

板鍛造技術の現状と将来展望

豊橋技術科学大学 森 謙一郎

加熱：1ショットホットスタンピング

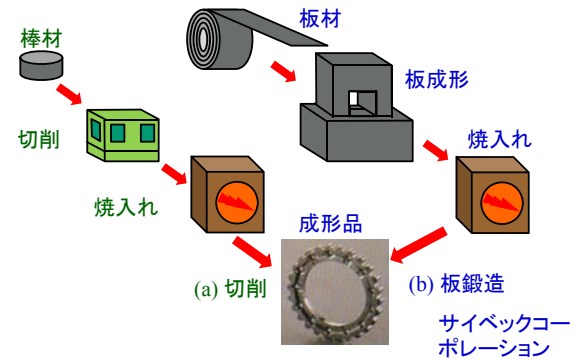
潤滑：荷重振動鍛造

工程設計：局部増肉

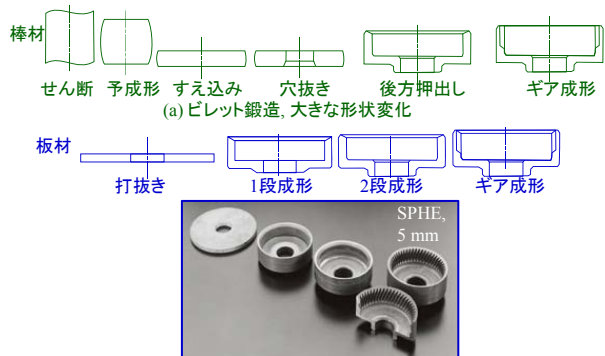
切削から板鍛造への置換え

ネットシェイプ成形

コスト低減：生産性向上



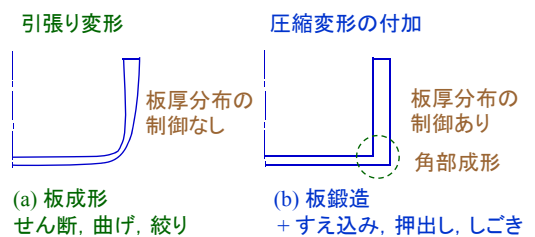
ビレット鍛造と板鍛造



(b) 板鍛造, 小さな形状変化

アイダ 中野

板鍛造と板成形の違い



板成形への鍛造の取込み

板鍛造の英語

M. Merklein, Erlangen-Nürnberg大学, ドイツ
2012 CIPR keynote
“Bulk forming of sheet metal” (sheet-bulk metal forming)

工具の動き

直進：すえ込み, 鍛造, しごき, コイニング

回転：フローフォーミング, 揺動鍛造, 逐次成形

板鍛造: plate forging (plate stamping)

板鍛造の問題

工程設計：所定の製品形状

金型：焼付き, 摩耗, 割れ

潤滑：加工荷重, 焼付き

材料：軟鋼板, アルミニウム合金以外; 高張力
鋼板, ステンレス鋼板

加工荷重の増大

1. 1ショットホットスタンピング
2. 荷重振動板鍛造
3. 局部増肉

超高強度鋼部材の 1ショットホットスタンピング



豊橋技術科学大学 森謙一郎

100kg軽量:1km//燃費向上
電気自動車では非常に重要

軽量材料の成形

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

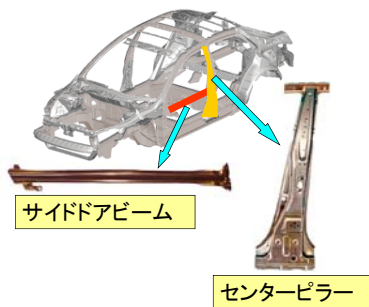


- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) セン断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形, セン断, ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形

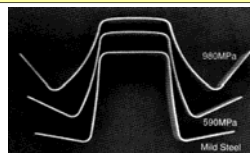
超高張力鋼板の自動車部材への適用



超高張力鋼板:1GPa以上



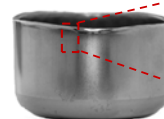
高張力鋼板の冷間成形における スプリングバック及び低い成形性



大きなスプリングバック



低い延性



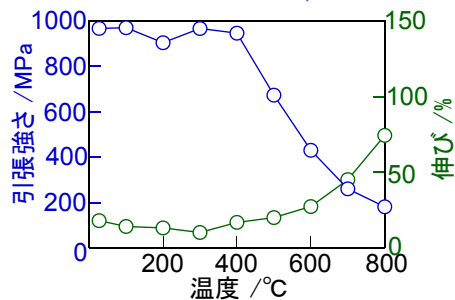
焼付き

1.2GPa以上の冷間プレスは困難

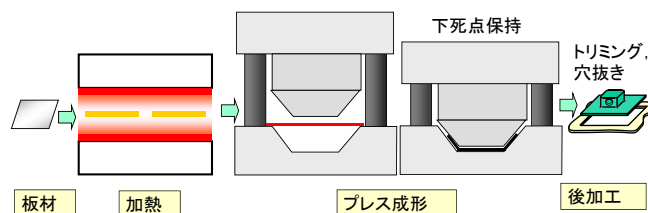
超高張力鋼板の高温引張特性



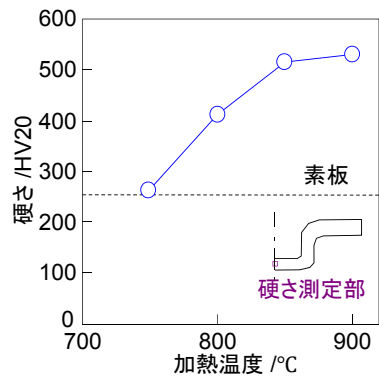
ホットスタンピング: 成形荷重低下,
スプリングバックなし, 成形性向上



ホットスタンピング



ホットスタンピングにおける ダイクエンチによる硬さの上昇

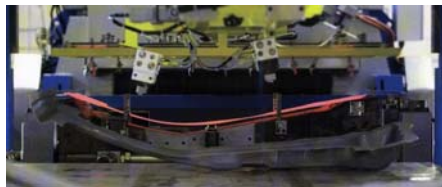


金型急冷
による焼
入れ、
1.5GPa級

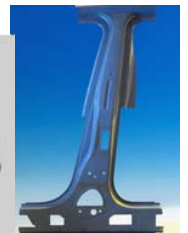
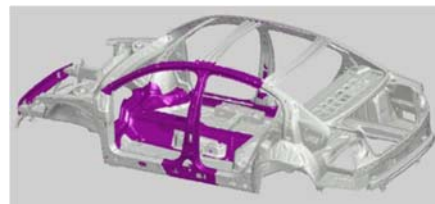
ホットスタンピング



ホットスタンピング



フォルクスワーゲン、パサート

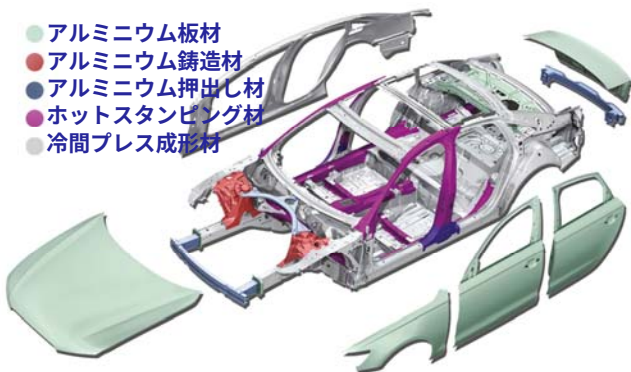


フォルクスワーゲン パサート、骨格
部材の16%が熱間プレス成形

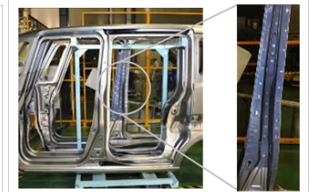
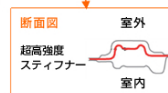
Audi A7 Sportback



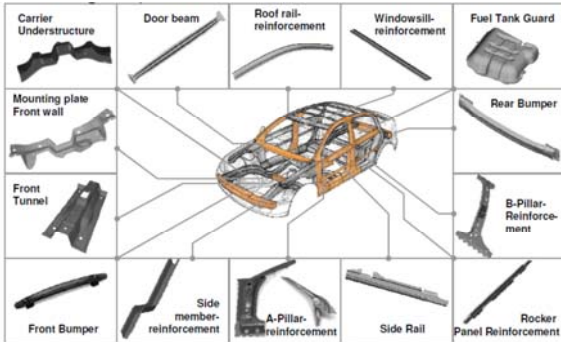
- アルミニウム板材
- アルミニウム鋳造材
- アルミニウム押出し材
- ホットスタンピング材
- 冷間プレス成形材



