高張力鋼板の冷間プレス成形

豊橋技術科学大学　森謙一郎

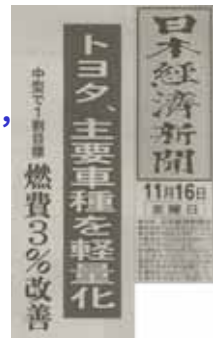
1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

ー　軽量自動車部品の成形　ー

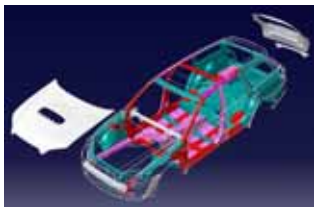
100kg軽量：1km/l燃費向上

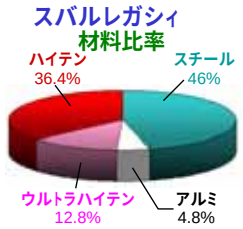
軽量材料の成形
- 超高張力鋼板
- アルミニウム，マグネ，チタン

平成19年



自動車車体への高張力鋼板の適用

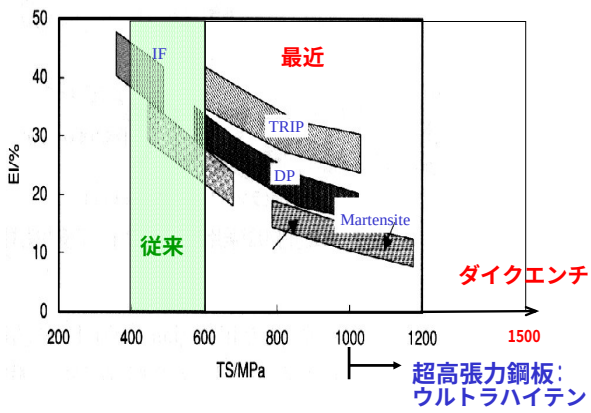




トヨタ クラウン，骨格部材の45%が高張力鋼板

骨格部材：36%

高張力鋼板の強度

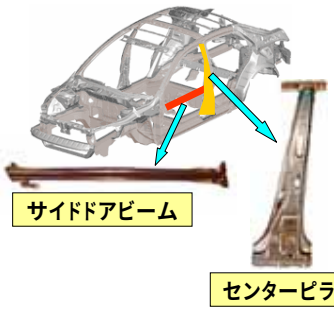


自動車用板材の比較

板材	引張強さ	比重	比強度	コスト(1kg当り)	生産量
ウルトラハイテン	980～1470MPa	7.8	126～188MPa	100円程度	鉄：12億ton
従来ハイテン	490～790MPa	7.8	63～101MPa		
軟鋼板 SPCC	340MPa	7.8	44MPa		
アルミ合金板 A6061(T6処理)	310MPa	2.7	115MPa	500円～600円	アルミ：3400万ton
マグネシウム合金板 AZ31	270MPa	1.8	137MPa	3000円程度	マグネ：60万ton

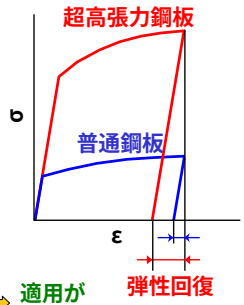
超高張力鋼板の自動車部材への適用

超高張力鋼板：1GPa以上



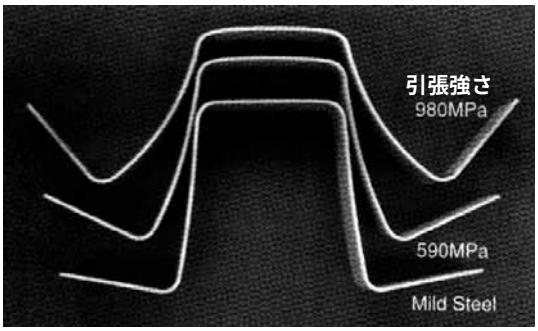
- 高強度
  プレス能力
  金型摩耗・破損
  スプリングバック
- 低延性
  割れ

超高張力鋼板のスプリングバック



スプリングバック：大
形状凍結性：低
⇒ 適用が限定

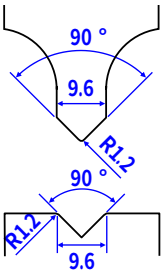
高張力鋼板のハット曲げにおけるスプリングバック

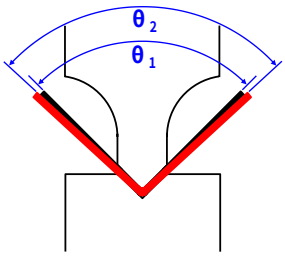


岩谷：プレス技術，42-8(2004)，43

1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

V曲げ加工における金型形状，決押し率・角度の定義





決押し率 $a = \frac{\text{圧下量}}{\text{初期板厚} \times \sqrt{2}}$

スプリングバック角度
$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

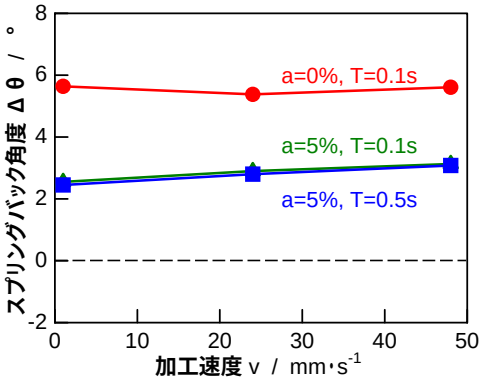
V曲げの変形挙動

(a) SPCC

(b) SPFC980Y

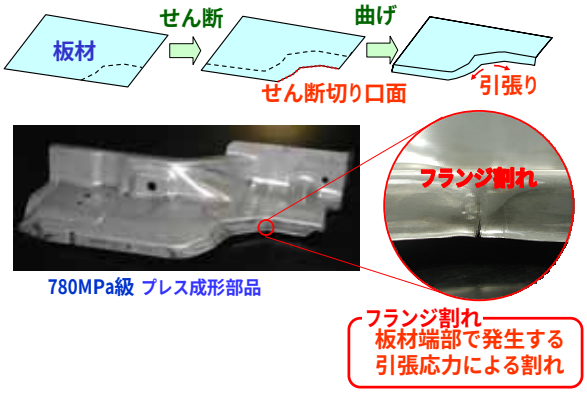
v=24mm/s, f=0%, T=0.5s

V曲げにおけるスプリングバック角度と加工速度の関係 (SPFC980Y)



1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

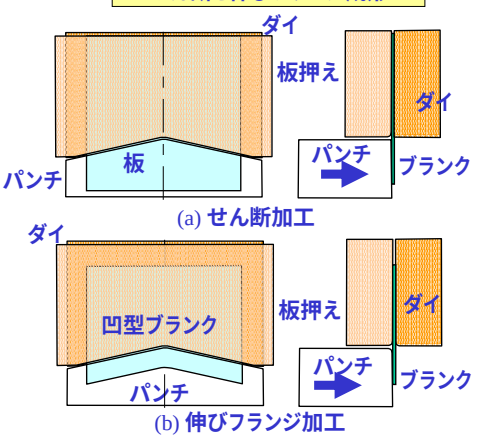
プレス成形におけるフランジ割れ



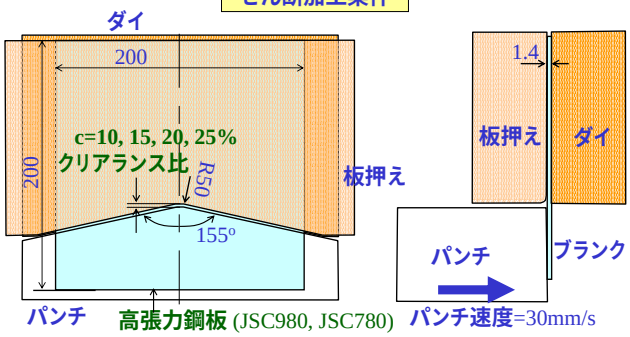
穴抜き･穴広げ加工される鋼板

材料名	板厚 mm	降伏応力 mm	引張強さ MPa	伸び %	n値
JSC270C	1.39	223	333	41.2	0.19
JSC390W	1.39	283	389	35.8	0.18
JSC440W	1.41	320	455	33.8	0.19
JSC590R	1.40	438	603	25.9	0.15
JSC780Y	1.47	558	823	19.0	0.12
JSC980Y	1.41	620	1027	18.7	0.12

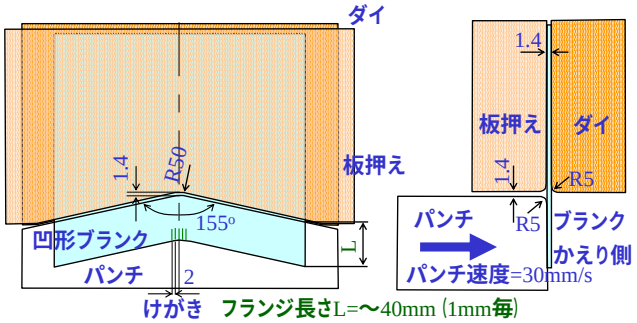
せん断と伸びフランジ成形



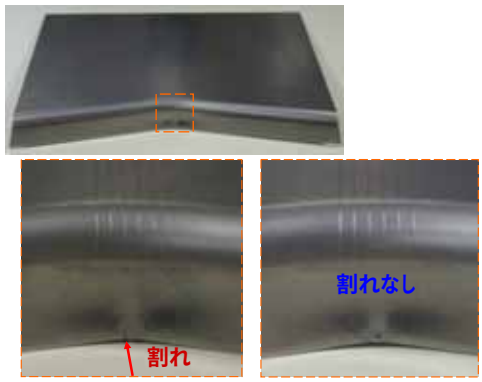
せん断加工条件



伸びフランジ成形条件

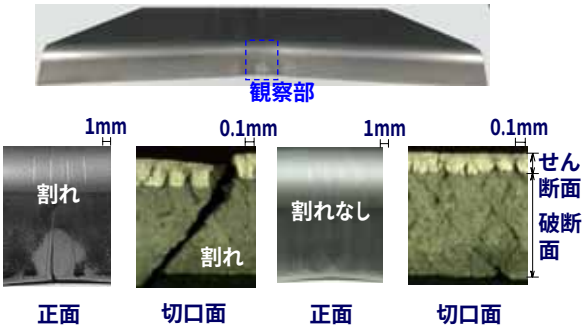


フランジ割れにおよぼすせん断クリアランス比の影響
(JSC780Y, L=17mm)



