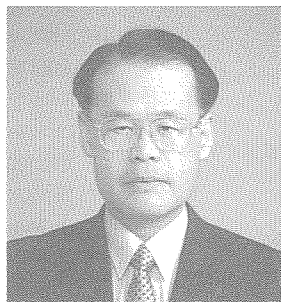


純チタン薄板の角筒深絞り成形性

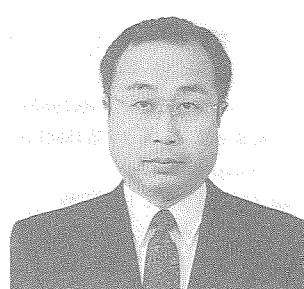
Square Shell Deep Drawability of Commercially Pure Titanium Sheet



大 上 哲 郎^{*(1)}
Tetsuro OHWUE



進 藤 卓 嗣^{*(2)}
Takuji SHINDO



林 照 彦^{*(3)}
Teruhiko HAYASHI

抄 録

純チタン薄板の成形性を調査するために、一軸引張試験と角筒深絞り成形試験を行った。供試材は純チタン(JIS 1種)の他にSUS430, SUS304及び極低炭素チタン添加鋼である。その結果、純チタン薄板は機械的特性の異方性が強いが、4種類の材料の中で最も良い深絞り成形性を示すことが分かった。両面にテフロンフィルム潤滑を行った場合、純チタン薄板の限界絞り比は2.8に達し、極低炭素チタン添加鋼の両面防錆油潤滑成形の限界絞り比2.33をはるかに超えることが分かった。

Abstract

Uniaxial tensile tests and square shell deep drawing tests are carried out in order to investigate the formability of commercially pure titanium sheets. Materials used for experiments are 3 types of commercially pure titanium (JIS 1,2 class), SUS430, SUS304, and IF steel (Ti-added ultra low carbon steel). As the results, commercially pure titanium sheets have large difference of mechanical properties of 3 directions, but they show the best deep drawability among the four materials. Limiting drawing ratio (LDR) of commercially pure titanium sheets becomes 2.8, by both surface lubrication with polytetrafluoroethylene film, and highly exceeds that (2.33) of Ti-added ultra low carbon steel sheet by prevent rust oil lubricant.

1. 緒 言

日本ではチタンの大半を純チタン薄板が占めている¹⁾との報告があり、純チタン薄板の成形性向上はチタンの用途拡大への主要課題の一つである。このため、従来から深絞り成形^{1,3)}、張出成形^{1,5)}、曲げ成形⁶⁾及び加工時の潤滑⁷⁾など様々な観点からチタン薄板の成形性が検討されてきた。深絞り成形性は主要な成形性評価指標の一つであるが、従来の研究は直径50mm以下の小型円筒成形実験に関するものが殆どであり、純チタン薄板はr値が高いため円筒深絞り成形性に優れる^{1,3)}ことが確認されている。

しかしながら、自動車部品、浴槽、熱交換機などの実部品の形状は複雑でコーナ部を有する多角形形状が多く、単純な軸対称の円筒深絞り成形だけでは成形性の良否は判断できないことが多いと考え

られる。更に、純チタン薄板はn値が低いことや工具との焼き付きを生じやすいことなどのため、コーナ部の張出成形を含み、かつ材料流入の不均一な角筒深絞り成形の方が、実部品の成形性を評価しやすいと考えられる。

本報は、純チタン、極低炭素チタン添加鋼(IF鋼)、SUS430(18Cr)及びSUS304(18Cr-8Ni)の薄板について、一軸引張試験による機械的特性及び正四角形形状の角筒深絞り成形性の調査結果に関するものである。

2. 実験方法

2.1 供試材及び機械的特性測定方法

供試材及び純チタンの含有成分を表1, 2に示す。機械的特性調査に用いた引張試験片は、降伏強さ(YS)、引張強さ(TS)、全伸び

*⁽¹⁾ 日鐵テクノリサーチ 数値解析センター 工博
千葉県富津市新富20-1 ☎293-0011 ☎0439-80-2089

*⁽²⁾ 科学技術振興事業団 工博

*⁽³⁾ 光技術研究部

表1 供試材とその機械的特性(3方向平均値)