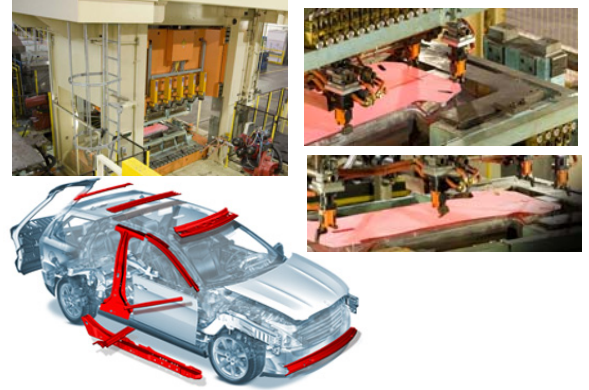
ホンダN BOXのセンターピラー



ドイツ ベンテラー社における ホットスタンピング成形品



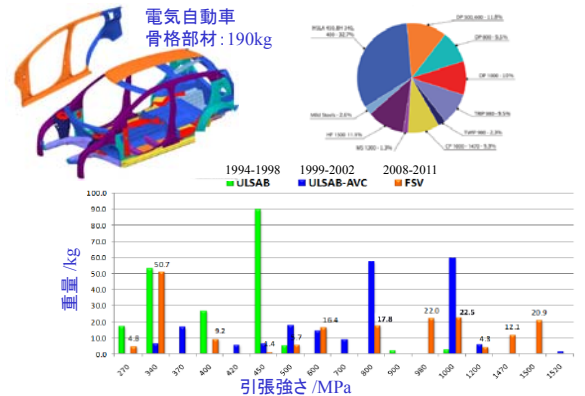
カナダ マグナ社における ホットスタンピング成形品



アイシン高丘における ホットスタンピング成形品



世界鉄鋼協会/自動車分科会 FSV (Future Steel Vehicle)次世代鋼製環境対応車



ホットスタンピングの長所

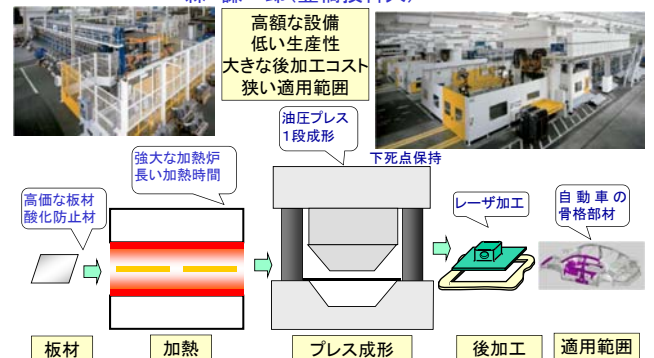


- 成形荷重低下
- スプリングバックなし
- 成形性増加
- 1.5GPa級成形品

超高張力鋼部品の通電加熱 1ショットホットスタンピング



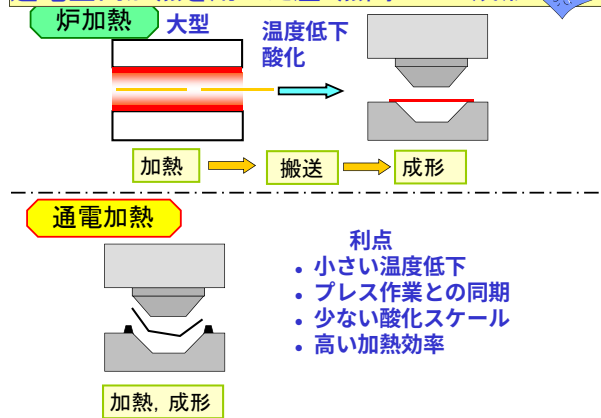
森 謙一郎 (豊橋技科大)



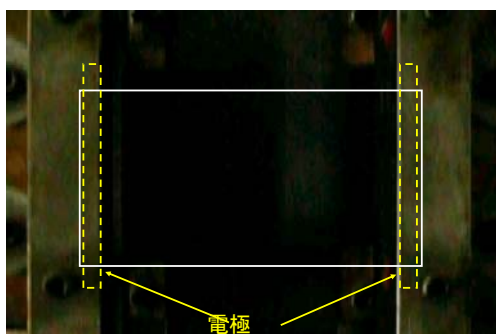
- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) セン断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形，せん断，ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形



通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形



通電加熱の映像 (SPFC980)



通電加熱とサーボプレスの連動



高速加熱・高速成形：
酸化防止
成形性の増加



通電電源



サーボプレス



通電電源



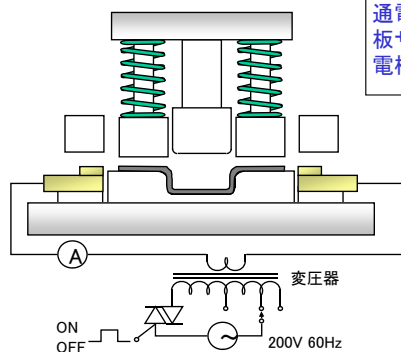
サーボプレス

通電加熱ハット曲げ成形装置



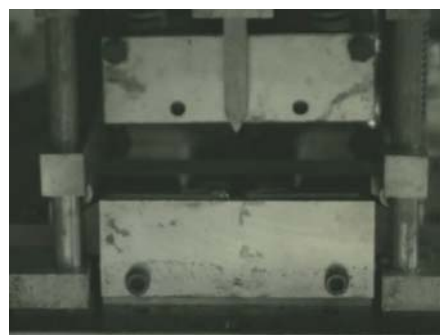
実験条件

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

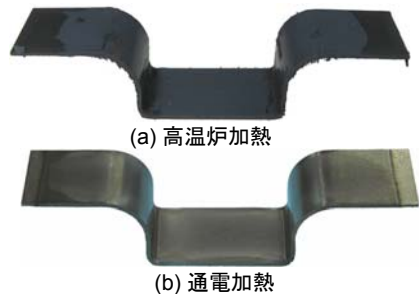


通電
↓ (0.2秒)
プレス
↓
3.5秒保持

980 °Cにおける通電加熱ハット曲げ成形



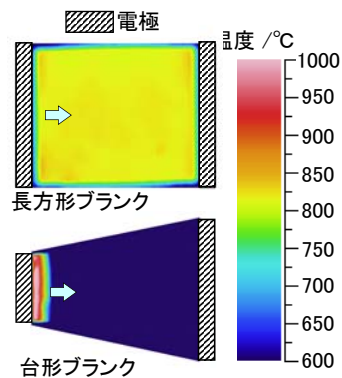
980 °Cにおける通電加熱ハット曲げ成形



(a) 高温炉加熱

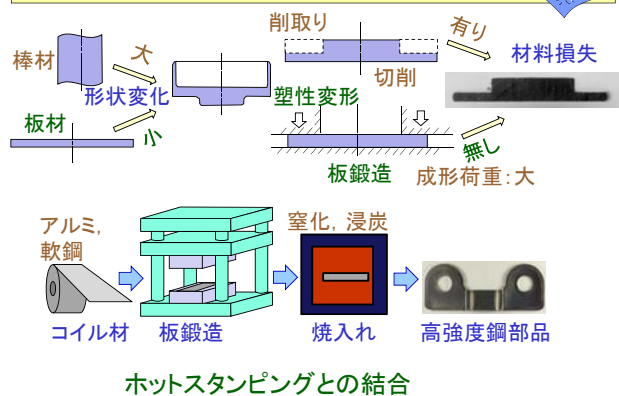
(b) 通電加熱

矩形板材に应用が限定



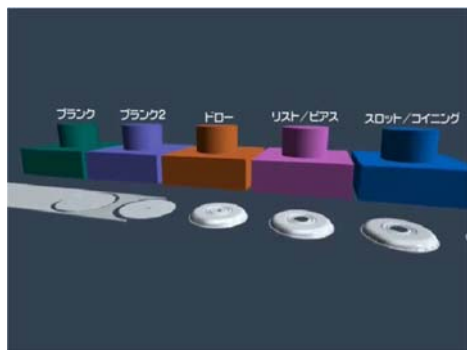
- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) せん断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形，せん断，ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形

高強度鋼部品の板鍛造



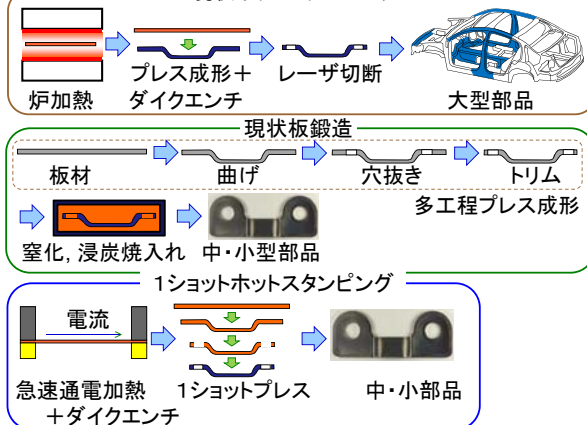
ホットスタンピングとの結合

1ショットスタンピング



ユタカ技研HPより

現状ホットスタンピング



- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) せん断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形，せん断，ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形

