

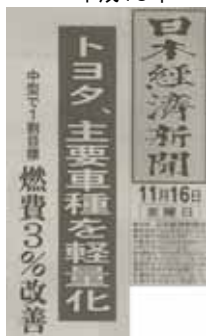
純チタン、チタン合金、マグネシウム合金 容器の冷間プレス成形技術

豊橋技術科学大学 森 謙一郎

平成19年

100kg軽量:1km/l燃費向上

- 高張力鋼板 (7.8)
- チタン (4.5)
- アルミニウム (2.7)
- マグネシウム (1.8)



純チタン、チタン合金容器の冷間プレス成形

《チタン》

《純チタン》

・冷間成形性



表面処理, ダイス
材質, 潤滑剤

・耐食性
・軽量

《チタン合金》

・高強度
・耐熱性

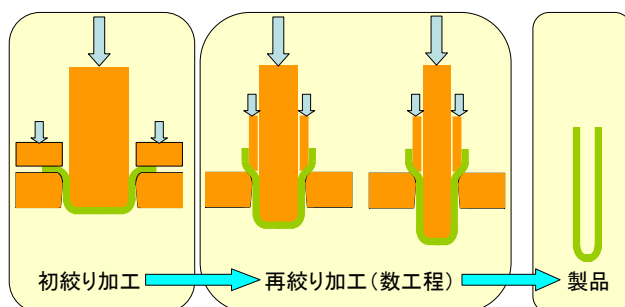
・高温加工
α型合金
α-β型合金

・β型合金: 冷間成形性
曲げ, 浅絞り

チタン材料

チタン	材種	結晶構造	加工	特徴・用途
純チタン	JIS1種, 2種	稠密六方	冷間	・耐食性, 成形性 ・熱交換プレート, 建材
α合金	Ti-5Al- 2.5Sn	稠密六方	熱間	・耐熱性 ・オートバイマフラー
α-β合金	Ti-6Al- 4V	稠密六方 体心立方	熱間	・強度, 靱性 ・航空機部品
β合金	Ti-15V- 3Cr- 3Sn-3Al	体心立方	冷間	・高強度 ・ゴルフクラブヘッド

多段深絞り加工



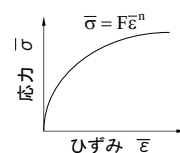
- 純チタン板の多段深絞り加工における焼付き防止
- β型チタン合金板の多段深絞り加工における割れ防止

純チタン板の性質

冷間加工

	n値	r値
純チタン1種	0.148	5.28
純チタン2種	0.145	4.27
鋼	0.238	1.32
純アルミ	0.243	0.62
ステンレス鋼	0.404	1.01