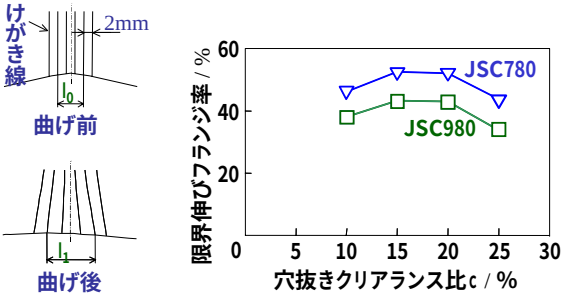
(a) c=25%　(b) c=15%

実験による限界伸びフランジ率におよぼすせん断クリアランス比の影響 (JSC980Y, L=15mm, 平坦パンチ)



(a) c =20%　(b) c =15%

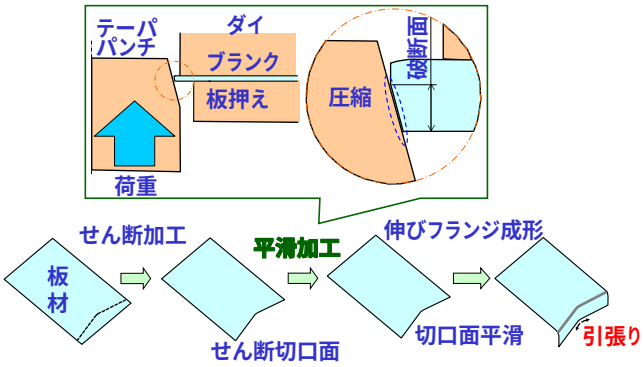
限界伸びフランジ率とクリアランス比の関係



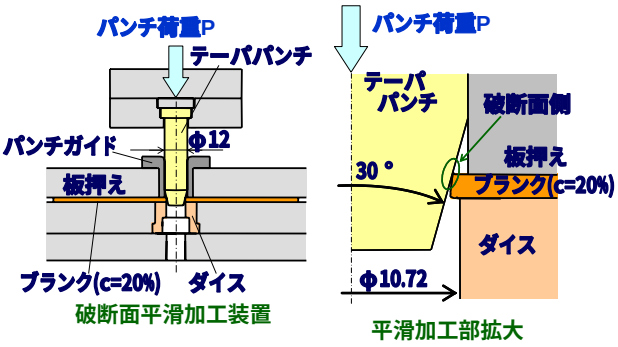
$$伸びフランジ率 = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100/\%$$

1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

破断面平滑化の導入

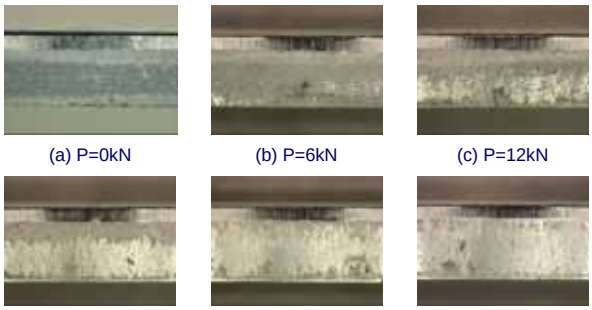


破断面平滑加工法



破断面の凹凸を平滑化 ➡ 切欠き効果の低減

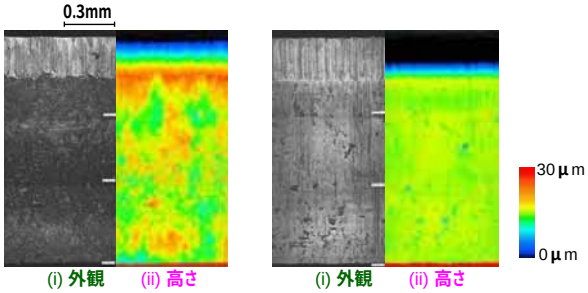
穴抜き加工された板材の平滑加工におけるせん断切口面 (JSC980Y)



(a) P=0kN (b) P=6kN (c) P=12kN

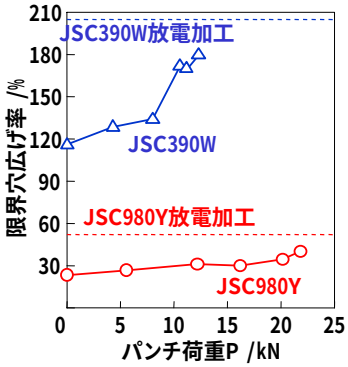
(d) P=16kN (e) P=20kN (f) P=22kN

破断面平滑加工後のせん断切口面(JSC980Y)

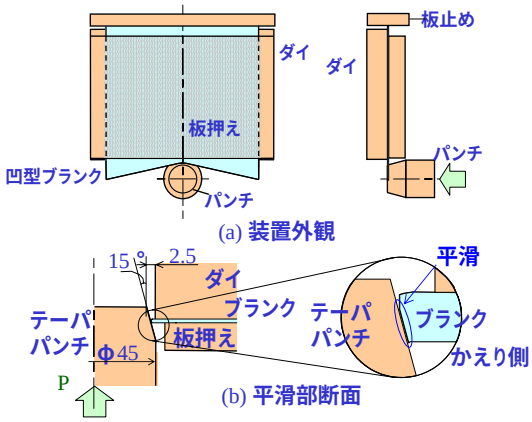


(a) P=0kN(穴抜き後) (b) P=22kN(破断面平滑加工後)

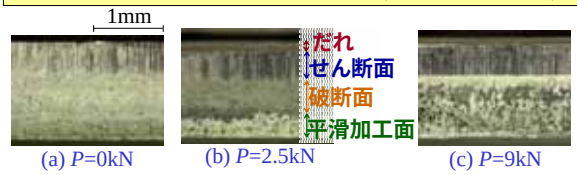
破断面平滑加工による限界穴広げ率の向上



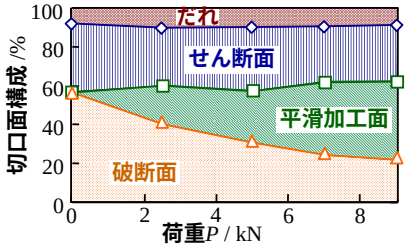
テーパパンチによる破断面平滑加工



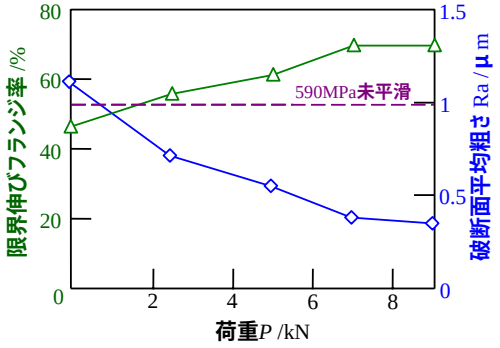
平滑化後の切口面の構成比 (JSC780, c=20%)



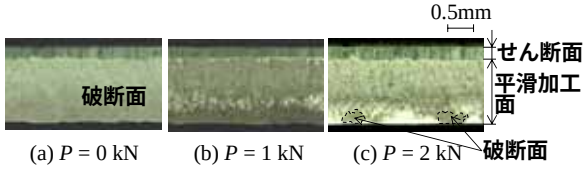
(a) P=0kN (b) P=2.5kN (c) P=9kN



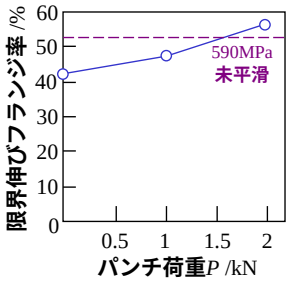
平滑化による限界伸びフランジ率の向上
(JSC780, c=20%)



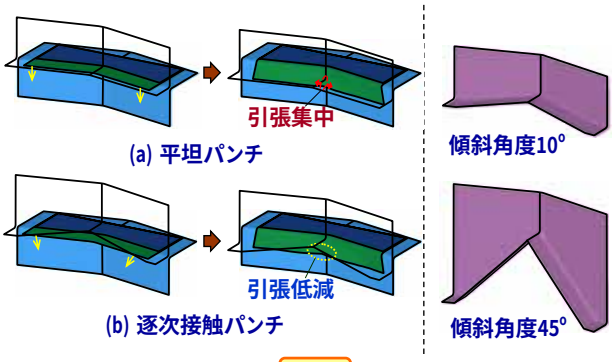
破断面平滑加工前後の切口面 (JSC980Y, c=15%)



破断面平滑化による伸びフランジ成形性の向上 (JSC980Y, c=15%)



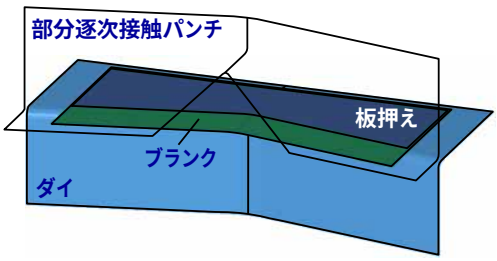
1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

