (TP28C) の深絞り加工による容器の高品質化実験に関するものである。

(1) 潤滑剤は純チタンの加工性と加工面の状態に重大な影響を及ぼす。特に潤滑剤としてPEフィルムを使用することにより、純チタンの良深絞り性を引き出すことができ、また表面傷も少なくなり、大きな限界絞り比の製品を得ることができる。

(2) PEフィルムの使用法は、30 μ mのフィルムを板の上下にそれぞれ2枚使用し、特にポンチ側のフィルムに穴をあけて、ポンチと板の間を無潤滑にすることにより、最も深く絞ることができた。

(3) しわ押え力はブランクが小さいときは福井の式は必要にして十分なしわ押え力を与えるが、大きくなって (絞り比は約2.1以上) くと、しわの発生を防ぐことができなくなり、福井の式の10倍位かけることにより容器上辺にしわのこん跡を残す程度になる。ただし、PEフィルムの同時

使用はいうまでもない。

(4) ポンチ肩半径 r_p は一般には $(4 \sim 6) t \leq r_p \leq (10 \sim 12) t$ の範囲がよいといわれている¹³⁾が、しわ押え力98kNで潤滑条件は上記(2)項の組合せの場合、3t以上ではば一定の絞り比がえられる。

(5) 適当なブランクの形を工夫することにより、純チタンの板の深絞りにおける山と谷の現象をほとんど消すことができ、深い健全部 (容器内径40mm、健全部深さ約53mm程度) をもつ容器を得ることができる。

工業用純チタン板のコンカルカップテストの結果が良好であるのにもかかわらず、深絞り試験でマシン油を潤滑剤とした場合に低い絞り比を示した。この理由についてはコンカルカップテストはダイス肩の角度が大きいことがあげられ、また、PEフィルムで最高の絞り比を示した理由は摩擦係数が非常に小さいことが考えられるが、この問題はさらに検討したい。

本研究を始めるに当たり、Tiに対する関心を与えられた本学の鈴木敏之教授、PEフィルムについて示唆された理化学研究所宮内邦雄技術顧問、フィルムの入手をお世話下さった矢崎文彦研究員ならびに実験に努力された平成2年度の小林、斉藤、鈴木、平成3年度の大江、渡辺の卒業生諸君に謝意を表します。

文 献

- 1) D.H.Lloyd: Sheet Metal Ind., (1962) Feb., p.82
- 2) M.Atkinson: Sheet Metal Ind., (1967) Mar., p.167
- 3) S.P.Keeler: Machinery, **74** (1968) Apr., p.103
- 4) 前 義治, 木村敏郎, 竹内 庸: 塑性と加工, **15** (1974), p.206
- 5) 幣司雄一, 村田裕滋, 河野紀雄, 高橋恒夫: 日本金属学会春期大会講演概要, (1991), p.269
- 6) 五弓勇雄, 大久保忠恒, 田辺龍彦, 北中賢二: 日本金属学会誌, **36** (1972), p.972
- 7) 五弓勇雄, 大久保忠恒, 田辺龍彦, 北中賢二: 日本金属学会誌, **36** (1972), p.978
- 8) 井上 稔: 塑性と加工, **21** (1980), p.128
- 9) 秋末 治, 岸田宏司: 鉄と鋼, **72** (1986), p.657
- 10) 福井伸二, 吉田清太, 阿部邦雄: 東京大学理工学研究所報告, **8** (1954), p.23
- 11) 宮本淳之, 堺和昌三: チタニウム・ジルコニウム, **36** (1988), p.211
- 12) 石山成志: チタニウム・ジルコニウム, **37** (1989), p.9
- 13) 橋本 明: プレス作業と型工作法—新版—, (1980), p.164 [日刊工業新聞社]
- 14) R.L.Whiteley and D.E.Wise: Flat Rolled Products III, (1962), p.47
- 15) 神馬 敬: 塑性と加工, **11** (1979), p.653