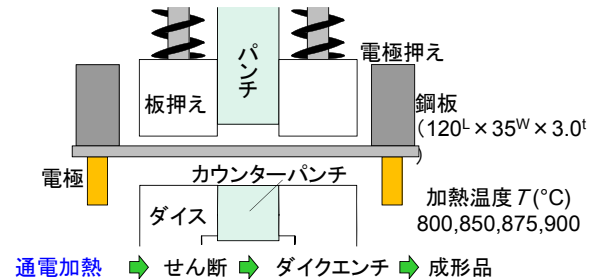


せん断・ダイクエンチを 一体化した歯車のホットスタンピング

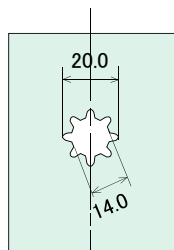


焼入れ用鋼板N22CB

C	Si	Mn	Cr	Ti	B
0.22	0.15	0.45	0.30	0.02	0.0035



歯車の1ショットホットスタンピング金型



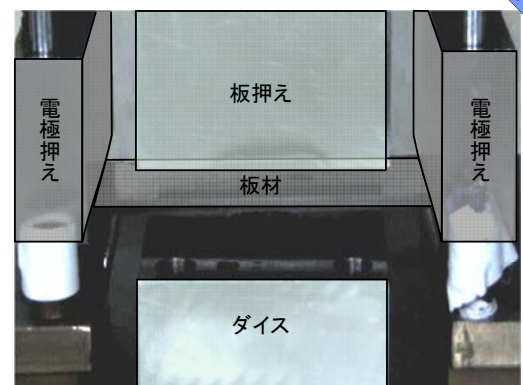
(a)ダイス



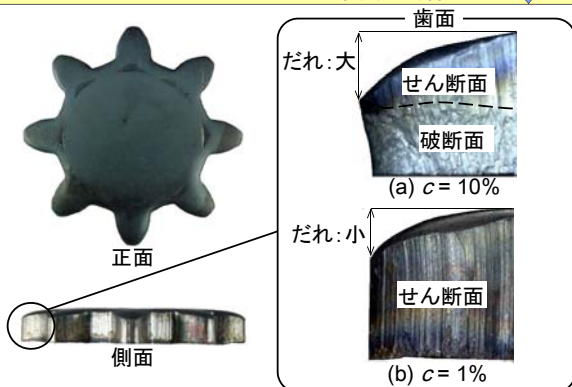
クリアランス比 c
1, 10

(b)パンチ

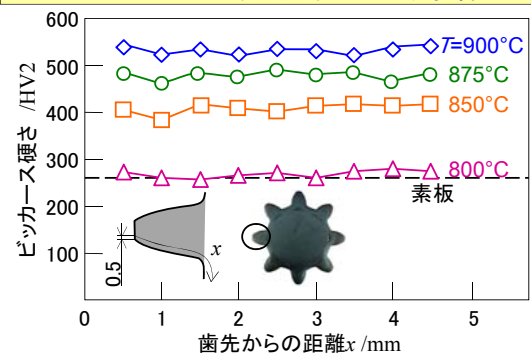
1ショットホットスタンピング



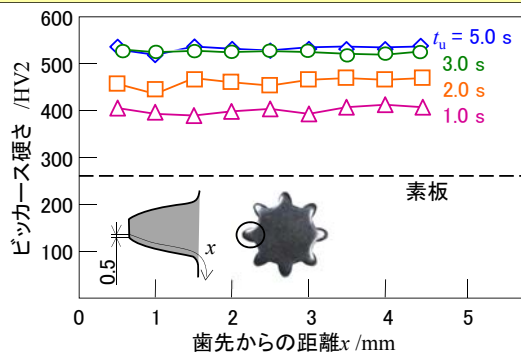
$T=900^{\circ}\text{C}$, $t=3.0\text{s}$ における1ショットホットスタンピング加工された超高張力鋼ギア



$t=3.0\text{s}$ における加熱温度がダイクエンチ後のビッカース硬さ分布に及ぼす影響

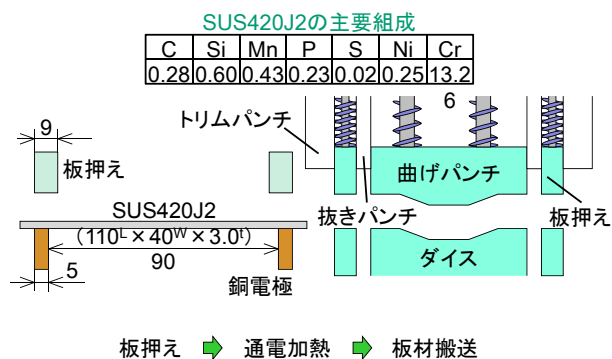


下死点保持時間がダイクエンチ後のビッカース硬さ分布に及ぼす影響($T=900^{\circ}\text{C}$)

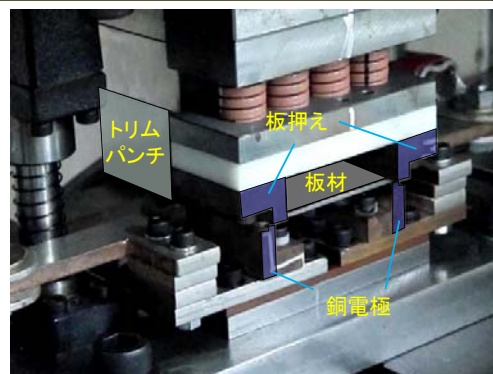


- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) せん断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形, せん断, ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形

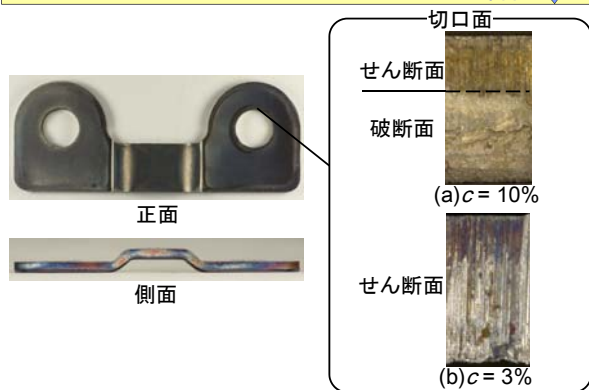
成形・せん断・ダイクエンチを一体化したエンジン取付部品のホットスタンピング



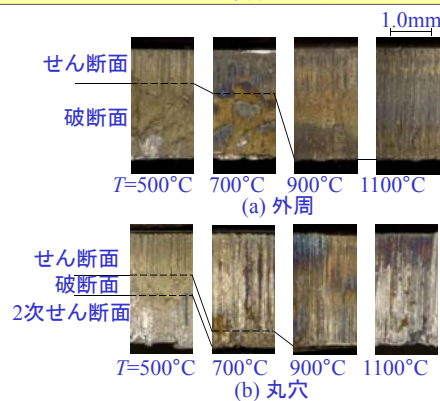
1ショットホットスタンピング



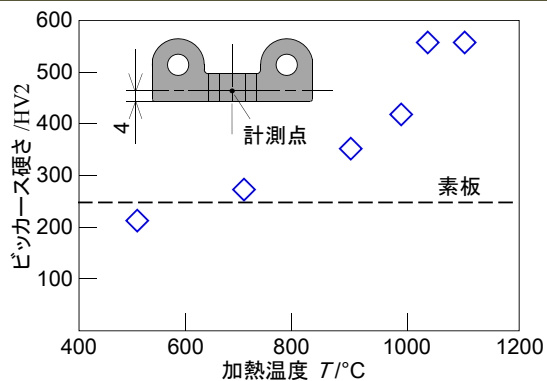
$T=1100^{\circ}\text{C}$ における1ショットホットスタンピング加工されたエンジン取付部品



各種加熱温度におけるエンジン取付部品の切り口面

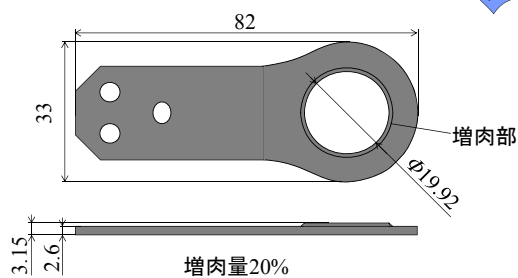


$t = 3.0\text{s}$ における成形品中央部の
ビッカース硬さと加熱温度の関係



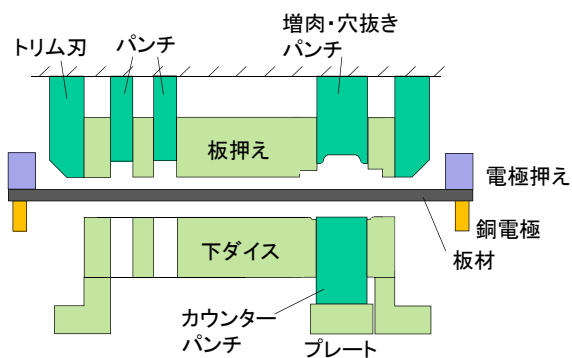
- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) せん断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形，せん断，ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形