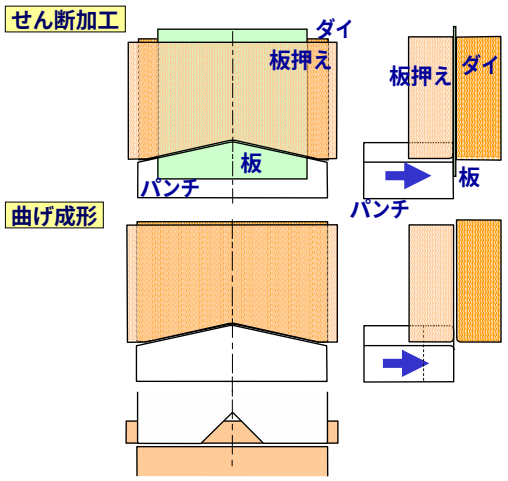


目 的

超高張力鋼板における伸びフランジ割れを防止する逐次接触パンチ形状の最適化

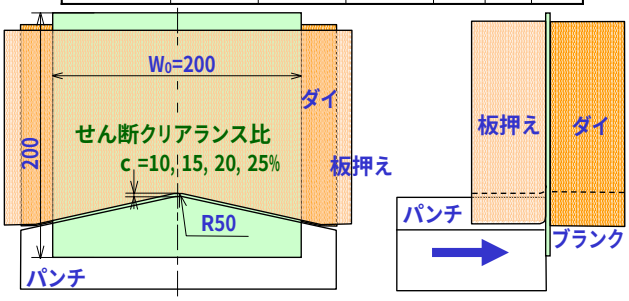
部分逐次接触パンチによる伸びフランジ曲げ成形



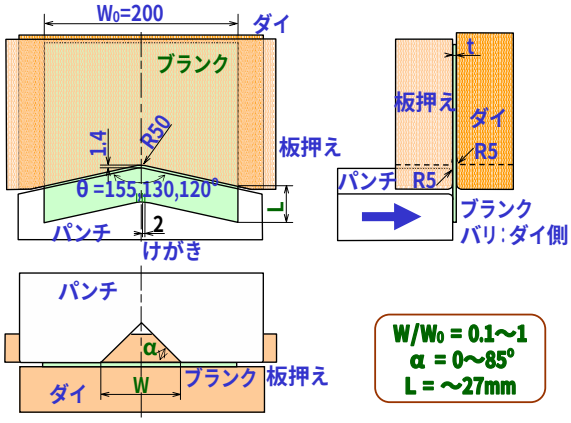


超高張力鋼板とせん断加工条件

板厚	公称板厚 /mm	降伏応力 /MPa	引張強さ /MPa	伸び /%	絞り /%	n値
JSC780Y	1.4	395	847	18.8	66	0.15
JSC980Y	1.4	660	1014	16.4	45	0.15
JSC1180Y	1.2	864	1209	10.8	46	0.14

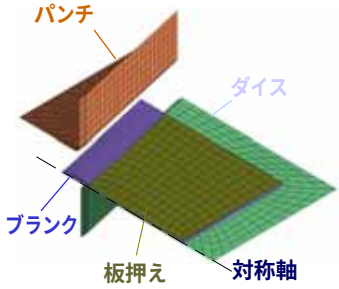


伸びフランジ曲げ成形条件



W/W0 = 0.1～1
α = 0～85°
L = ～27mm

伸びフランジ曲げ成形の解析条件

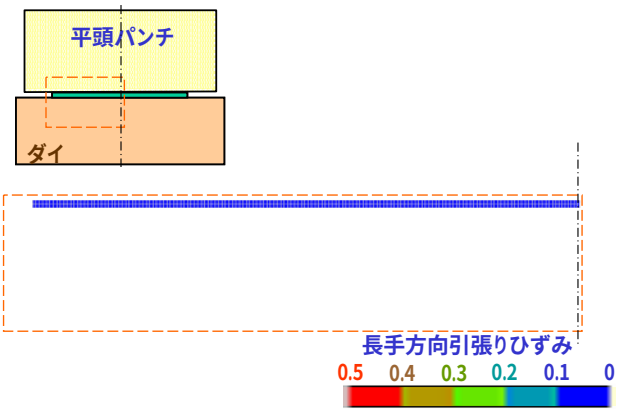


(a) 解析モデル

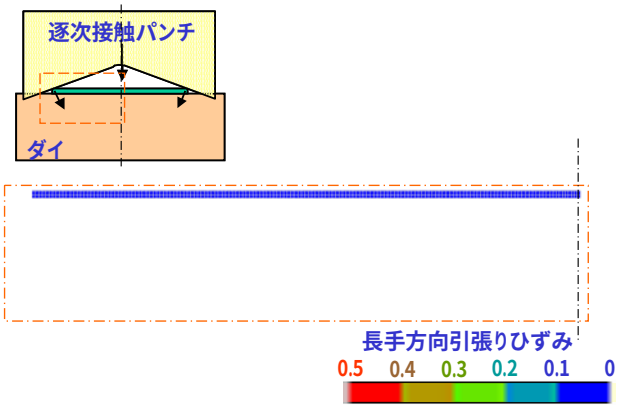
(b) 解析条件

計算ソフト	LS-DYNA
計算モデル	1/2対称
板材	弾塑性体シェル要素
金型の要素	剛体シェル要素
摩擦係数	0.15
パンチ下降速度	100mm/s

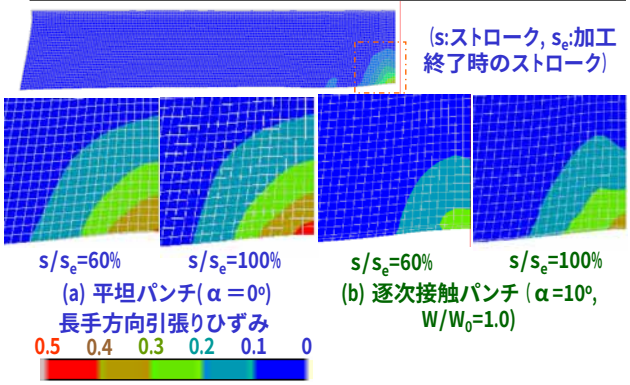
平坦パンチによる長手方向の引張りひずみ分布
（JSC780, α=0°，L=18mm）



逐次接触パンチによる長手方向の引張りひずみ分布
（JSC780, α=10°, W/W0=1.0，L=18mm）



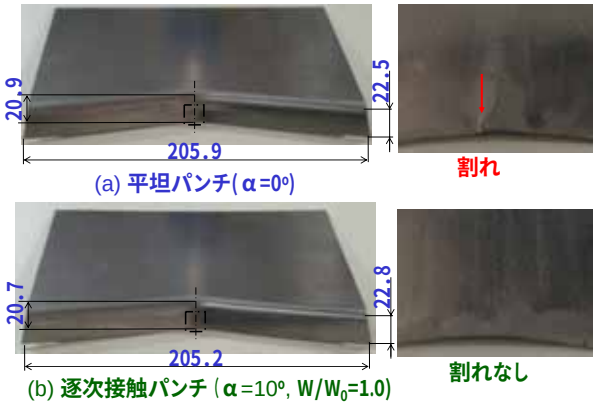
計算による長手方向引張りひずみの変化 (JSC780, L=17mm)



(a) 平坦パンチ(α＝0°)

(b) 逐次接触パンチ (α=10°, W/W_0=1.0)

逐次接触パンチによる割れの防止 (JSC780, L=18mm)



(a) 平坦パンチ(α=0°)

(b) 逐次接触パンチ (α=10°, W/W_0=1.0)

実験における部分逐次接触パンチによる最大製品高さの向上

(a) JSC980Y

(b) JSC1180Y

1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

アルミニウム板の接合

Audi_A2：アルミ自動車

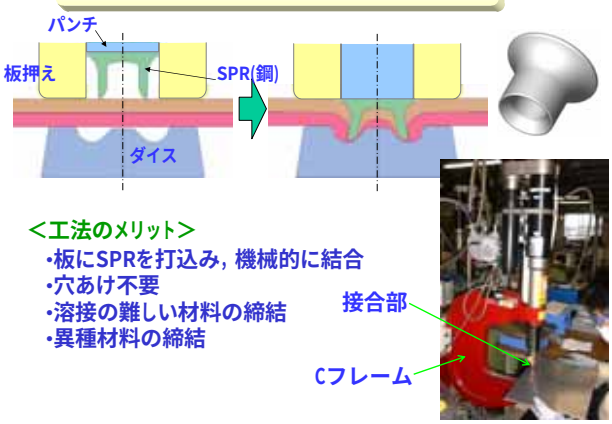
アルミニウム：溶接性が低い

セルフピアシングリベット

表

裏

セルフピアッシングリベット



＜工法のメリット＞
- 板にSPRを打込み，機械的に結合
- 穴あけ不要
- 溶接の難しい材料の締結
- 異種材料の締結

アルミニウム板と高張力鋼板の接合

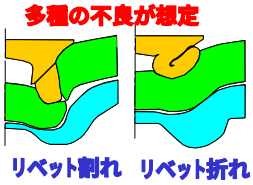
高張力鋼板

・高強度，高硬度 → リベット硬度に近い

・延性小

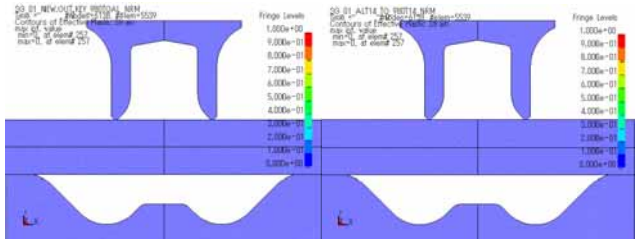
↓

多種の不良が想定



・ダイ形状の最適化
(ダイ径，深さ)

シミュレーションによる打ち込み



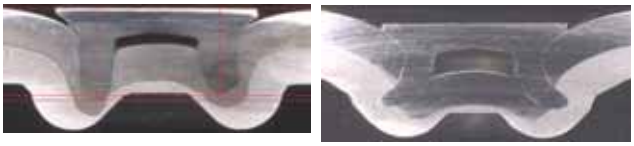
(a) 上板 SPFC980 t1.4,
下板 A5052 t1.5

(b) 上板 A5052 t1.5,
下板 SPFC980 t1.4

テーパーダイを使用した実験断面

(上板：SPFC980, t1.4, 下板：A5052, t1.5)

曲面ダイ → テーパーダイ形状



1．高張力鋼板とプレス成形
2．決押しによるスプリングバックの低減
3．伸びフランジ性における最適せん断クリアランス
4．伸びフランジ性を向上させる破断面平滑加工
5．伸びフランジ性を向上させる逐次接触パンチ
6．高張力鋼板とアルミニウム合金板の塑性接合