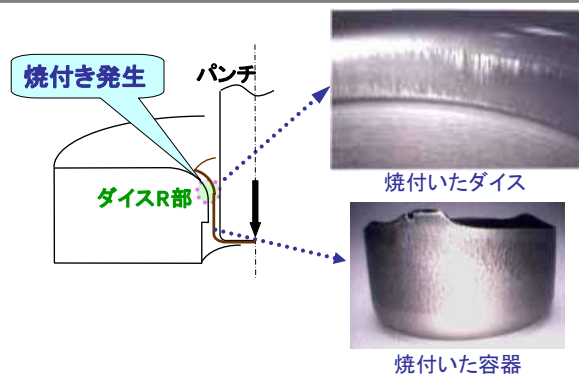
引張り試験



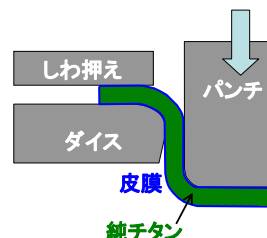
$$r = \epsilon_w / \epsilon_t$$

n値, r値大: 深絞り性大

高い親和性の純チタン板の深絞り加工における焼付き

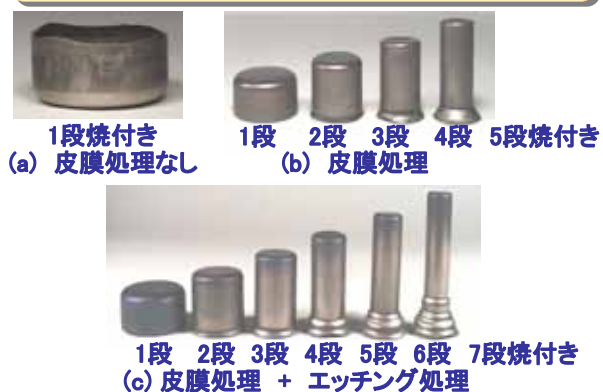


焼付き防止のための表面皮膜



- 陽極酸化皮膜処理
- 大気酸化皮膜処理
- 市販材（カラーチタン，窒化チタン）

超硬合金ダイスにおける陽極酸化皮膜による焼付き防止

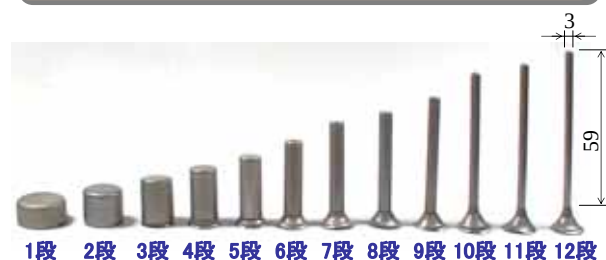


アルミ青銅ダイスによる焼付き防止

- ・ 焼付き防止効果が高い



陽極酸化皮膜とアルミ青銅ダイスを用いた多段深絞り加工



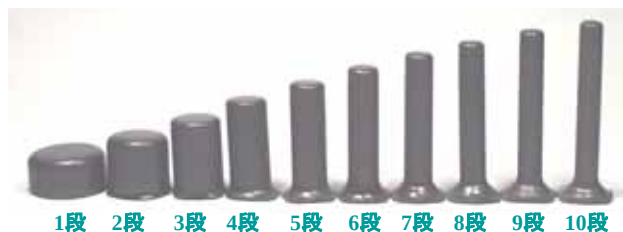
大気酸化皮膜処理

エメリー研磨
#120, 240, 400, 800

洗浄

大気酸化皮膜処理
炉中で500℃, 600℃
0.5～8時間

大気酸化皮膜とアルミ青銅ダイスを用いた 多段深絞り加工



市販材料の利用

陽極酸化皮膜処理
大気酸化皮膜処理

生産工程において
大きな負担



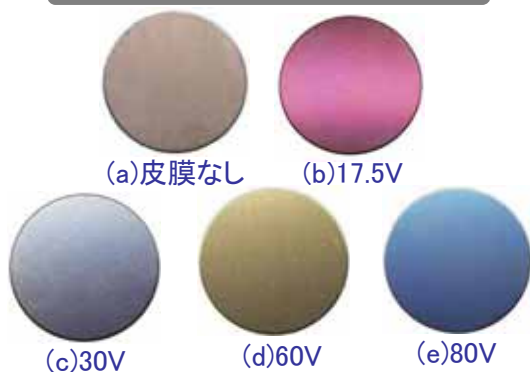
量産化

市販材料

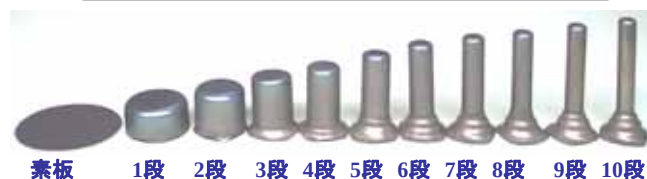
・カラーチタン板
・窒化チタン板

皮膜処理済み

カラー純チタン板 (JIS2種)



カラーチタン板を用いた多段深絞り加工



皮膜処理された純チタン板

皮膜処理法	窒化皮膜	陽極酸化皮膜 (カラー純チタン)
処理条件	窒素雰囲気焼鈍	処理電圧 80V
皮膜厚さ	窒化皮膜 2.2 μm	酸化皮膜 0.29 μm
材種	純チタンJIS1種	純チタンJIS2種
プランク	直径 ϕ 32.3mm 板厚 0.5mm	