自動車用シート部品寸法

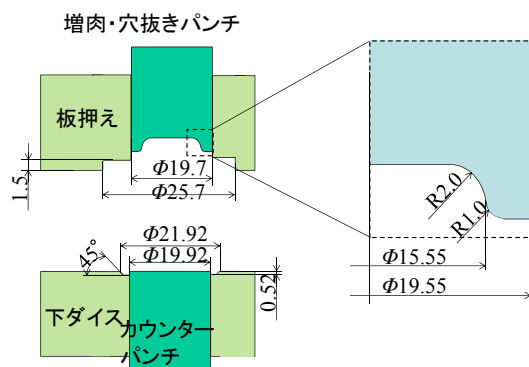


材質	寸法 /mm
スミクエンチ	140×54×2.6

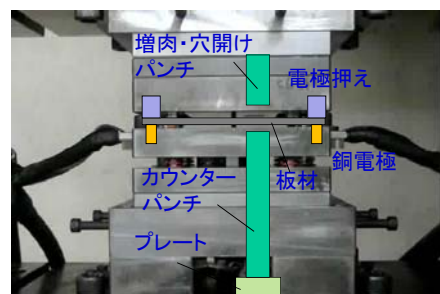
局部増肉1ショットホットスタンピング



局部増肉1ショットホットスタンピング金型



1ショットホットスタンピング



1ショットホットスタンピングされた
自動車用シート部品



(a) 正面

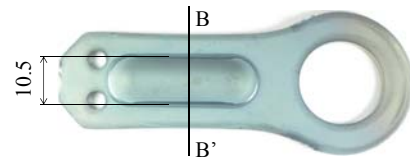


(c) 丸穴切口面



(b) 側面

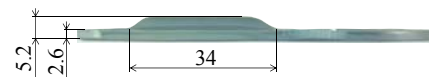
ホットスタンピングによるビード加工された
自動車用シート部品



(a) 正面

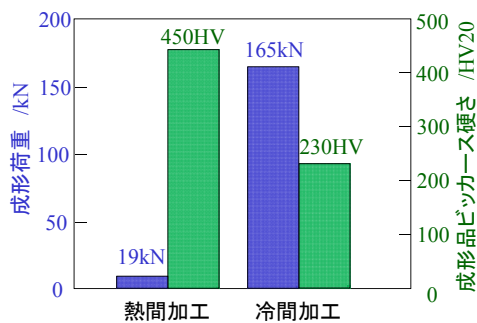


(c) B-B'断面



(b) 側面

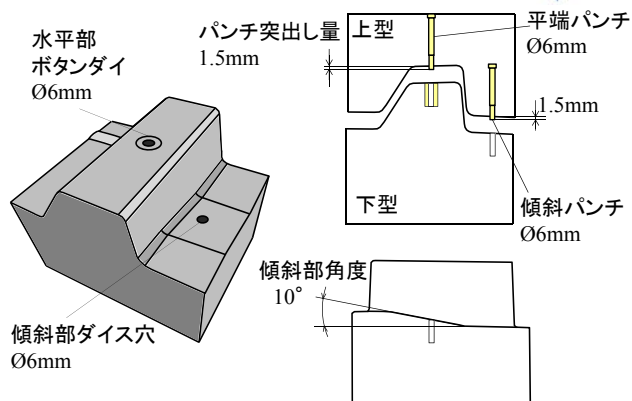
ビード部の成形荷重とビッカース硬さ



- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) セン断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形，セン断，ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 拔残しセン断
- 8) 温・熱間スプライン成形



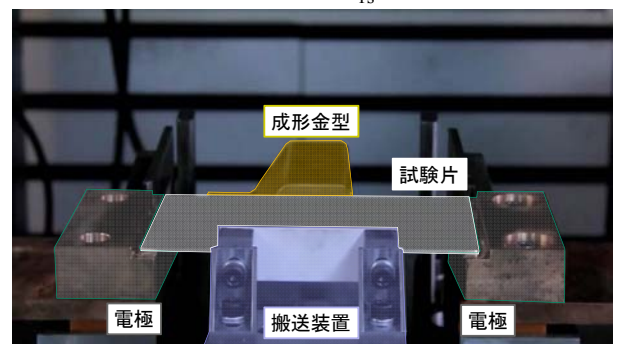
拔残し機構を取り入れた成形金型

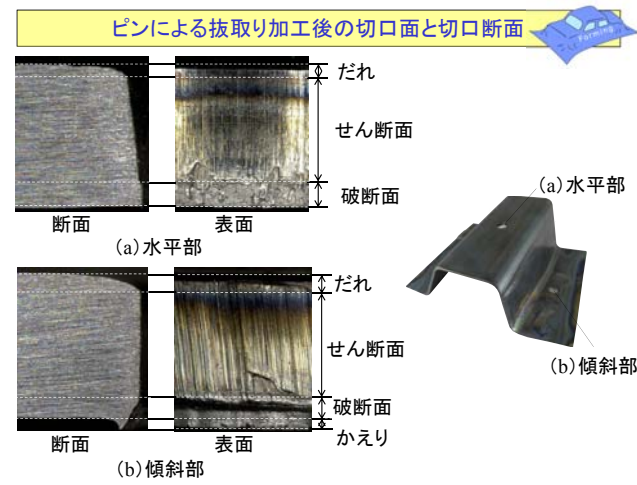
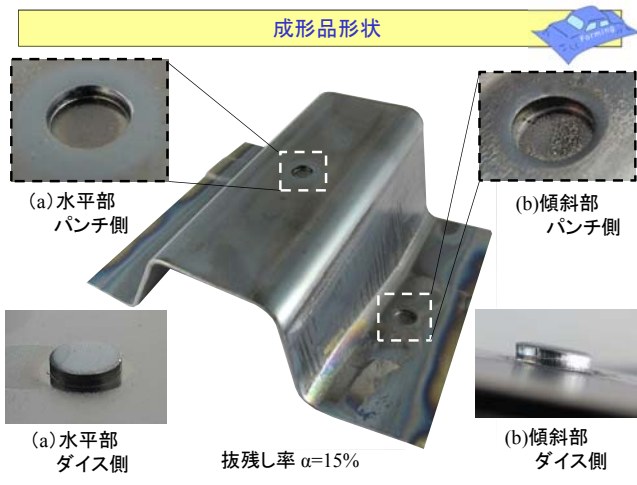


成形とクリアランスなし熱間拔残し加工

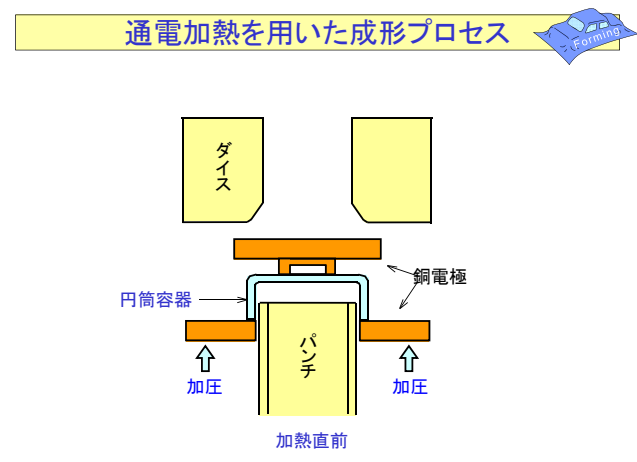
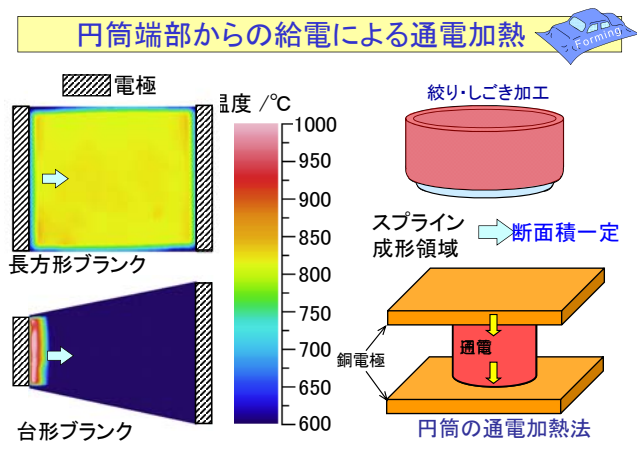


通電加熱 850°C, 3.3s → 搬送 2s → 成形 拔残し加工 1s → 下死点保持 5s

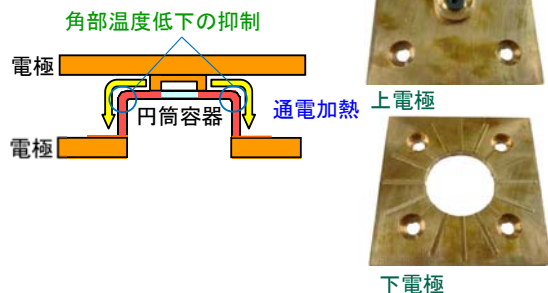




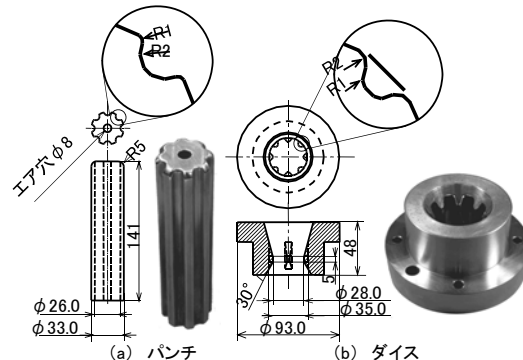
- 1) ホットスタンピング
- 2) 急速通電加熱
- 3) 1ショットホットスタンピング
- 4) せん断とダイクエンチの一体化
- 5) 成形，せん断，ダイクエンチの一体化
- 6) 局部増肉
- 7) 抜残しせん断
- 8) 温・熱間スプライン成形