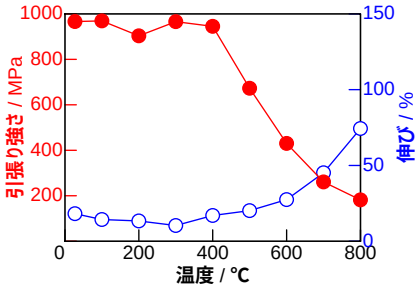
超高張力鋼成形品の熱間プレス成形

豊橋技術科学大学　森謙一郎

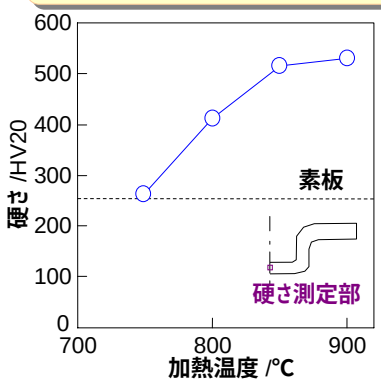
1．熱間プレス成形
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

超高張力鋼板の高温引張り特性

成形荷重低下，スプリングバックなし

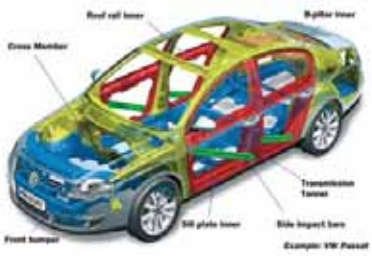


熱間プレス加工における ダイクエンチによる硬さの上昇



金型急冷による焼入れ，1.5GPa級

フォルクスワーゲン，パサート



フォルクスワーゲン パサート，骨格部材の16%が熱間プレス加工

アイシン高丘における熱間プレス成形品

熱間プレス加工，ホットスタンピング

熱間プレス加工，ホットスタンピング

熱間プレス加工の特徴

長所

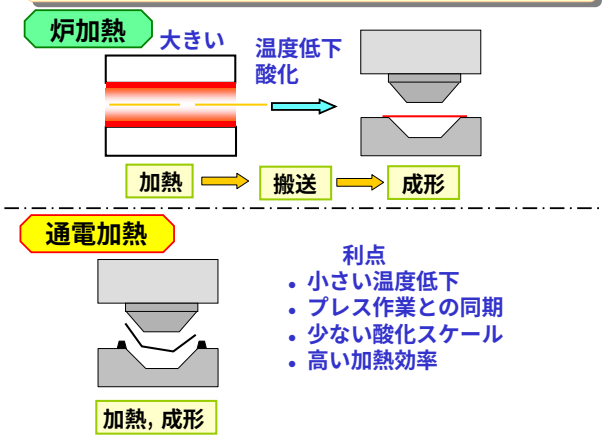
- 成形荷重低下
- スプリングバックなし
- 1.5GPa級成形品

短所

- 表面酸化
- 大型設備：加熱炉
- 低い生産性

1．熱間プレス成形
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

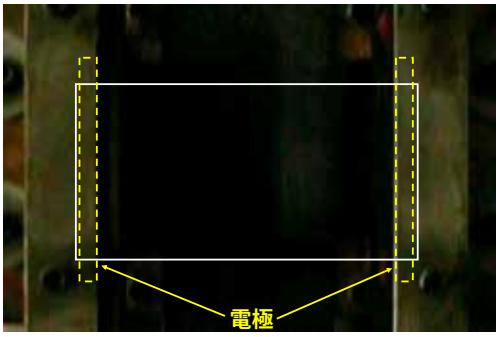
通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形



利点

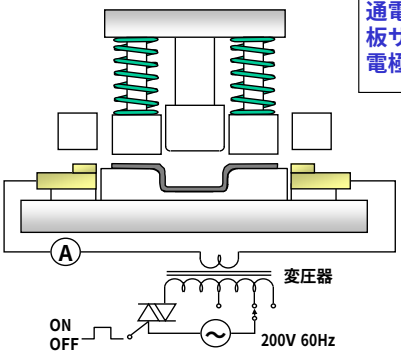
- 小さい温度低下
- プレス作業との同期
- 少ない酸化スケール
- 高い加熱効率

通電加熱の映像（ＳＰＦＣ980）



サーボプレス(80tonf)

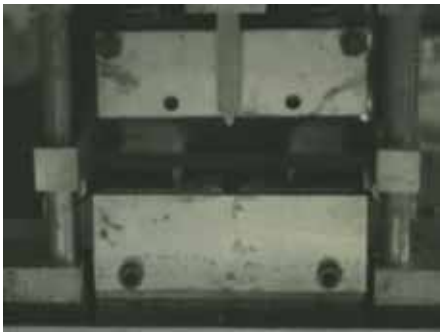
通電加熱ハット曲げ成形装置



実験条件
通電電圧：10V
板サイズ：130mm×20mm
電極中心間距離：120mm

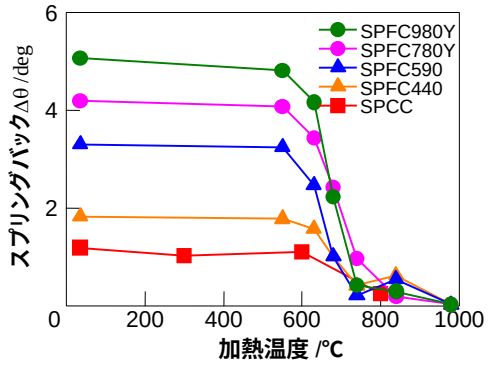
通電
(0.2秒)
プレス
3.5秒保持

980 ºCにおける通電加熱ハット曲げ成形

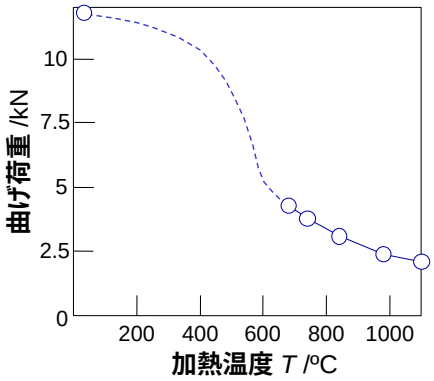


ハット曲げの成形体 (SPFC980Y)

ハット曲げ加工における スプリングバックと加熱温度の関係

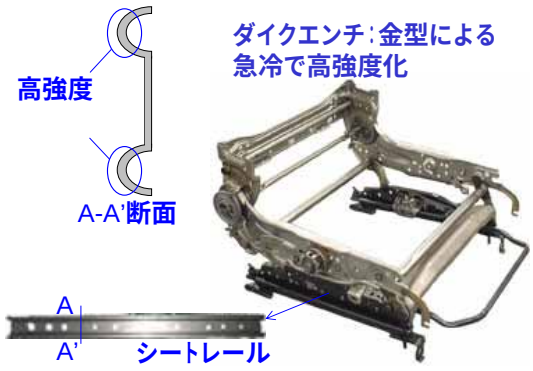


ハット曲げ加工における加工荷重と加熱温度の関係

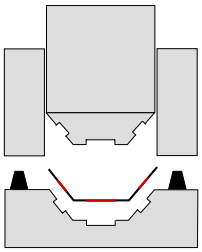


1．熱間プレス成形
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

熱間プレス成形における局部ダイクエンチ



局部ダイクエンチ



局部ダイクエンチ

ダイクエンチ
成形と同時に焼入れ
高強度 ⇨ 後加工困難

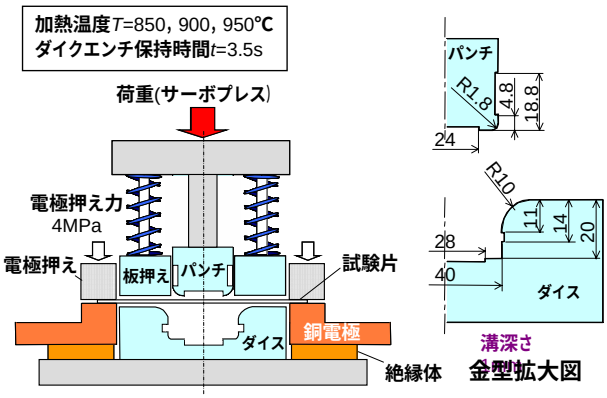
⇩

強度差をつけた製品の成形

⇩

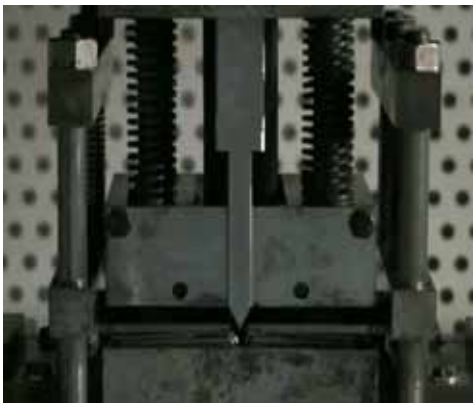
局部ダイクエンチ
金型との局部的な接触による
部分焼入れ

局部ダイクエンチハット曲げ成形装置

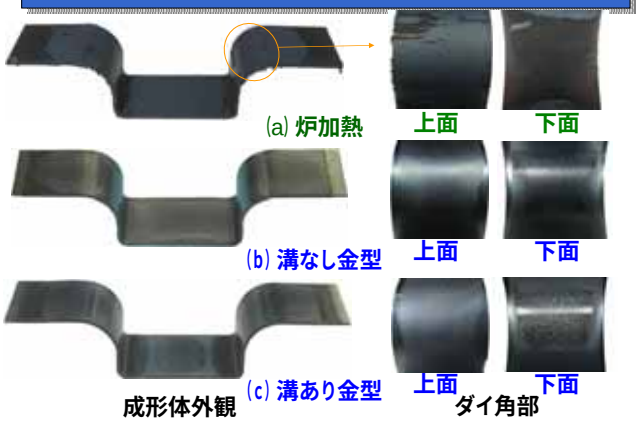


加熱温度900℃におけるハット曲げ成形

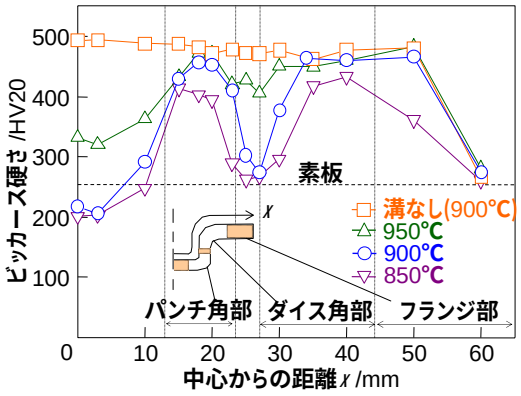
通電加熱
(加熱時間2.3s)
⇩
成形
⇩
ダイクエンチ
(保持時間3.5s)
⇩
成形完了