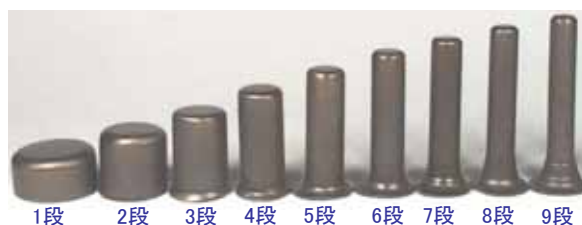


(a) 窒化皮膜

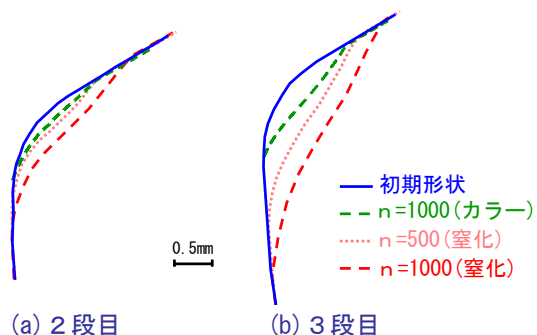


(b) カラー純チタン

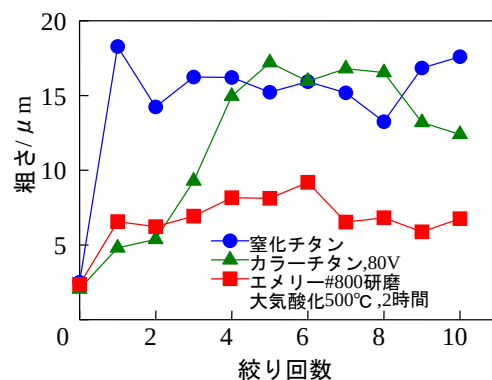
窒化皮膜チタン板を用いた多段深絞り加工



アルミ青銅ダイスにおけるダイス角部の摩耗



多段深絞り加工における表面粗さの変化



高耐食性チタンケースを用いた温度センサー (株野口製作所製)

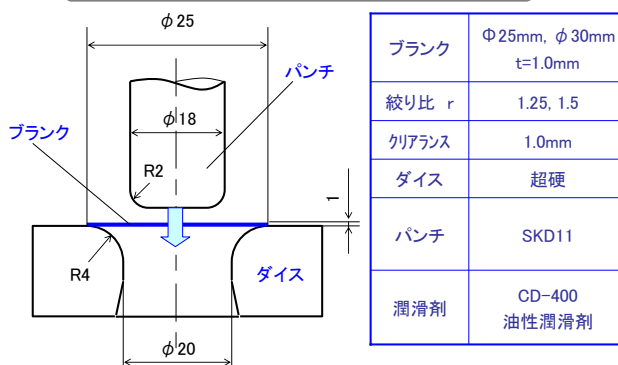


1. 純チタン板の多段深絞り加工における焼付き防止
2. β 型チタン合金板の多段深絞り加工における割れ防止

冷間プレス成形できるチタン合金板

チタン合金	β 型	α 型
主要成分	Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al	Ti-1.5Al
引張強さ / MPa	821	467
全伸び / %	21	35
F値 / MPa	930	718
n値 / MPa	0.04	0.16
硬さ / HV	277	224

チタン合金板の絞り加工条件



チタン合金板の絞り容器



(a) β 型, $r=1.25$



(b) β 型, $r=1.5$

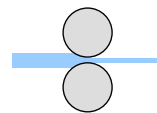
5mm



(c) α 型, $r=1.25$

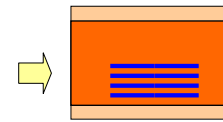
実験方法

- ・深絞り製品の板厚 : 0.3~0.5mm
- ・チタン合金板薄板材の入手が困難



《多段圧延》
板厚
1.0mm→0.5mm

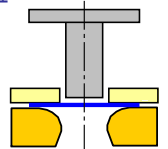
結晶粒粗大化防止



《大気酸化皮膜処理》
 β 変態点 730°C

皮膜処理温度の影響

600°C , 750°C , 800°C



《多段深絞り加工》
1段~10段

β 型チタン合金板

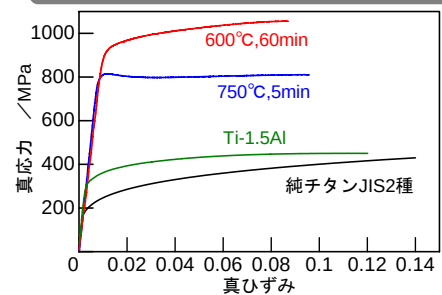


大気酸化皮膜処理 直径 32.3mm
チタン合金板 板厚 0.5mm

大気酸化皮膜処理	結晶粒 / μm
無し ($t=1.0\text{mm}$)	89.5
$600^{\circ}\text{C}-60\text{min}$	54.3
$750^{\circ}\text{C}-5\text{min}$	68.8
$800^{\circ}\text{C}-5\text{min}$	83.6

実験材料	引張り強さ	全伸び	n値
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	804MPa	15.5	0.08

熱処理後の応力-ひずみ曲線



熱処理	引張り強さ	全伸び	絞り
750°C, 5min	805.3MPa	14.0%	25.3%
600°C, 60min	976.7MPa	10.2%	9.6%