符号	材質	板厚 (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	T.El (%)	U.El (%)	n値 (5-10%)	r値 (10%)
A	チタンJIS1種	0.65	230	316	47.8	14.0	0.16*	3.80
B	チタンJIS1種	0.95	227	297	51.9	15.2	0.17*	3.59
C	チタンJIS2種	0.60	309	367	42.1	9.7	0.15*	4.05
D	SUS430(18Cr)	0.60	335	479	29.5	18.3	0.19	1.14
E	SUS304(18Cr-8Ni)	0.80	290	654	64.9	>50	0.34	1.12
F	IF鋼	0.80	144	302	48.7	28.9	0.29	1.99

*L方向の値(チタンではC, D方向は均一伸びが小さいため算出できなかった)

表2 純チタンの含有成分(重量%)

符号	種類	H	O	N	Fe	C
A	JIS1種	0.002	0.06	0.01	0.03	0.01
B	JIS1種	0.002	0.07	0.01	0.03	0.01
C	JIS2種	0.001	0.10	0.04	0.05	0.01

(T.El)及びn値に関してはJIS5号試験片を用い、r値に関してはJIS13号A試験片を用いた。機械的特性はL, D, C(圧延方向も対してそれぞれ0°, 45°, 90°)の3方向について調査した。n値の測定は、軟鋼板の場合の5%~15%より小さくして5%~10%で測定したが、純チタンでは異方性が強いのでL方向のみの測定値を示している。r値の測定も軟鋼板の場合の15%より小さくして、全て伸びひずみ10%にて測定した。

2.2 角筒深絞り成形実験方法

角筒成形は一辺75mm及び100mmの正方形形状の角筒ポンチにより正方形形状のブランクを用いて行ったが、使用した角筒ポンチの一辺の長さにより75□角筒成形のように記述することとする。成形試験機はインナー780kN、アウター490kNの複動式油圧プレスである。金型寸法はポンチ肩半径を r_p 、ポンチコーナ半径を r_{pc} 、ダイ肩半径を r_d とすると、75□角筒成形が $r_p=5\text{mm}$ 、 $r_{pc}=8\text{mm}$ 、 $r_d=5\text{mm}$ 、100□角筒成形が $r_p=8\text{mm}$ 、 $r_{pc}=18\text{mm}$ 、 $r_d=5\text{mm}$ である。潤滑剤としては0.1mm厚のポリテトラフルオロエチレン(以下、テフロンと記す)を両面に用いたが、純チタン薄板及び比較材の極低炭素チタン添加鋼は防錆油潤滑も追加した。

成形性の評価は、成形可能な最大ブランクの一辺の長さを角筒ポンチの一辺の長さで除した値を限界絞り比(Limiting Drawing Ratio, 以下LDRと記す)とし、このLDRが大きいほど成形性に優れるとした。

2.3 角筒成形品調査方法

角筒成形において板厚減少が大きく破断の危険の大きいコーナ部及び直辺部中央部の2箇所について、100□角筒成形の板厚ひずみを測定した。また、図1には100□角筒成形品について、ダイコーナ近傍縦壁部からの試験片切り出し方法と表面粗さ測定方法の略図を示す。