電極形状



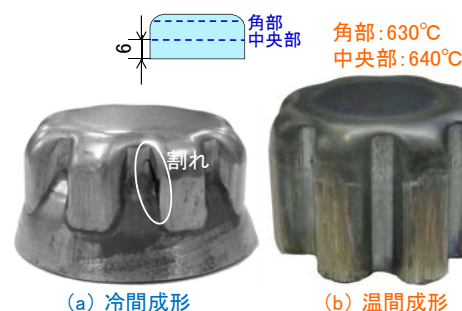
スプライン成形実験に用いたパンチ・ダイス形状



通電加熱を用いたスプライン成形



成形された歯形ドラム



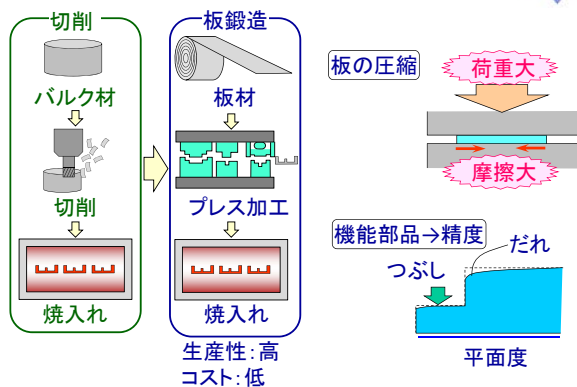
1ショットホットスタンピングの特徴

	現状ホットスタンピング	板鍛造	1ショットホットスタンピング
部品サイズ	大型	小型	中・小型
生産性	低	中（焼入れを含む）	高
レーザ切断設備	有	無	無
成形荷重	小	大	小
成形工程数	1工程	多工程	1-2工程
焼入れ工程	無	有	無
肉厚変化	小	小	大

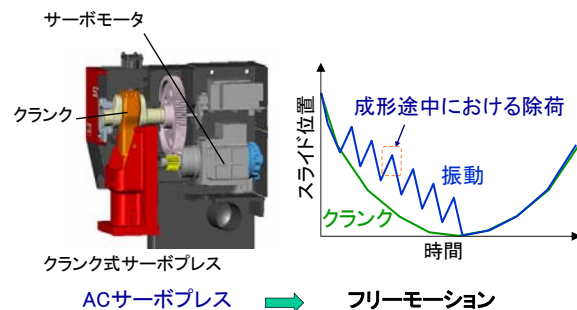
1ショットホットスタンピングの特徴

- 1) 板材の急速通電加熱: 通電加熱によって、焼入れ可能な900℃に数秒で加熱でき、加熱効率が高く酸化スケールがほとんど発生しなく、サイクルタイムが短縮でき、設備もコンパクトになる。
- 2) 成形・せん断・焼入れの1ショット化: 板材では温度が急速に低下するため、成形・せん断・焼入れを1ショット化して焼入れ直前までの温度低下を防止するとともに、通電加熱が適用できる矩形板材が使用できる。
- 3) レーザ切断と焼入れ工程の省略: 1ショットの中にせん断加工を含み、プレスの下死点保持によってダイクエンチをして焼入れを行って焼入れ工程を省略し、せん断加工をため後工程であるレーザ切断も省略でき、製造コストを低減できる。
- 4) 大きな肉厚変化: 板材を加熱して軟化させるため、板厚方向の大圧下が可能になる。
- 5) 成形品の高精度化: 下死点保持によってスプリングバックを防止し、しかも焼入れひずみをなくして高精度な部品を成形できる。

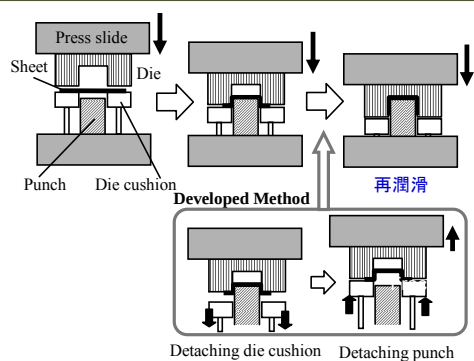
摩擦を低減する荷重振動板鍛造



サーボプレスを用いた荷重振動鍛造



成形途中に工具から板材を外すことによる 深絞り性の向上



JFE

振動プレス成形：摩擦の低減

高張力鋼板
成形限界の向上



(a) 通常

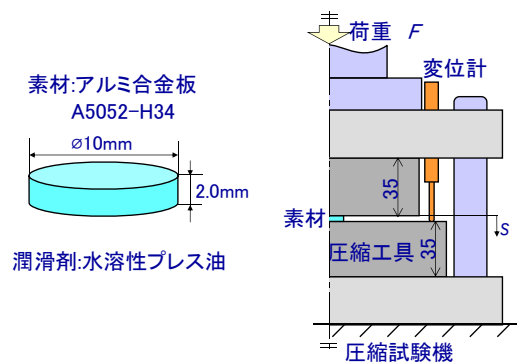
(b) 振動

JFE

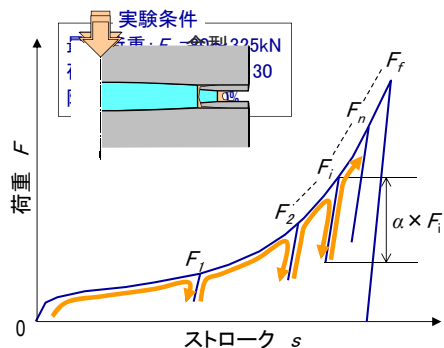
目次

- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 鍛造加工への適用
- ステンレス鋼部品の段差付け加工

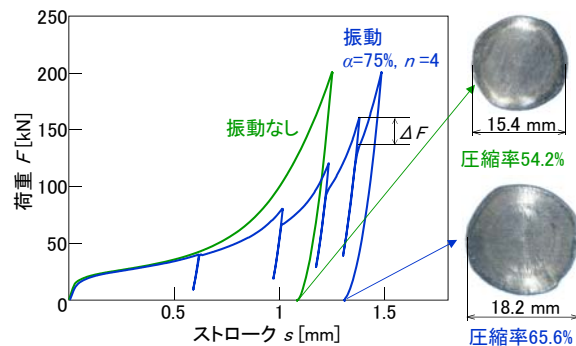
荷重振動圧縮に用いた素材と工具形状



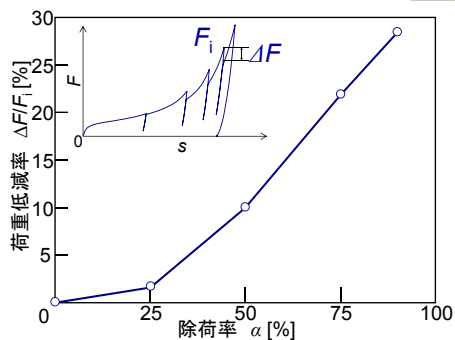
荷重振動圧縮における荷重振動の経路



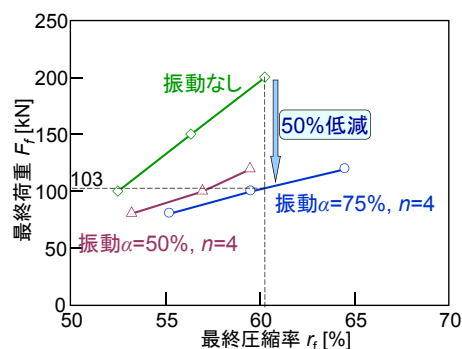
荷重振動圧縮における荷重-ストローク曲線, $F_f = 200 \text{ kN}$



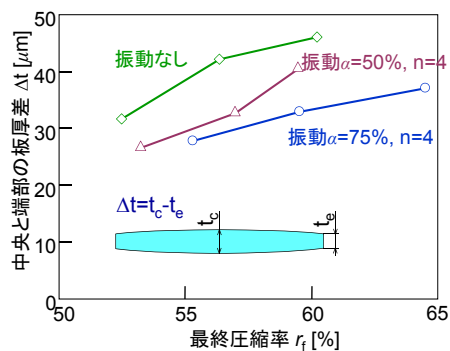
$n=4, F_f=200 \text{ kN}$ における荷重低減率と除荷率の関係