600°C , 60min 大気酸化皮膜処理



1段

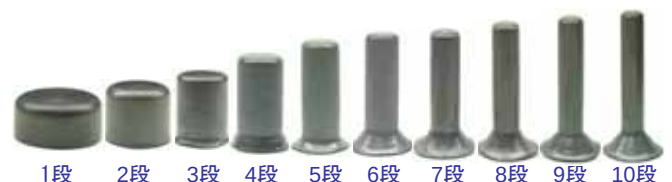
2段

3段

加工限界: 2段

低い延性

750°C , 5min 大気酸化皮膜処理



1段

2段

3段

4段

5段

6段

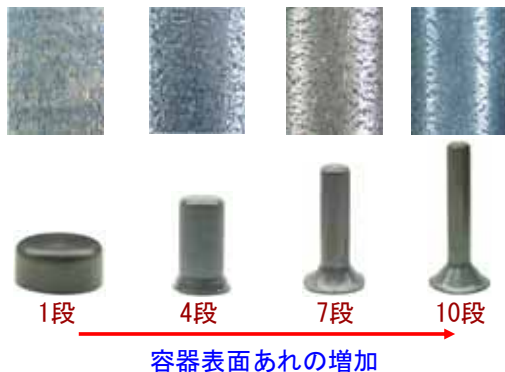
7段

8段

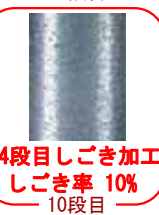
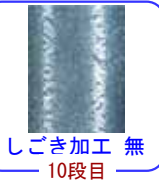
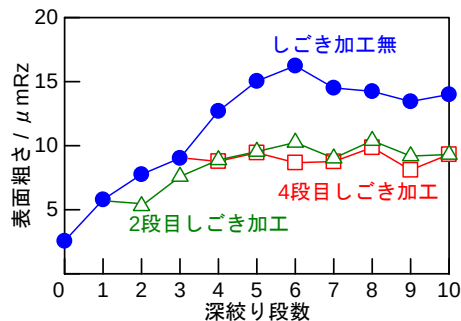
9段

10段

深絞り容器の表面性状



しごき絞り加工による表面粗さ改善



チタン深絞り加工, まとめ

焼付き防止: 陽極・大気酸化皮膜, カラー・窒化チタン, アルミ青銅ダイス

β型チタン合金: 750~800℃の大気酸化皮膜処理, 延性の回復

多段絞り加工可能

マグネシウム合金部品の製造

○ダイカスト

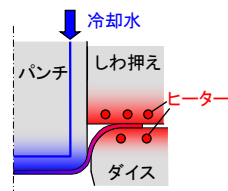
薄肉化, 高強度化
生産性向上

○プレス成形

温間 (200~300℃): 装置複雑
冷間: 成形性低

冷間での成形性向上

温間プレス成形品



1. マグネシウム合金板の機械的特性

2. 冷間円筒・角筒深絞り加工

3. 小さな底角半径を持つ円筒容器の冷間2段プレス成形法

4. 小さな底角半径を持つ角筒容器の冷間2段プレス成形法

市販マグネシウム合金板の冷間深絞り加工

展伸用材

AZ31マグネシウム合金板, 0.5mm

(mass%)

Al	Zn	Mn
2.5~3.5	0.7~1.3	0.20~0.35



市販材に対し, 冷間において
深絞り加工を行う

成形性の評価
成形性の向上

焼なまし処理による成形性の変化 (絞り比=1.32)



(a) 焼なまし無し

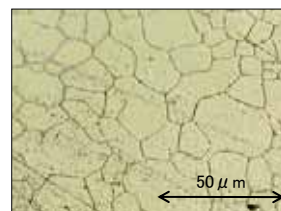


(b) 焼なまし有り(500°C, 1h)

焼なまし処理による組織の変化



(a) 焼なまし無し

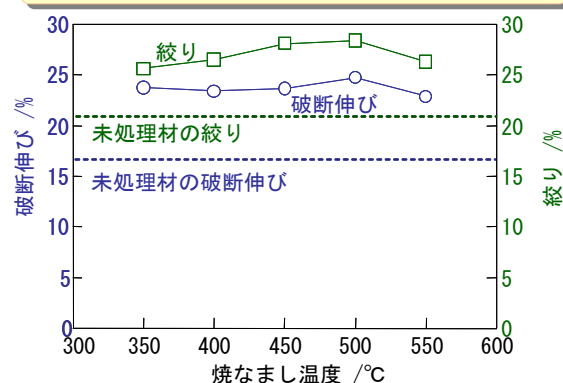


(b) 焼なまし有り

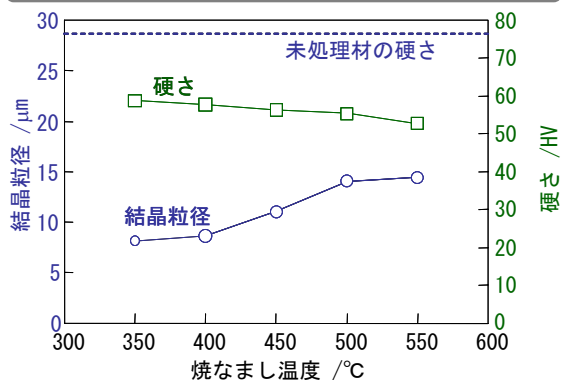
マグネシウム合金板の機械的性質

	焼なまし無し	焼なまし有り 500°C, 1h
耐力 / MPa	214	153
引張強さ / MPa	274	247
ビッカース硬さHv	61.6	55.5
伸び / %	17.6	22.4
r値	1.33	1.50
n値	0.14	0.32
絞り比=1.32		