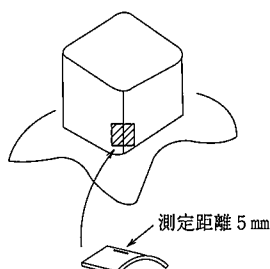


図1 100□角筒成形品切り出し方法と表面粗さ測定方法

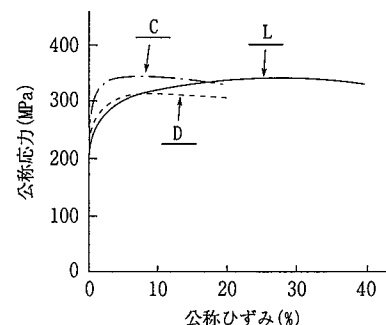
3. 機械的特性の異方性

供試材の機械的特性について、3方向及びその平均値を表1に示し、一軸引張試験における公称ひずみ-公称応力曲線の代表例として純チタン(素材B)及びIF鋼(素材F)を図2に示す。この図から、純チタン薄板では圧延方向(L方向)の公称応力-公称ひずみ曲線はIF鋼と似ており均一伸びが約29%あるが、45°方向(D方向)は約10%、90°方向(C方向)では約7%と均一伸びが極端に小さくなり、異方性が強い。比較材のIF鋼にはこのような異方性は認められず、図示はしないがSUS304及びSUS430にもこのような強い異方性は認められなかった。また、純チタン薄板のn値は測定できたL方向の値で0.15~0.17程度と小さい。r値に関しても異方性が強く、L方向、D方向、C方向の順にr値が大きくなる。

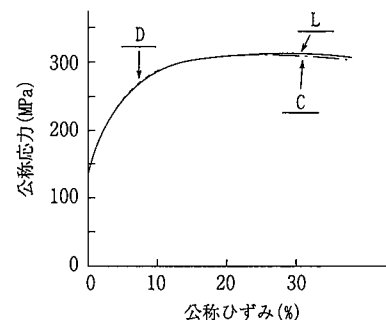
4. 角筒深絞り成形性

図3には75□角筒成形におけるしわ押さえ圧力と絞り比(Drawing Ratio, ブランクの一辺の長さとポンチの一辺の長さの比)の関係を、チタンJIS1種、JIS2種について示す。図中の符号は○が成形可能、△がしわ発生、×が破断を示している。また、図4には素材BのチタンJIS1種における75□角筒成形のLDR写真例を示し、表3には75□角筒成形のLDRの一覧表を示す。更に、図5には素材を変えた場合の成形可能範囲の比較を示すが、冷延鋼板の成形では通常テフロンを使用しないため、IF鋼は防錆油潤滑の場合を比較として示している。

これらの結果から、純チタンではJIS1種、JIS2種共に両面にテフロンを用いて成形するとLDR=2.8に達し、同じ条件で成形したSUS304の2.67及びテフロンを用いないIF鋼の2.33を大きく越えて極めて良好な深絞り成形性を示すことが分かった。特に、表3に示すようにIF鋼にテフロンを使用して成形した場合でも、純チタンの方がIF鋼を上回るLDRを示すことは特筆に値する。しかしながら、純チタンは両面にテフロンを使用しない防錆油潤滑で成形した



(a)素材B(チタンJIS1種)



(b)素材F(IF鋼)

図2 引張方向を変えた場合の公称応力と公称ひずみの関係

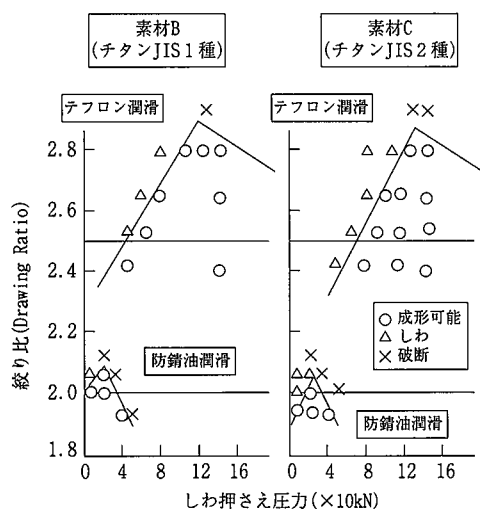


図3 75□角筒成形のしわ押さえ圧力(BHF)と絞り比(DR)を変えた場合の成形可能範囲(純チタン)

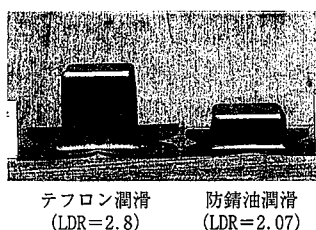


図4 潤滑条件の違いによる限界絞り比(LDR)成形品写真例(純チタン素材B, 75□角筒成形)

表3 75□角筒成形の限界絞り比(LDR)に及ぼす潤滑の影響

符号	材質	板厚 (mm)	テフロン両面潤滑	防锈油潤滑
A	チタンJIS 1種	0.65	2.8	2.07
B	チタンJIS 1種	0.95	2.8	2.07
C	チタンJIS 2種	0.60	2.8	2.07
D	SUS304	0.60	2.67	-
E	SUS430	0.80	2.27	-
F	IF鋼	0.80	2.73	2.33