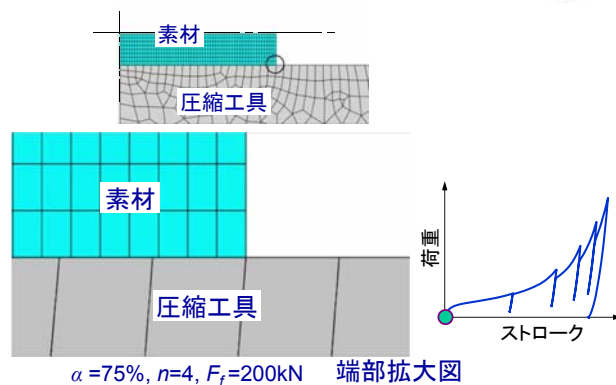
各種の条件における最終荷重と圧縮率の関係



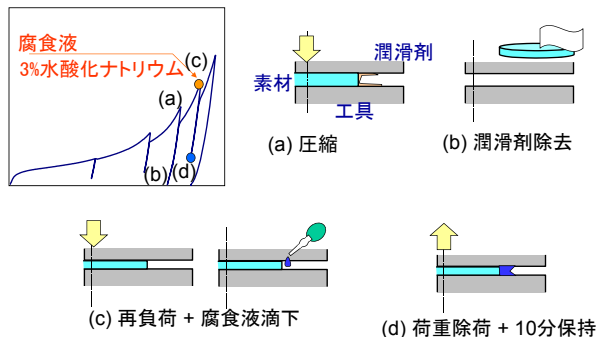
荷重低減による平坦度向上



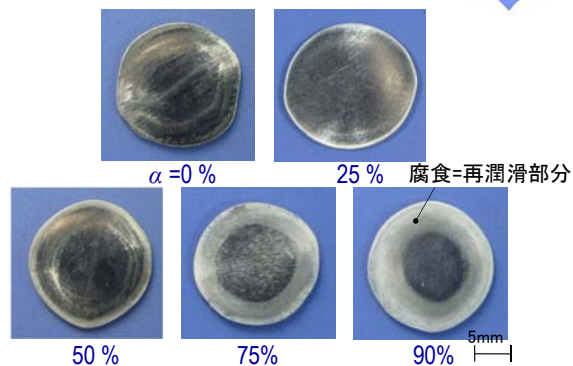
有限要素シミュレーションによる変形挙動



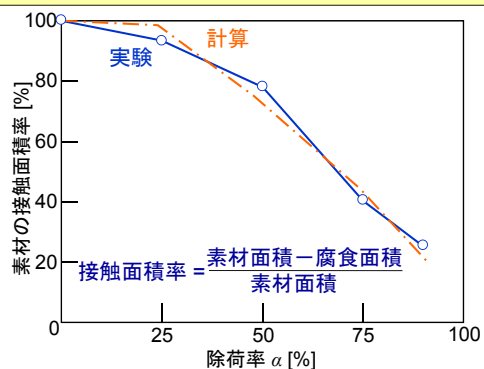
腐食実験による隙間の発生の確認



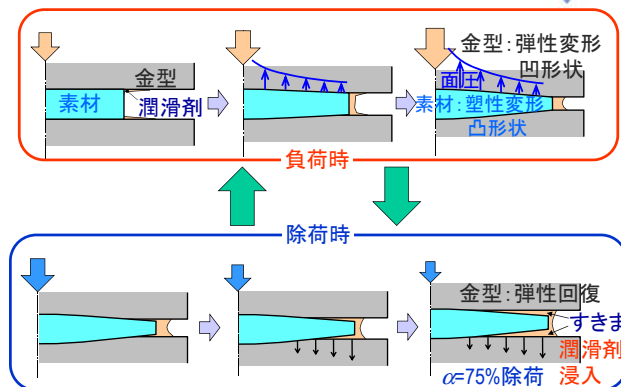
腐食液によって腐食された板材表面



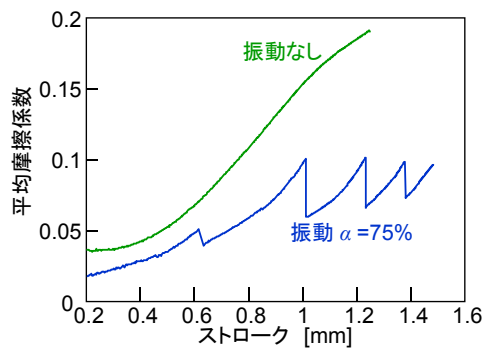
途中除荷時の素材の接触面積率と除荷率の関係



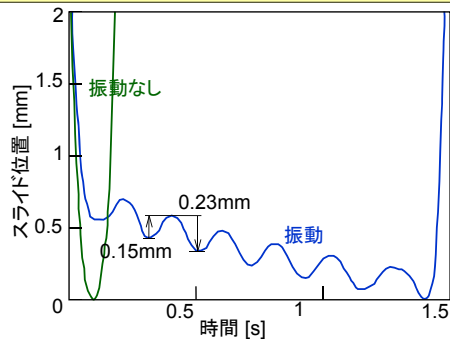
荷重振動による自動再潤滑のメカニズム



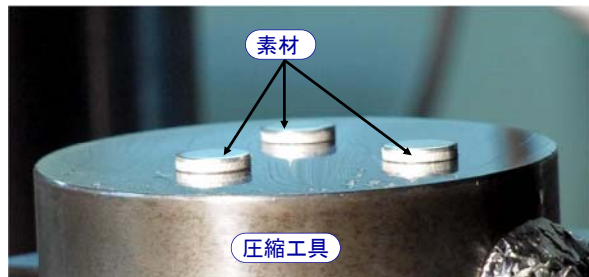
加工中の摩擦係数の変化 ($F_f=200\text{kN}$)



サーボプレスを用いた荷重振動圧縮に用いたスライドモーション

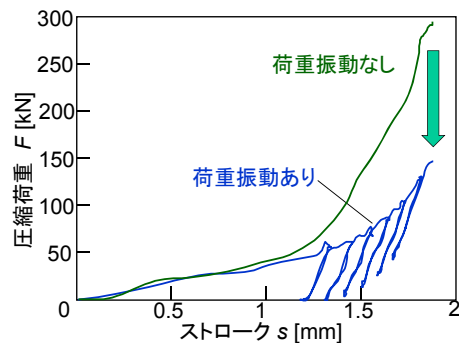


サーボプレスを用いた荷重振動圧縮

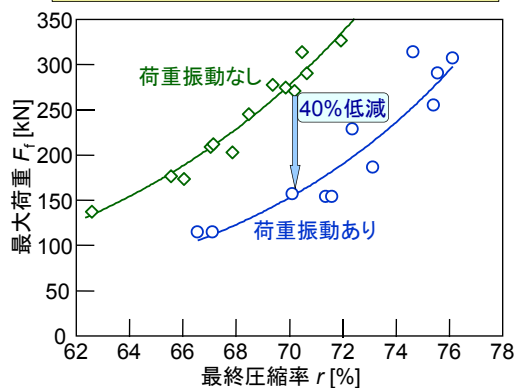


振動モーション
平均除荷率70~80%, 除荷回数6回

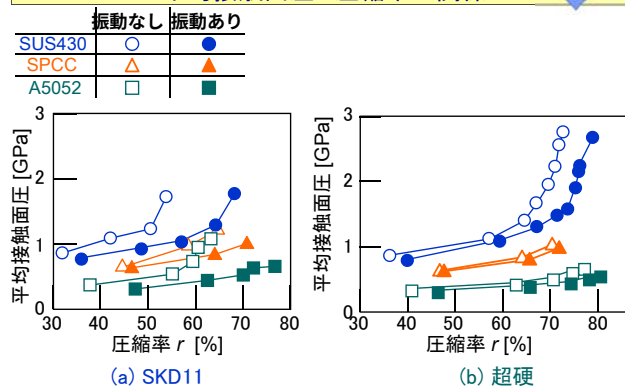
$r_f=70\%$ における振動モーションと クランクモーションの荷重-ストローク曲線



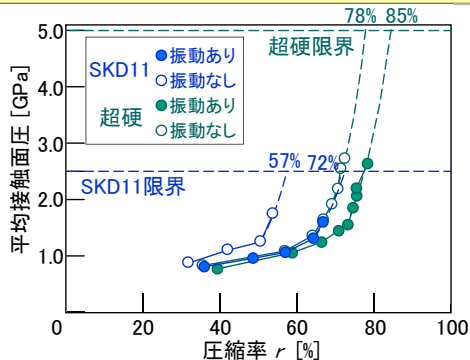
サーボプレスによる最大荷重と 最終圧縮率の関係



各素板における荷重振動ありとなしにおける 平均接触面圧と圧縮率の関係



SUS 430素板の荷重振動ありなしにおける 平均接触面圧と圧縮率の関係

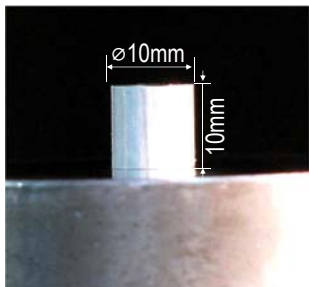


目次

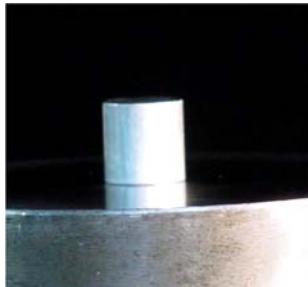
- ・荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- ・鍛造加工への適用
- ・ステンレス鋼部品の段差付け加工