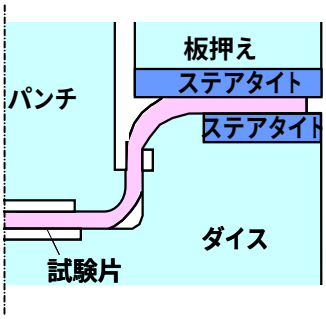
900℃におけるハット曲げ成形体酸化スケールの比較



溝あり金型によるハット曲げ成形体の長手方向硬さ分布



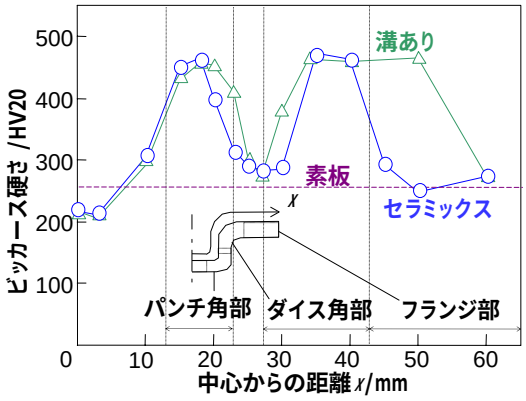
セラミックスフランジ部を用いた金型ハット曲げ成形



ステンレス鋼フランジ部を用いたダイクエンチにおける温度分布

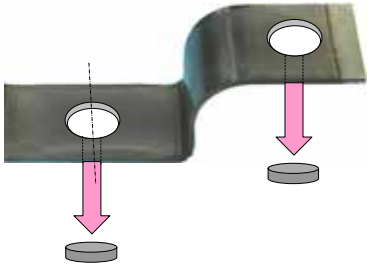
セラミックスフランジ部を用いたダイクエンチにおける温度分布

ハット曲げ成形体の長手方向硬さ分布

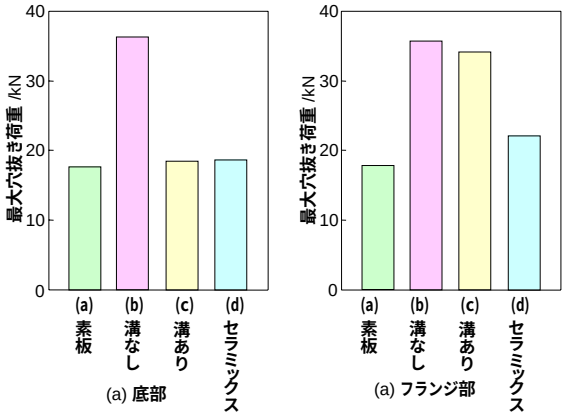


900℃ のハット曲げ成形品の底部中心の穴抜き加工

加工条件
パンチ直径 φ10
クリアランス 12%



(a) 底部中心 (b) フランジ部
(x=0mm) (x=55mm)



1．熱間プレス成形
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

プレコートスケール抑制剤

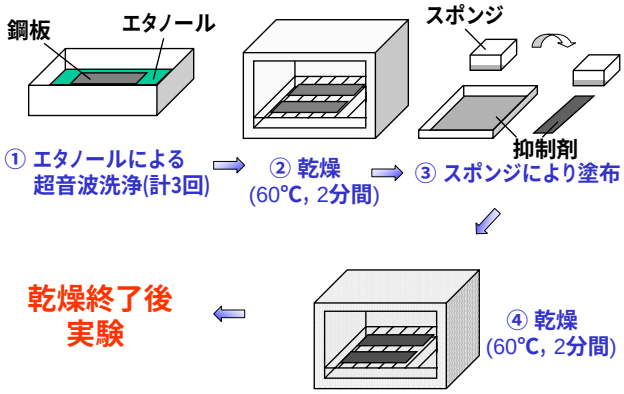
炉加熱による
熱間プレス成形品

900℃, 10s

大きな酸化

抑制剤	A	B
潤滑剤	ステンレス鋼板 温間プレス成形	チタン板 温間プレス成形
防錆元素	K,B,C,Na	K,B,C,Na,P,Ca
タイプ	液化皮膜	液化皮膜

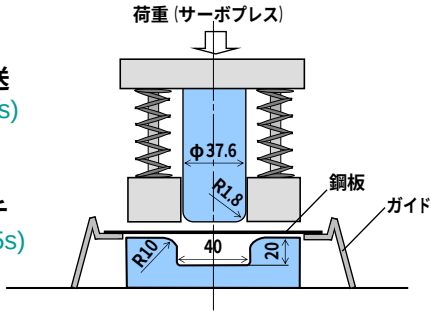
抑制剤塗布方法



プレコート抑制剤を用いたハット曲げ成形実験条件

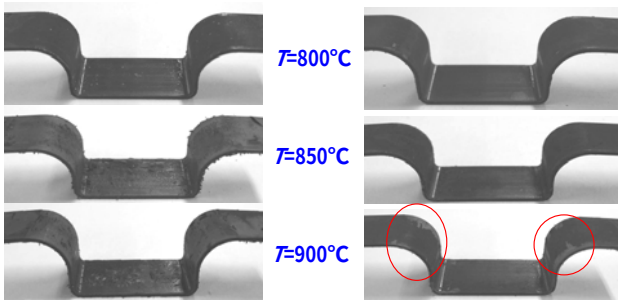
加熱温度：600, 700, 800, 850, 950, 950℃
試験片：長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm

炉加熱
↓
試験片搬送
(搬送時間5s)
↓
成形
↓
ダイクエンチ
(保持時間3.5s)
↓
成形完了



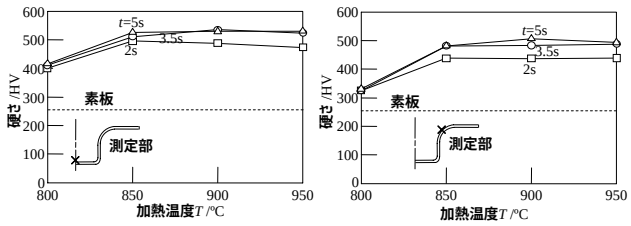
T=950℃におけるハット曲げ成形実験

ハット曲げ成形体外観



(a) n=1　　(b) n＝3

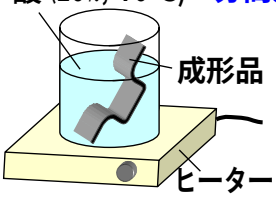
ハット曲げ成形体断面組織



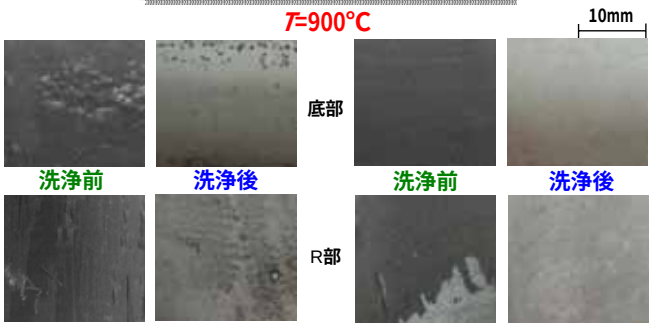
洗浄試験

成形後、鋼板表面に塗布された抑制剤を洗浄する

リン酸 (10%, 70°C) 2分間浸す



洗浄前後の底部表面写真

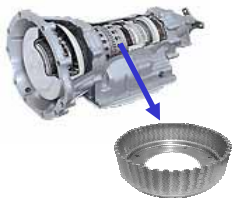


(a) n=1　　(b) n=3

若干の酸化の場合抑制剤成分と一緒に表面膜も除去可能

1．熱間プレス成形
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

通電加熱を用いた歯形容器の温･熱間スプライン成形



自動車用精密部品

高張力鋼板

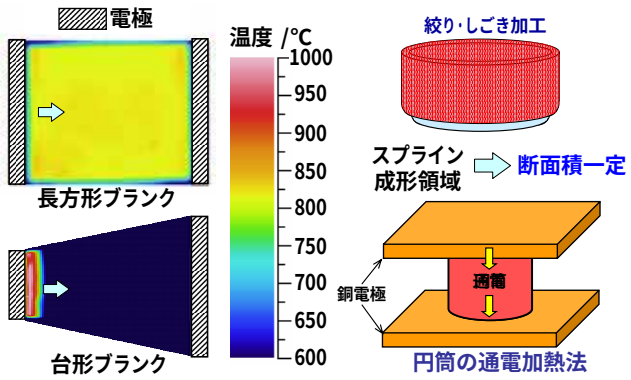
冷間加工
加工荷重大，成形性低

熱間加工
加工荷重低，成形性向上
ダイクエンチによる強度向上

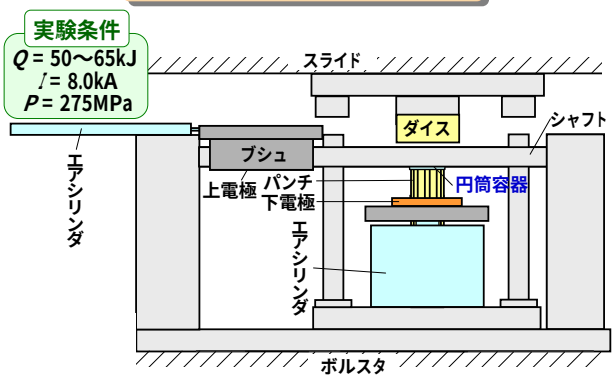
熱間歯形成形

通電加熱特性の調査および熱間歯形成形への適用

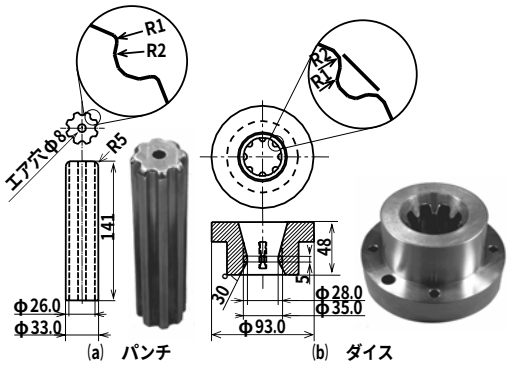
円筒端部からの給電による通電加熱



熱間スプライン成形装置

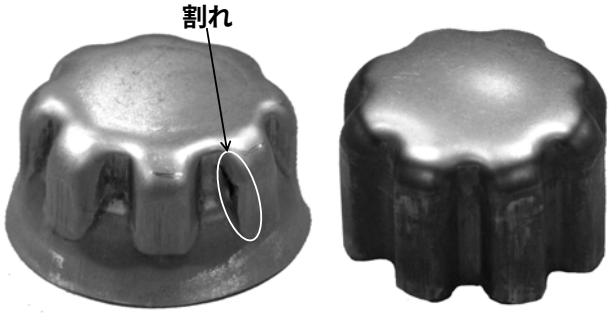


スプライン成形実験に用いたパンチ・ダイス形状



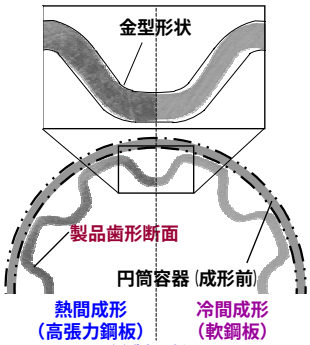
通電加熱を用いた熱間スプライン成形の様子 (Q=60kJ)

スプライン成形後の高張力鋼容器外観

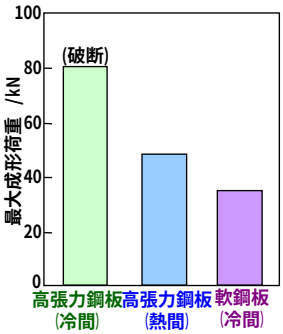


(a) 冷間成形 (途中)　　(b) 熱間成形 (Q=60kJ)

スプライン成形後の高張力鋼容器断面 (Q=60kJ)



(a) 製品断面

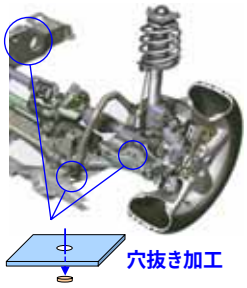


(b) スプライン成形の最大成形荷重

1．熱間プレス成形
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

超高張力鋼板の温･熱間せん断加工

高張力鋼板の適用
高強度･軽量化



高張力鋼板の冷間せん断加工

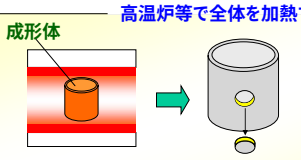
工具･金型
負担：大
破損･寿命：低

現状：レーザー加工，ワイヤーカット

局部通電加熱穴抜き加工の適用
加工荷重の低減

温･熱間穴抜き加工における問題点と局部加熱法

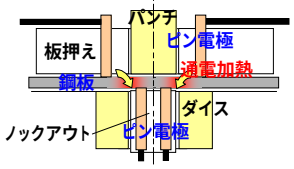
高温炉等で全体を加熱する方法



1）加熱効率が低い．
2）形状精度に影響．
3）加熱時間が長い．

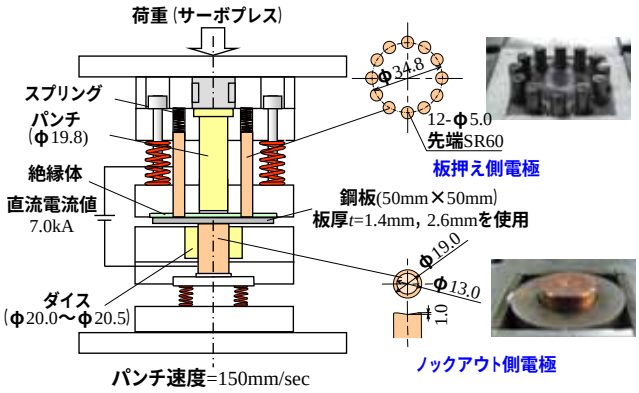
局部通電加熱せん断加工法

局部通電加熱せん断加工法

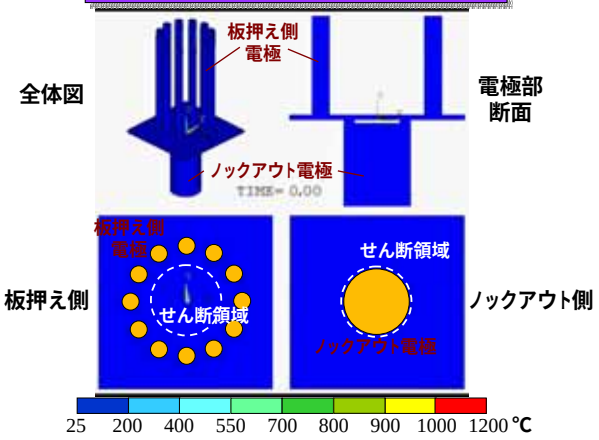


1）加熱効率が高い
2）金型内に設置可能
3）酸化が非常に少ない

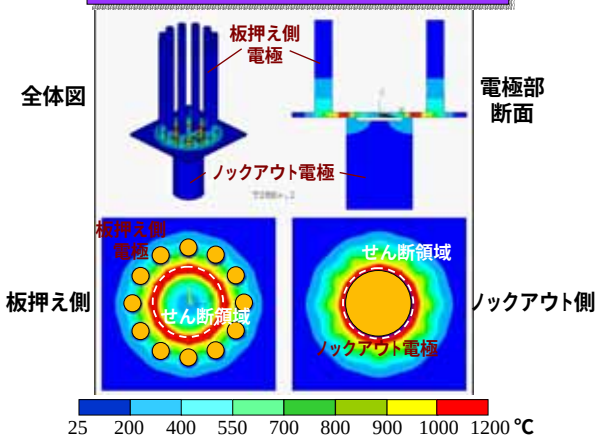
局部通電加熱せん断加工装置



局部通電加熱の温度分布



電極の冷却における温度分布

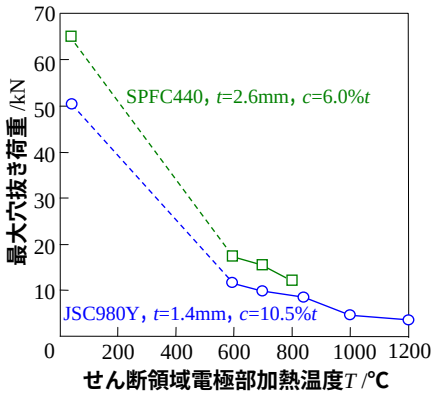


局部通電加熱せん断加工

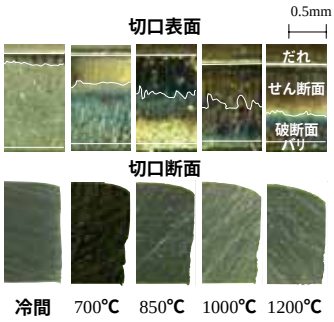
加熱の為に鋼板加圧 ➡ 加熱 ➡せん断加工

JSC980Y，t=1.4mm，T=1200℃(1.6sec)
パンチ速度 150mm/s，クリアランスc=10.5%t

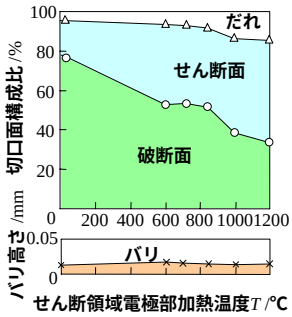
最大穴抜き荷重に及ぼす鋼板加熱温度の関係



板厚1.4mmのJSC980Y鋼板の穴抜き加工後切口面(c=10.5%t)



せん断領域電極部加熱温度における
せん断切口表面および切口断面



切口面構成比に及ぼす
せん断領域電極部加熱温度の関係

1．超高張力鋼板
2．通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3．熱間プレス成形における局部ダイクエンチ
4．熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5．通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6．温・熱間せん断加工

マグネシウム合金板の冷間プレス成形

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）

マグネシウム合金部品の製造

	マグネシウム合金板 (AZ31)	アルミニウム合金板 (A5052)	軟鋼板 (SPCC)
引張強度 / MPa	250	290	340
比重	1.8	2.7	7.8
比強度 / MPa	139	107	44

温間プレス成形品

○ダイカスト

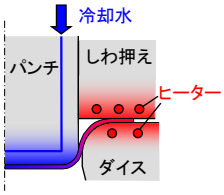
↓ 薄肉化，高強度化

生産性向上

○プレス成形

［温間（200～300℃）：装置複雑

冷間　　：成形性低］



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，曲げ加工

3．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

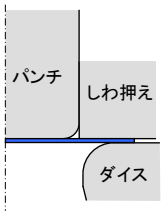
市販マグネシウム合金板の冷間深絞り加工

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**

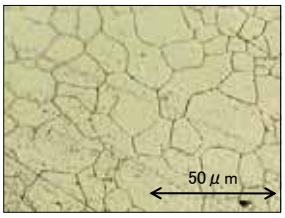
焼なまし処理による成形性の変化（絞り比＝1.32）

（a）焼なまし無し

（b）焼なまし有り(500℃, 1h)