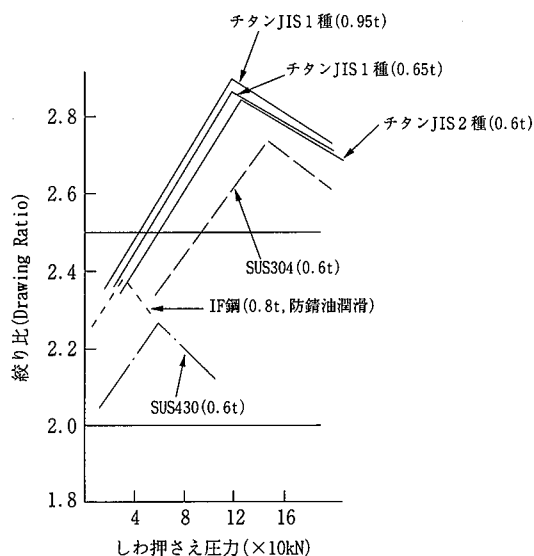


図5 75□角筒成形の成形可能範囲比較(IF鋼は防锈油潤滑, 他はテフロン潤滑)

場合、成形限界が大きく低下する。これはJIS 1種、JIS 2種共に同じ傾向であり、チタン薄板の深絞り成形には潤滑が重要であることが分かった。

前述のような角筒深絞り成形性をより明確にするために板厚分布、表面粗さなどを調査した。図6、7には、それぞれ素材B(チタンJIS 1種)及び素材F(IF鋼)を用いた100□角筒成形における直辺部中央およびコーナ部の板厚ひずみ分布を示す。また、表4には最も板厚減少の大きいポンチ肩部について、直辺部中央部とコーナ部の板厚ひずみを比較して示す。これらの結果から、純チタンはポンチ肩部の板厚ひずみを比較すると、直辺部中央の方がコーナ部よりも板厚減少が小さくなっている。他のIF鋼やSUS430ではポンチ肩部の板厚ひずみが直辺部中央部とコーナ部で殆ど差がないことを考えると、これには純チタンの n 値が小さいことと異方性が大きいことが影響していると考えられる。

次に、図8には素材Bを用いた100□角筒成形におけるコーナ部ダイ近傍の表面粗さを原板と比較して示し、表5には素材D及び素材Fも含めて原板と成形品の算術平均粗さ(Ra)のみを表示している。これから、今回使用した純チタンは原板の表面粗さが小さいため、成形時に防锈油のみを使用した場合は表面の潤滑効果が小さく、金型とチタンの焼き付きを生じやすいことからLDRが小となる。しかし、両面にテフロンを使用した場合は純チタンと金型が直接接触せずに潤滑が極めてよくなるためLDRが大きくなると考えられる。また、角筒成形品はコーナ部のダイ近傍の表面粗さは原板のそれに比べて大きくなるが、特に純チタンは他の材料に比べて表面粗さの増加が大きく肌荒れを生じている。このことも、両面テフロン潤滑を行わないと成形限界低下につながると推測できる。

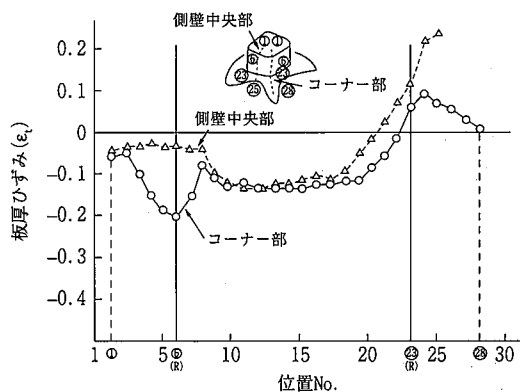


図6 100□角筒成形品の板厚ひずみ分布(純チタン素材B, DR=2.5)