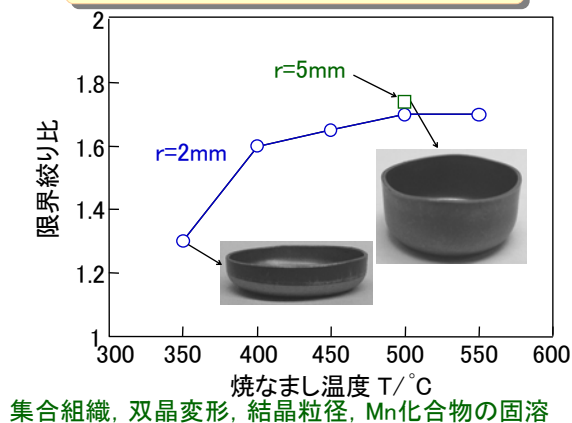
破断伸びおよび絞りと焼なまし温度の関係



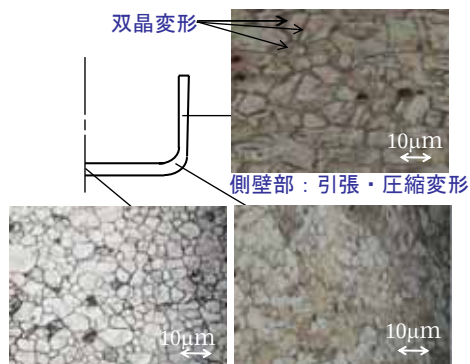
結晶粒径および硬さと焼なまし温度の関係



限界絞り比と焼なまし温度の関係



深絞り容器の各部における組織写真

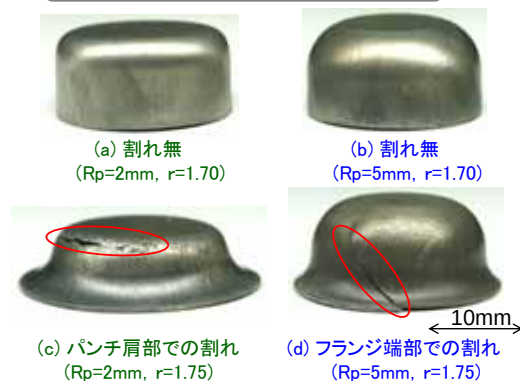


1. マグネシウム合金板の機械的特性
2. 冷間円筒・角筒深絞り加工
3. 小さな底角半径を持つ円筒容器の冷間2段プレス成形法,
4. 小さな底角半径を持つ角筒容器の冷間2段プレス成形法

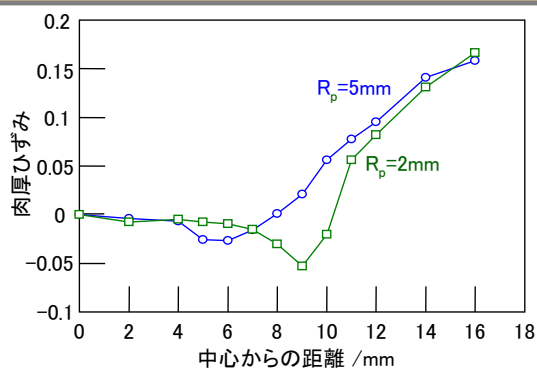
冷間円筒深絞り加工条件

パンチ	パンチ直径 D_p / mm	18.6, 18.8, 19.0
	パンチ肩半径 R_p / mm	2, 5
	クリアランス / mm	0.5, 0.6, 0.7
ダイス	ダイス直径 D_d / mm	20
	ダイス肩半径 R_d / mm	4
ブランク板厚 / mm		0.5
パンチ速度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$		15
しわ押え力 / kN		1
潤滑剤		アルミニウム用油性潤滑剤 二硫化モリブデン テフロンシート ($t=0.05\text{mm}$) テフロンスプレー