焼なまし処理による組織の変化

（a）焼なまし無し

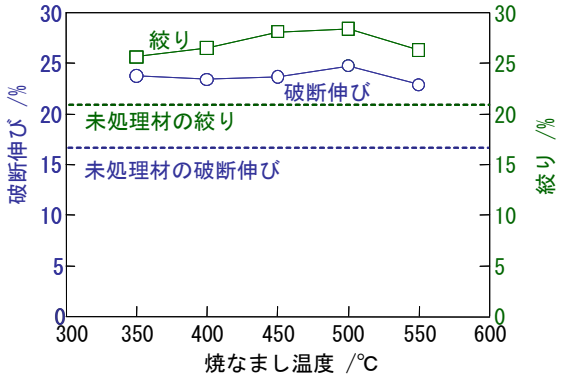


（b）焼なまし有り

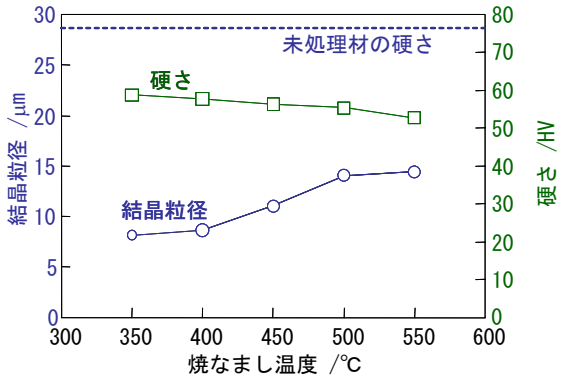
マグネシウム合金板の機械的性質

	焼なまし無し	焼なまし有り 500℃, 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		

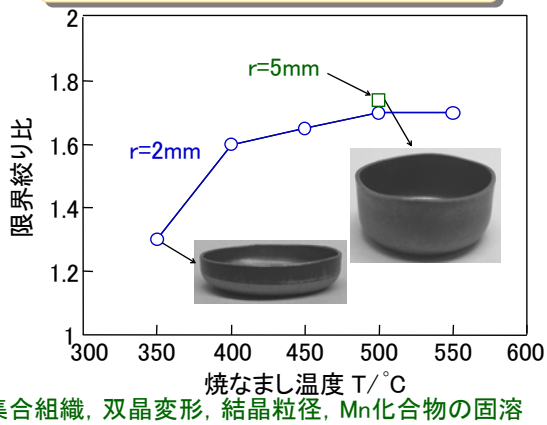
破断伸びおよび絞りと焼なまし温度の関係



結晶粒径および硬さと焼なまし温度の関係

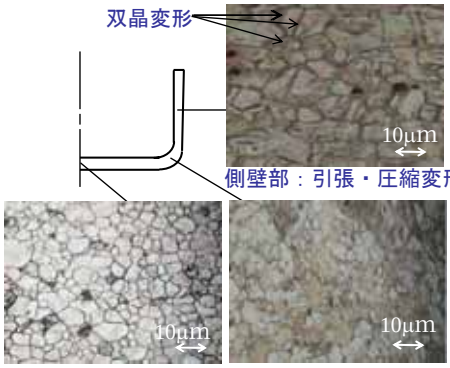


限界絞り比と焼なまし温度の関係



集合組織，双晶変形，結晶粒径，Mn化合物の固溶

深絞り容器の各部における組織写真



側壁部：引張・圧縮変形

パンチ底部：少ない変形 パンチ角部：引張・引張変形

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，曲げ加工

3．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

円筒容器外観写真

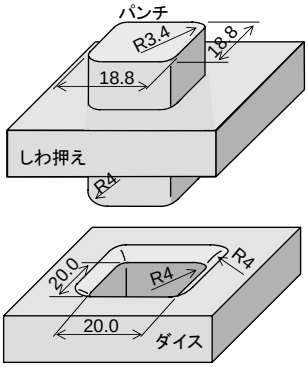
(a) 割れ無
(Rp=2mm, r=1.70)

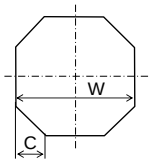
(b) 割れ無
(Rp=5mm, r=1.70)

(c) パンチ肩部での割れ
(Rp=2mm, r=1.75)

(d) フランジ端部での割れ
(Rp=5mm, r=1.75)

冷間角筒深絞り加工条件





C= 0.18W , 0.24W, 0.3W

潤滑剤:二硫化モリブデン

ブランク幅W変化
絞り深さ

角筒容器外観

(a) C=0.18W
割れ無(r=1.38)

(b) C=0.24W
割れ無(r=1.44)

(c) C=0.3W
割れ無(r=1.44)

(d) C=0.18W
割れ有(r=1.44)

(e) C=0.24W
割れ有(r=1.50)

(f) C=0.3W
割れ有(r=1.50)

AZ61とAZ31における冷間深絞り加工性の差

β=1.40

(a) AZ61

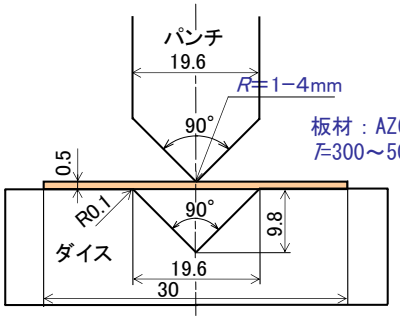
β=1.45

β=1.61

(b) AZ31

β=1.67

冷間V曲げ加工



板材 : AZ61, AZ31
T=300～500℃

冷間曲げ加工性

○:クラック無し ×:クラック有り

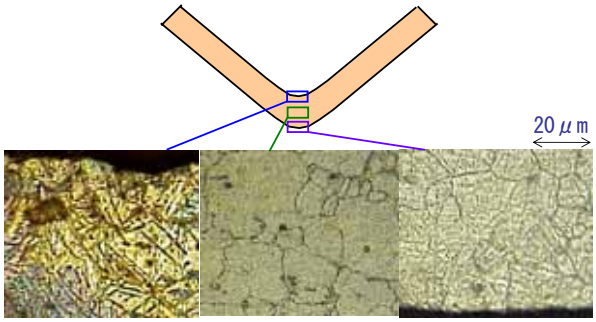
パンチ先端半径比 R/t	焼なまし温度 /℃ 常温	300	400	500
4.0	○	○	○	○
2.0	×	×	×	○
1.6	×	×	×	×
1.0	×	×	×	×

(a) AZ31

パンチ先端半径比 R/t	焼なまし温度 /℃ 常温	300	400	500
4.0	○	○	○	○
2.0	×	×	×	○
1.6	×	×	×	×
1.0	×	×	×	×

(b) AZ61

AZ61, T=500℃における冷間型曲げ加工後の結晶組織



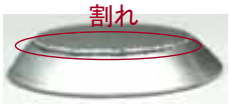
(a) 内側（圧縮）　(b) 中央　(c) 外側（引張り）

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，曲げ加工

3．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



(a) 焼なまし無し

(β=1.32)

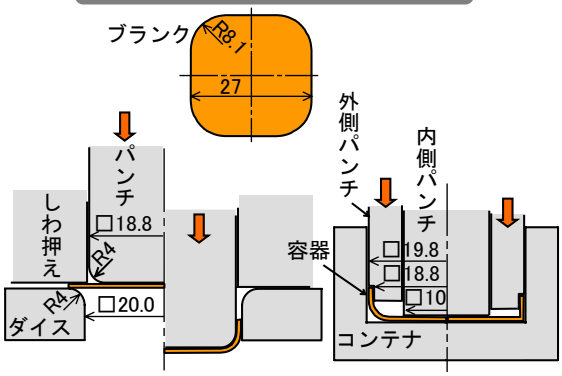
(b) 焼なまし有り

(500°C, β=1.70)

(c) 角筒，焼なまし有り

(500°C, β=1.44)