A1050ビレットの圧縮

A1050ビレット→焼付きやすい



振動なし



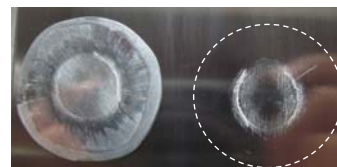
振動あり

ビレットの圧縮における焼付き低減

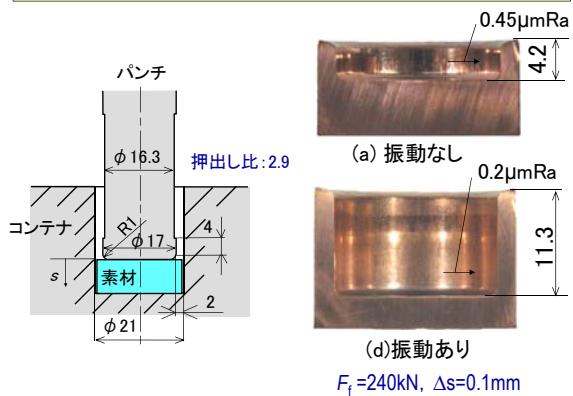
振動なし



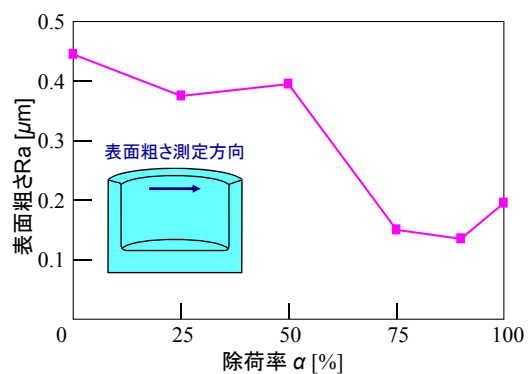
振動あり



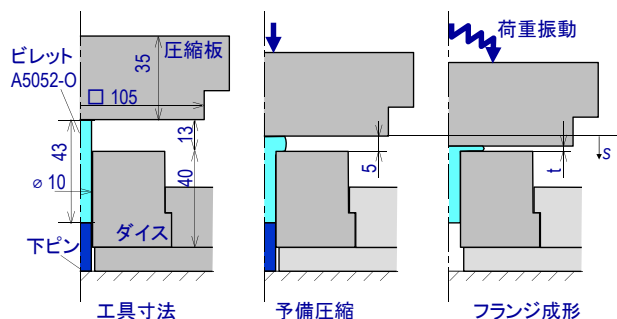
後方押しへの荷重振動の適用



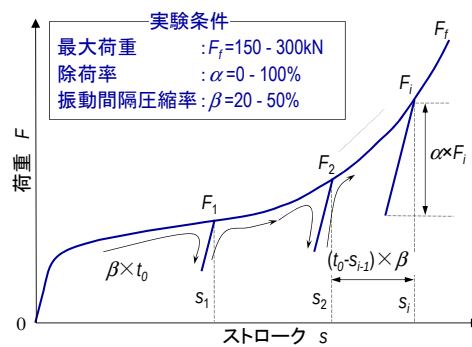
素材内壁表面粗さと除荷率の関係



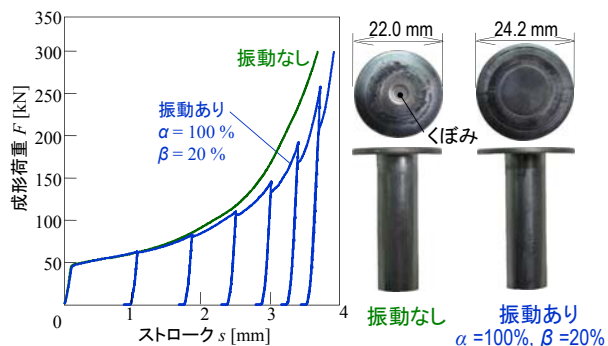
荷重振動鍛造による軸端部フランジ成形方法



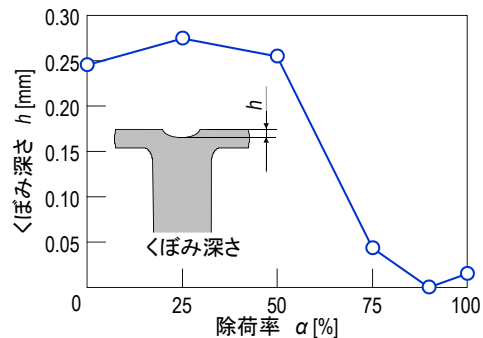
フランジ成形に用いた荷重振動経路



荷重-ストローク曲線と成形された軸部品



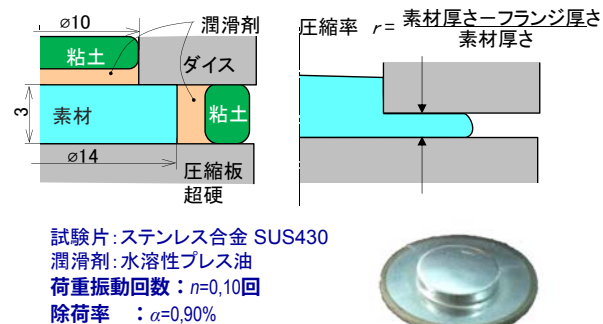
$\beta = 20\%$, $F_f = 300$ kNにおけるくぼみ深さに及ぼす除荷率の影響



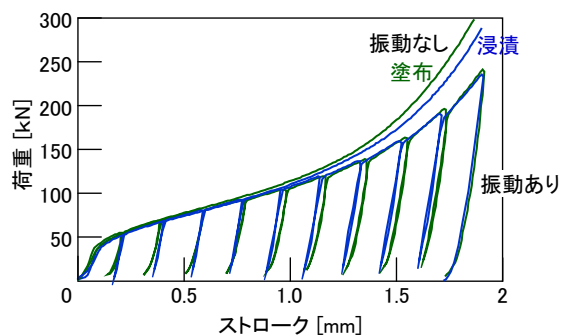
目次

- 荷重振動鍛造による荷重の低減とメカニズム
- 鍛造加工への適用
- ステンレス鋼部品の段差付け加工

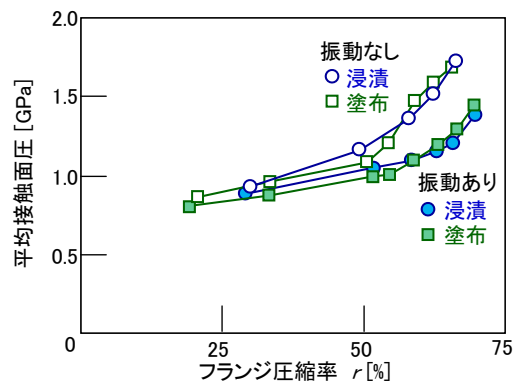
潤滑剤浸漬荷重振動による段差付け加工



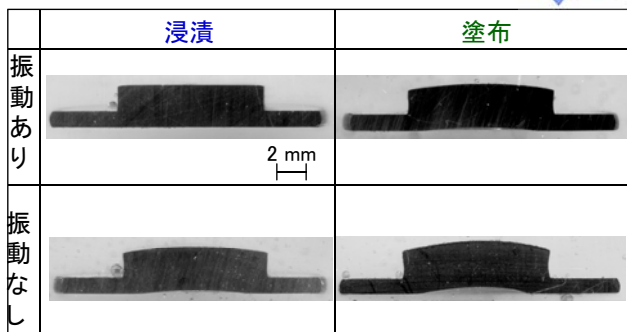
段差付け加工における荷重振動ありとなしの荷重-ストローク曲線($r=63\%$)