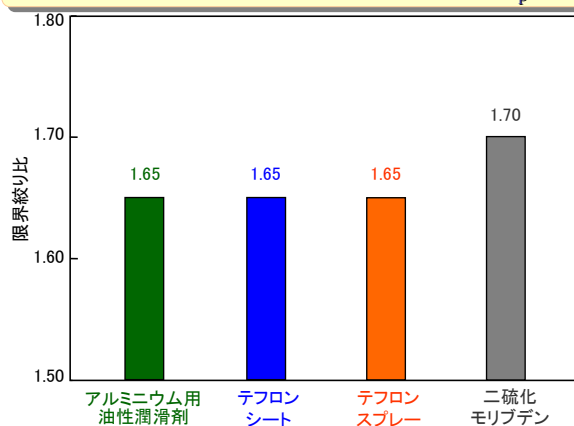
円筒容器外観写真



各パンチ肩半径における肉厚ひずみ分布 (絞り比1.65)



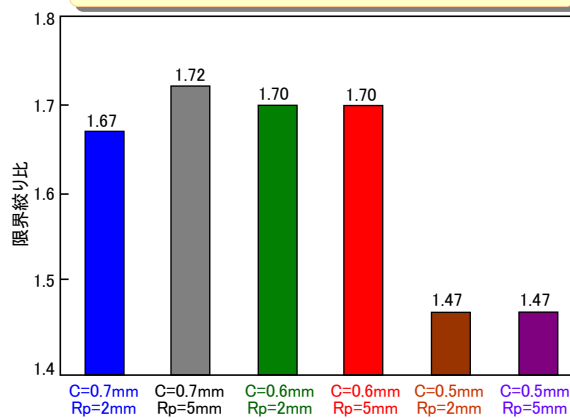
各潤滑剤における限界絞り比($C=0.6\text{mm}$, $R_p=2\text{mm}$)



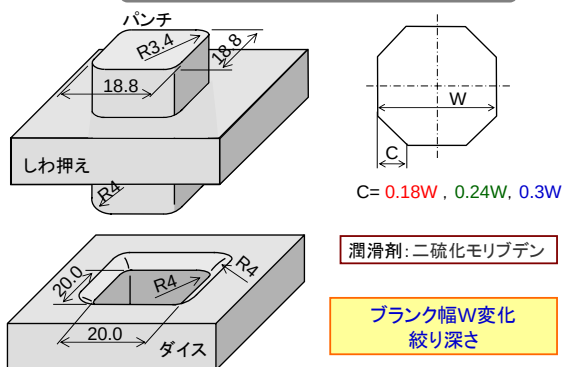
割れの形態

	C=0.5mm	C=0.6mm	C=0.7mm
Rp=2mm	 剥れ ($r=1.56$)	 肩割れ ($r=1.75$)	 肩割れ ($r=1.77$)
Rp=5mm	 剥れ ($r=1.56$)	 フランジ割れ ($r=1.75$)	 フランジ割れ ($r=1.77$)

各パンチ形状における限界絞り比



冷間角筒深絞り加工条件



角筒容器外観



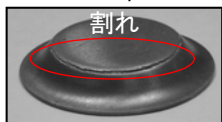
1. マグネシウム合金板の機械的特性
2. 冷間円筒・角筒深絞り加工
3. 小さな底角半径を持つ円筒容器の冷間2段プレス成形法
4. 小さな底角半径を持つ角筒容器の冷間2段プレス成形法