角筒容器の冷間2段成形



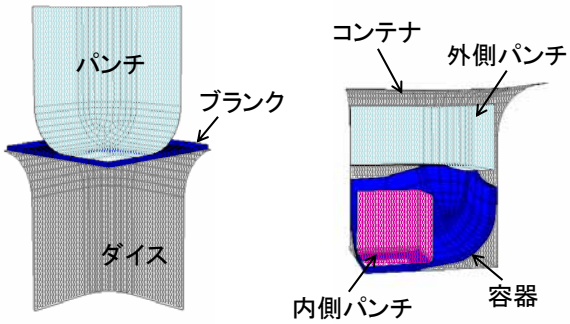
(a) 1段目　(b) 2段目

角筒容器の限界絞り比

(a) β=1.44

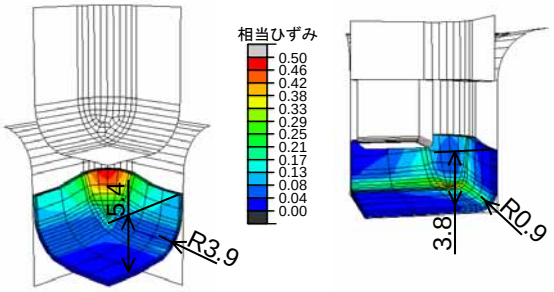
(b) β=1.49

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



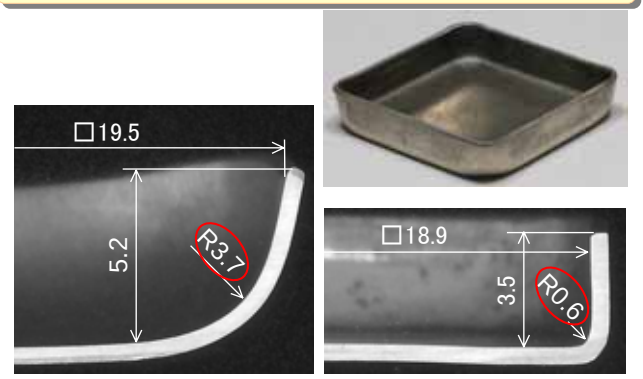
(a) 1段目　(b)2段目

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



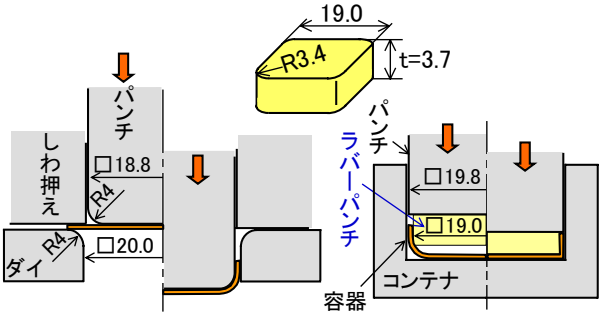
(a)1段目　(b)2段目

2段成形された角筒容器の平行方向断面実験結果



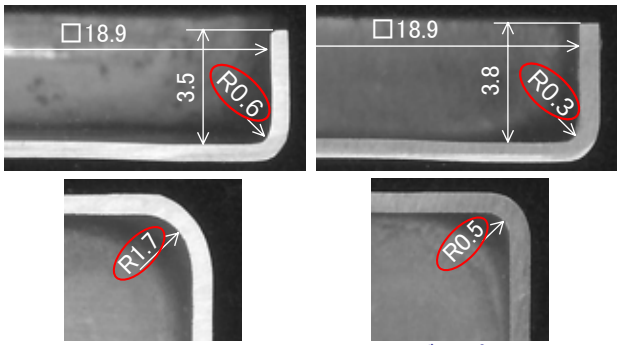
(a) 1段目　(b) 2段目(s=2.8mm)

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



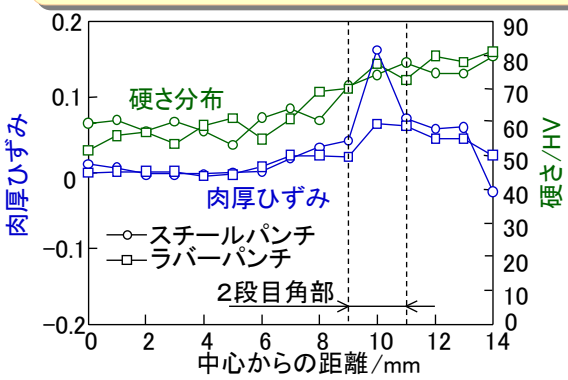
(a)1段目　(b)2段目

角筒容器の精度向上実験結果



(a) スチールパンチ (s=2.8mm)　(b) ゴムパンチ (s=3.0mm)

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℃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．

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

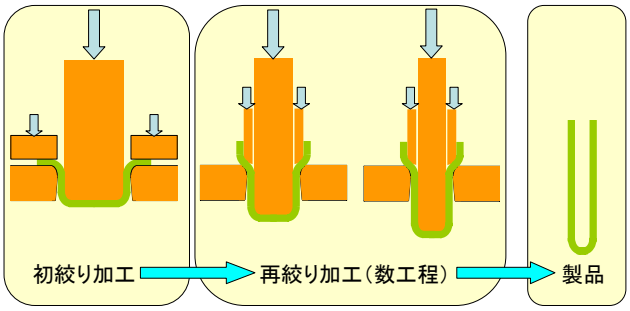
•β型合金：冷間成形性

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，靭性 •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



1．純チタン板の多段深絞り加工における焼付き防止

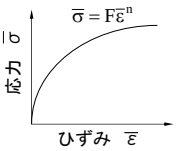
2．β型チタン合金板の多段深絞り加工における割れ防止

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

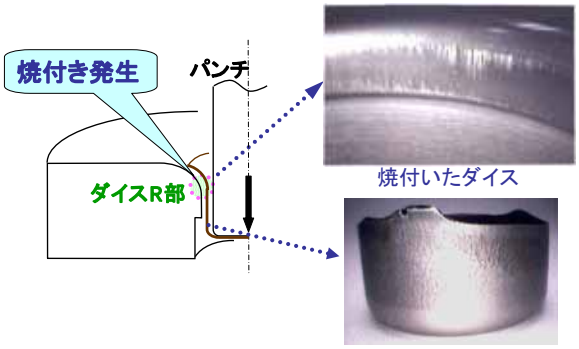
引張り試験



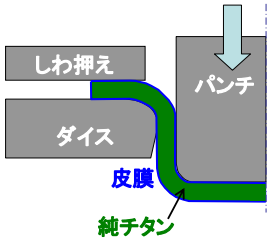
$r=\varepsilon_w/\varepsilon_t$

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

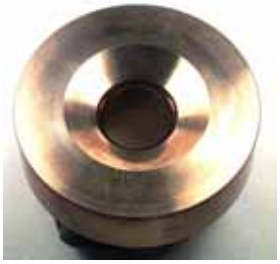
1段焼付き
(a) 皮膜処理なし

1段　2段　3段　4段　5段焼付き
(b) 皮膜処理

1段　2段　3段　4段　5段　6段　7段焼付き
(c) 皮膜処理 ＋ エッチング処理

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

1段　2段　3段　4段　5段　6段　7段　8段　9段　10段　11段　12段

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

1段　2段　3段　4段　5段　6段　7段　8段　9段　10段

市販材料の利用

陽極酸化皮膜処理
大気酸化皮膜処理

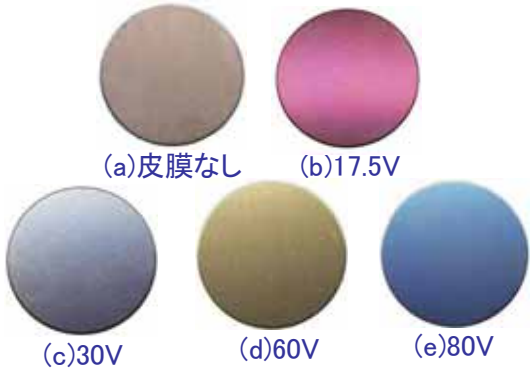
生産工程において
大きな負担

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

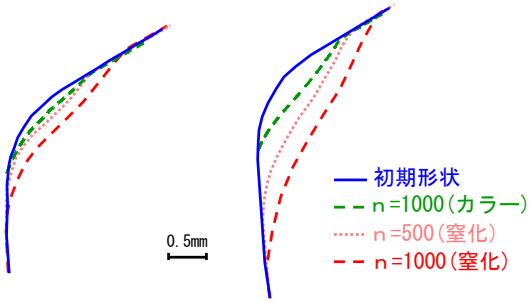
皮膜処理された純チタン板

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　2.2μm	酸化皮膜　0.29μm
材種	純チタンJIS1種	純チタンJIS2種
ブランク	直径　φ32.3mm　板厚　0.5mm	

(a) 窒化皮膜　(b) カラー純チタン

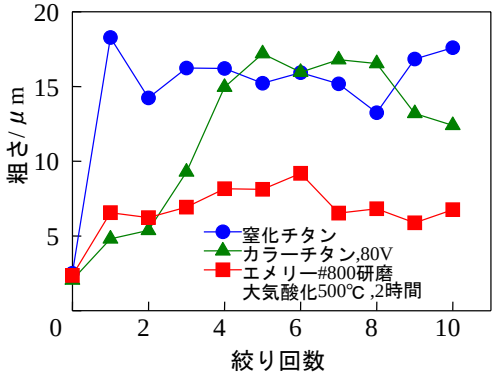
窒化皮膜チタン板を用いた多段深絞り加工

アルミ青銅ダイスにおけるダイス角部の摩耗



(a) ２段目　(b) ３段目

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（㈱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容器

(a) β型, r=1.25

(b) β型, r=1.5

5mm

(c) α型, r=1.25

β型チタン合金板

大気酸化皮膜処理
チタン合金板

直径　32.3mm
板厚　0.5mm

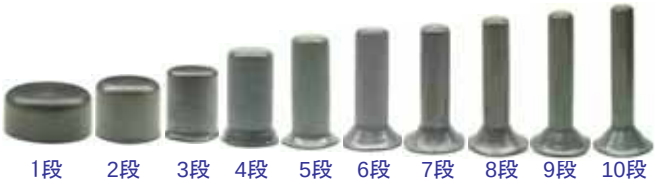
大気酸化皮膜処理	結晶粒 / μm
無し(t=1.0mm)	89.5
600℃-60min	54.3
750℃-5min	68.8
800℃-5min	83.6

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

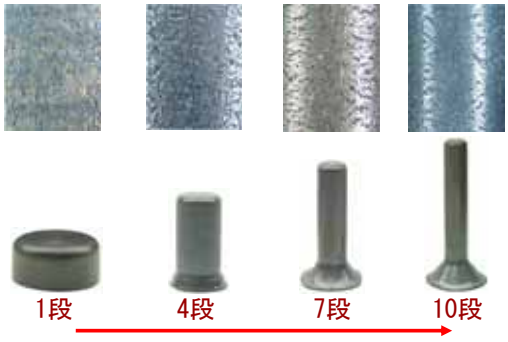
600℃,60min 大気酸化皮膜処理

加工限界：2段　低い延性

750℃, 5min 大気酸化皮膜処理

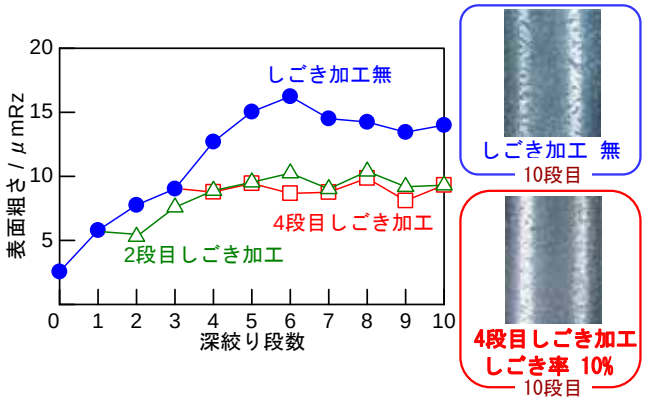


深絞り容器の表面性状



容器表面あれの増加

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