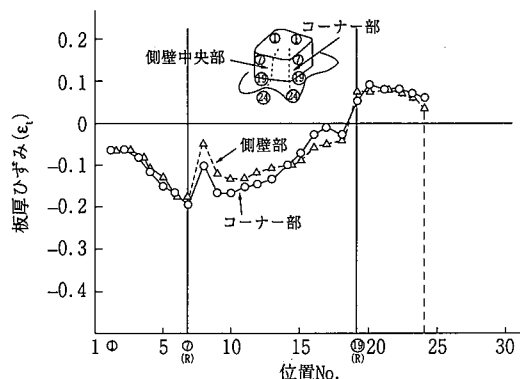


図7 100□角筒成形品の板厚ひずみ分布(IF鋼素材F, DR=2.3)

表4 100□角筒成形のボンチ肩部最低板厚ひずみ

符号	絞り比 (DR)	成形高さ (mm)	コーナー部	中央部
A	2.5	90	-0.20	-0.05
B	2.5	90	-0.22	-0.06
E	2.3	70	-0.19	-0.18
F	2.3	70	-0.20	-0.22

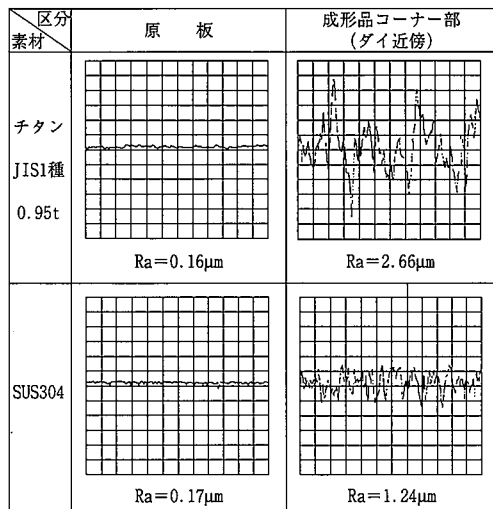


図8 原板と100□角筒成形品のダイ肩近傍縦壁部の表面粗さ比較

表5 原板と100□角筒成形品ダイ肩近傍縦壁部の表面粗さ(Ra)比較

符号	絞り比 (DR)	原板の表面粗さ (Ra)	角筒の表面粗さ (Ra)
B	2.5	0.16 μm	2.66 μm
D	2.4	0.17 μm	1.24 μm
F	2.3	0.91 μm	1.79 μm

5. 結論

純チタン、IF鋼、SUS430及びSUS304の薄板を用いて、引張試験による機械的特性及び正四角形状の角筒深絞り成形試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 純チタン薄板はL方向の均一伸びは大きい、D方向及びC方向の均一伸びが極端に小さく異方性が強い。この現象はオーステナイト系のSUS304板、フェライト系のSUS430板及び極低炭素チタン添加鋼板では見られない。
- (2) 純チタン薄板は両面にテフロンを用いて角筒成形を行うとLDRが2.8に達し、同じ条件のSUS304板の2.67及びテフロンを用いない極低炭素チタン添加鋼板(IF鋼)の2.33を大きく越えて極めて良好な深絞り成形性を示す。しかし、テフロンを用いないと成形限界が大きく低下する。このように純チタン薄板の成形には潤滑が重要である。
- (3) このようになる原因は純チタンの原板の表面粗さが小さいために、潤滑の影響を受けやすいことが考えられる。また、純チタンはn値が小さく異方性が強いためにコーナー部と直辺部で角筒成形品の板厚ひずみ分布が大きく異なり、他のIF鋼などと際違った違いがあることも影響していると考えられる。

参考文献

- 1) 宮本淳之: 塑性と加工, 33(375), 351 (1992)
- 2) 前 義治, 木村敏郎, 竹内 庸: 塑性と加工, 15(158), 206 (1974)
- 3) 長谷川淳, 福田正人: チタニウム・ジルコニウム, 29(4), 223 (1981)
- 4) 鋸屋正喜, 私市 優, 石山成志: 鉄と鋼, 72(6), 649 (1986)
- 5) 小原嗣朗: チタニウム・ジルコニウム, 29(4), 219 (1981)
- 6) 石山成志: チタニウム・ジルコニウム, 31(2), 89 (1983)
- 7) 片岡征二, 木原淳二, 相澤龍彦: 塑性と加工, 34(385), 211 (1993)