これまでの冷間深絞り加工実験結果



角半径減少のための冷間2段プレス成形

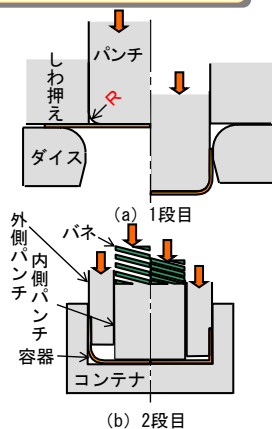
$$\beta = 1.72$$



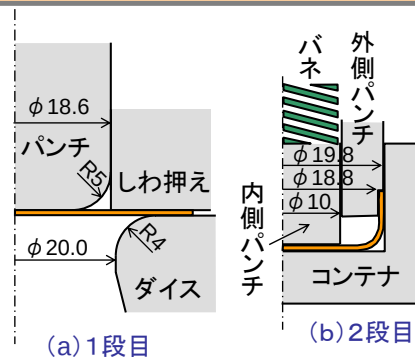
(a) $R_p = 1\text{mm}$



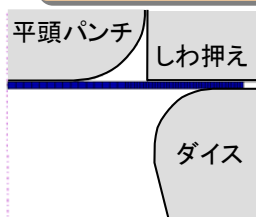
(b) $R_p = 5\text{mm}$



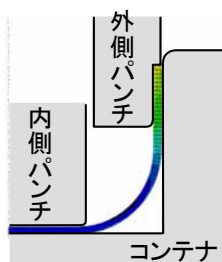
平頭パンチを用いた冷間2段プレス成形



平頭パンチを用いた冷間2段成形の有限要素シミュレーション結果

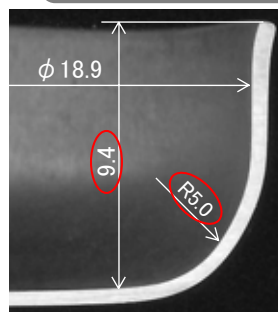


(a) 1段目

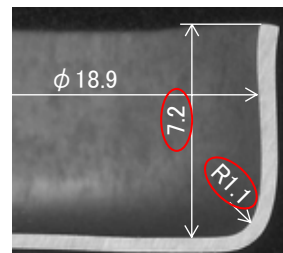


(b) 2段目

平頭パンチを用いた冷間2段成形による容器断面形状実験結果

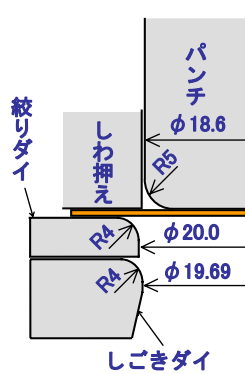


(a) 1段目



(b) 2段目 ($s=2.6\text{mm}$)

側壁高さ増加のためのしごき加工

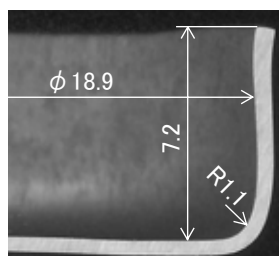


(a) $a=20\%$

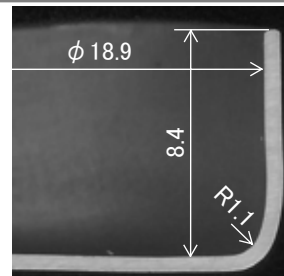


(b) $a=25\%$

平頭パンチおよび平頭パンチとしごき加工を用いた冷間2段成形後の断面形状の比較

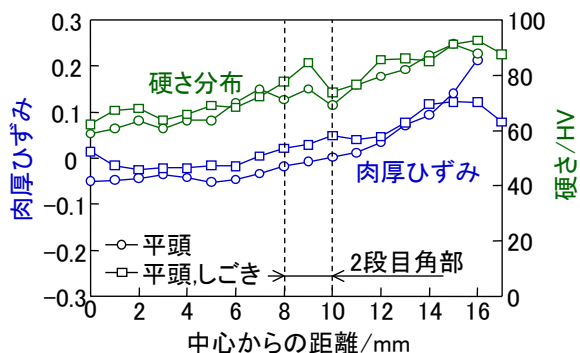


(a) 平頭パンチ ($s=2.6\text{mm}$)



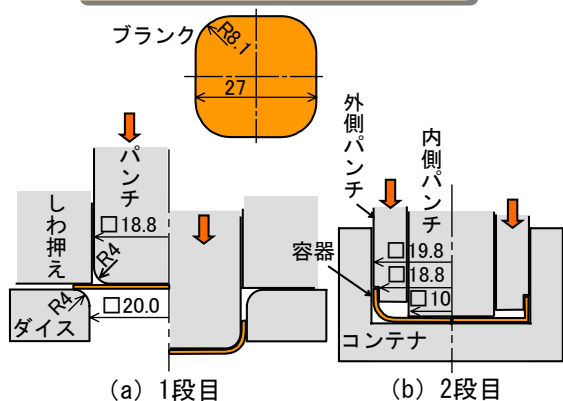
(b) 平頭パンチ, 20% しごき ($s=2.8\text{mm}$)

肉厚ひずみおよび硬さ分布の比較



1. マグネシウム合金板の機械的特性
2. 冷間円筒・角筒深絞り加工
3. 小さな底角半径を持つ円筒容器の冷間2段プレス成形法,
4. 小さな底角半径を持つ角筒容器の冷間2段プレス成形法

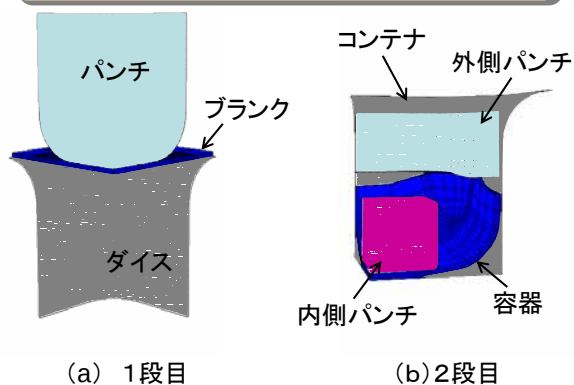
角筒容器の冷間2段成形



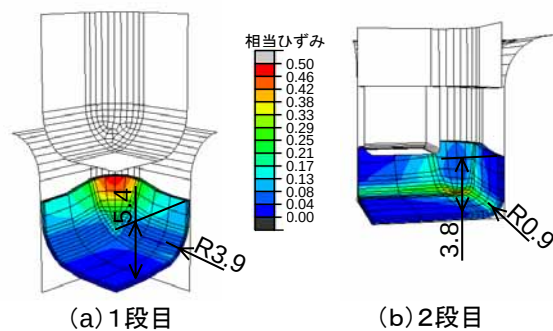
角筒容器の限界絞り比



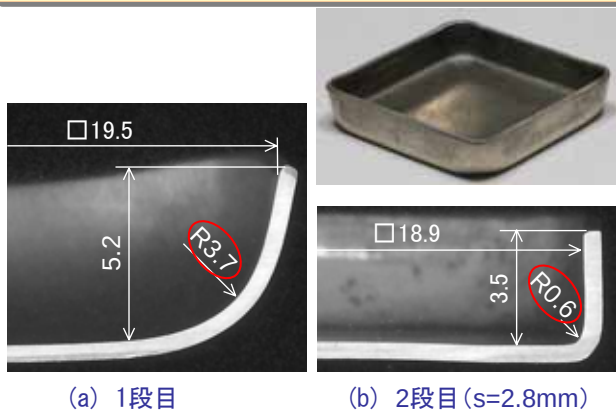
平頭パンチを用いた冷間2段角筒成形の有限要素シミュレーション結果



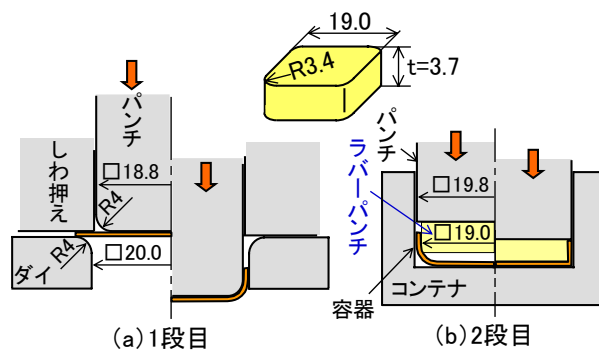
平頭パンチを用いた冷間2段角筒成形の有限要素シミュレーション結果



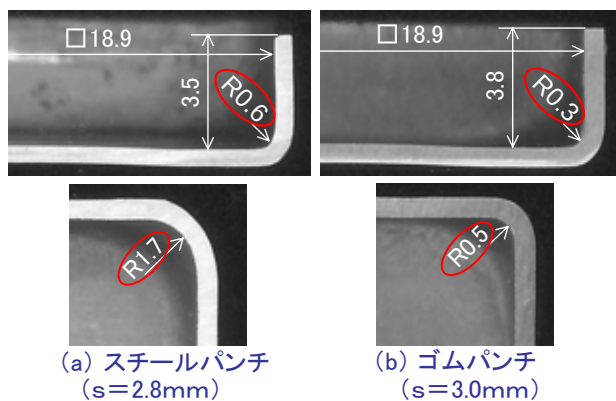
2段成形された角筒容器の平行方向断面実験結果



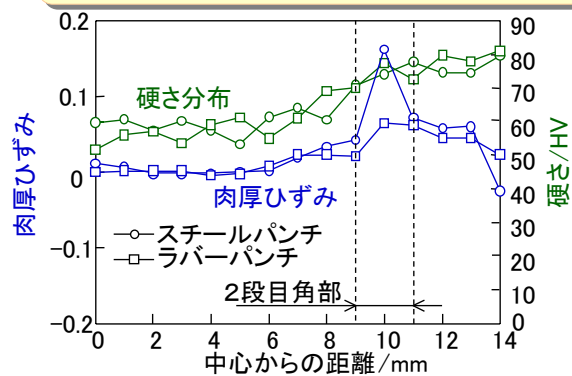
2段目にゴムパンチを用いた角筒容器の冷間2段プレス成形



角筒容器の精度向上実験結果



スチールパンチとラバーパンチの硬さおよび肉厚ひずみの比較



マグネシウムプレス成形, まとめ

成形性向上 : 500°Cの高温焼なまし

2段プレス成形 : 底角半径の小さい容器を成形できた。