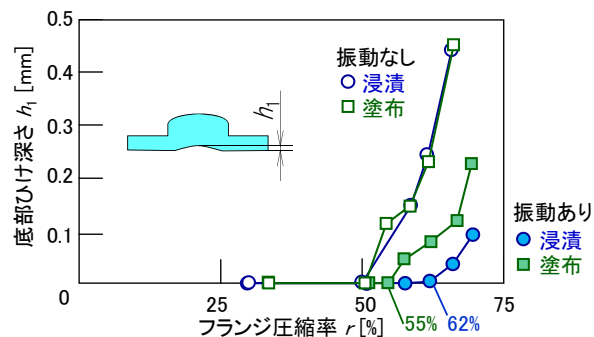
段差付け加工における平均接触面圧 フランジ圧縮率の関係



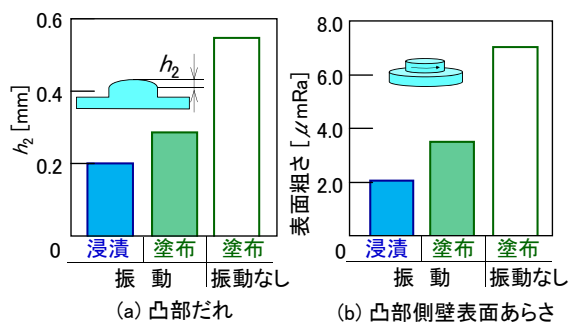
$r = 62\%$ における段差付け加工後の断面



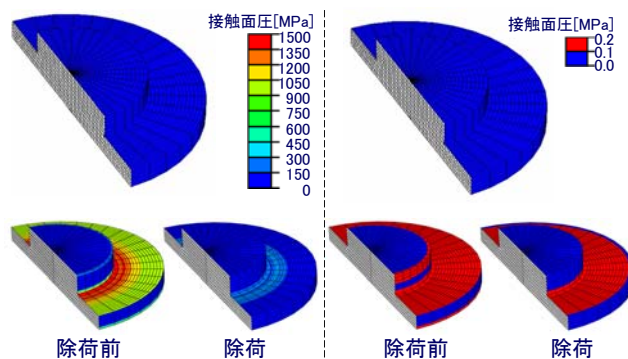
段差付け加工における底部ひけ深さとフランジ圧縮率の関係



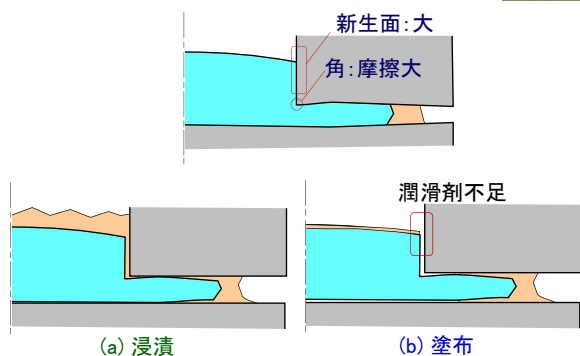
$r = 65\%$ における凸部だれおよび凸部側壁表面粗さ潤滑および振動条件の影響



有限要素シミュレーションによる除荷時の金型と素材の接触面圧



潤滑剤浸漬による凸部側壁および角部の再潤滑



まとめ

荷重振動鍛造

- 自動的に素材を再潤滑
- 金型の弾性回復時に素材との間に生じた隙間に潤滑剤が浸入

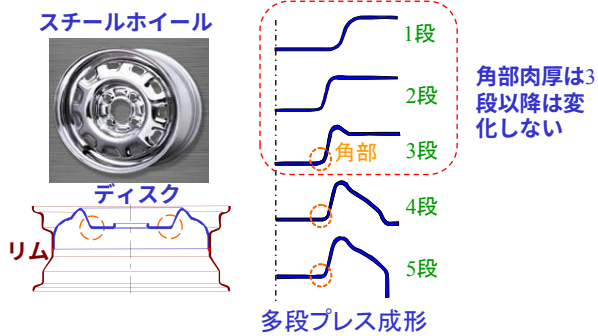
成形荷重大低減
板の圧縮 荷重1/2
・金型破損防止
・型材質低グレード化
・プレス機小容量化

寸法精度向上
・平面度
・だれ
・へこみ

表面性状向上
・粗さ
・焼付き防止

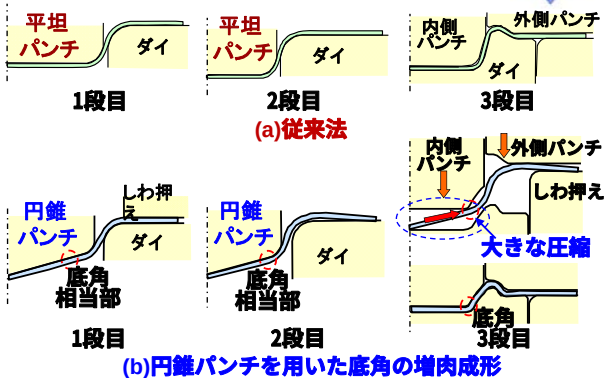
ホイールディスクの多段プレス成形

ホイール強度は角部肉厚に大きく影響される

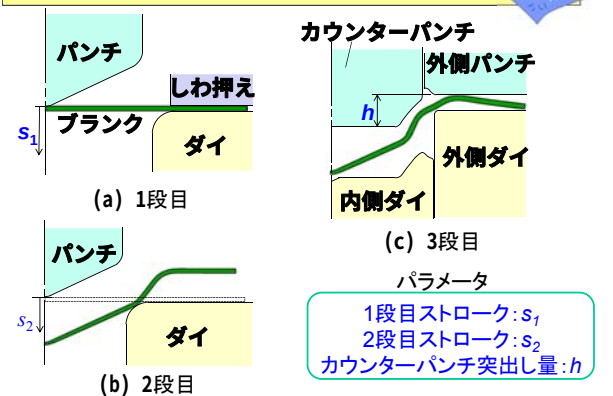


- 1) ホイールディスクのプレス増肉成形
- 2) 軸対称局部増肉テーラードブランク
- 3) 角筒容器用局部増肉テーラードブランク

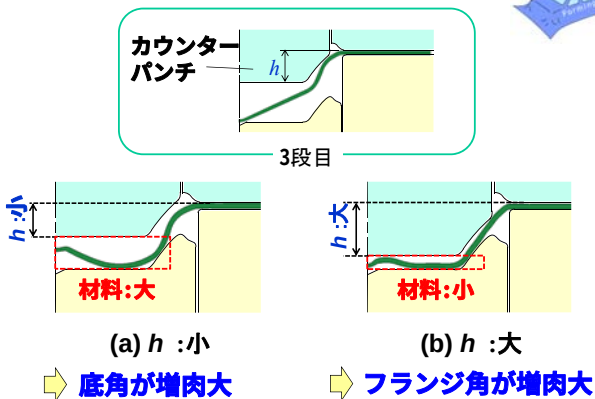
円錐パンチによる底角の増肉成形



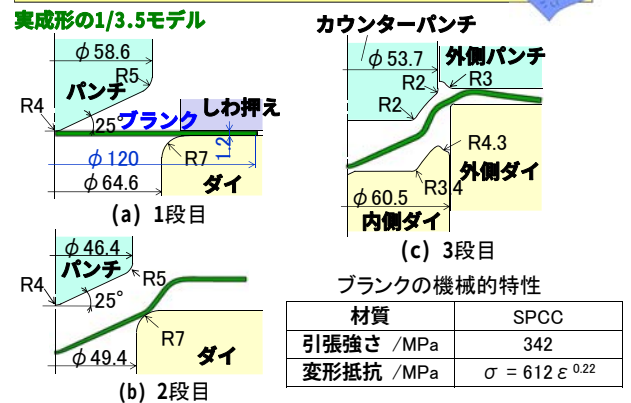
フランジ付き容器の底角とフランジ角の増肉プレス成形パラメータ



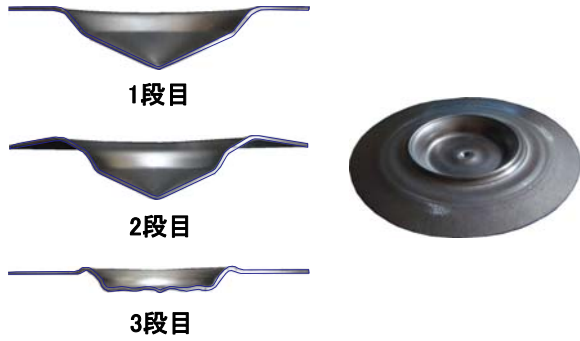
カウンターパンチ突出し量 h の影響



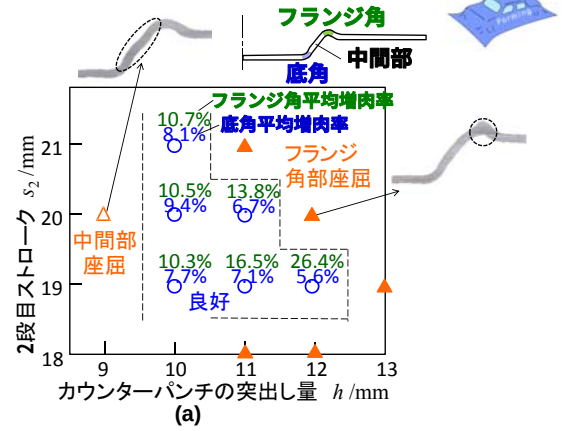
フランジ付き容器の底角とフランジ角の増肉プレス成形条件



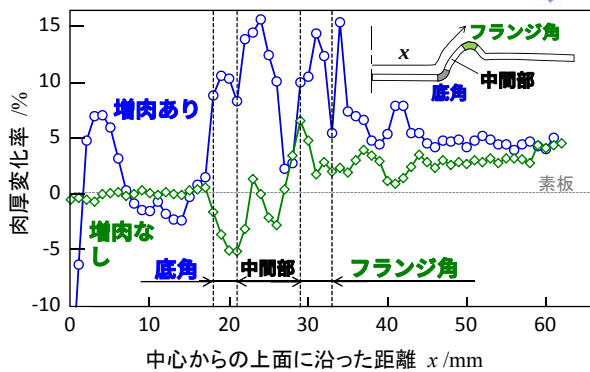
$s_1=22\text{mm}$, $s_2=19\text{mm}$, $h=10\text{mm}$ における増肉プレス成形された成形品断面形状



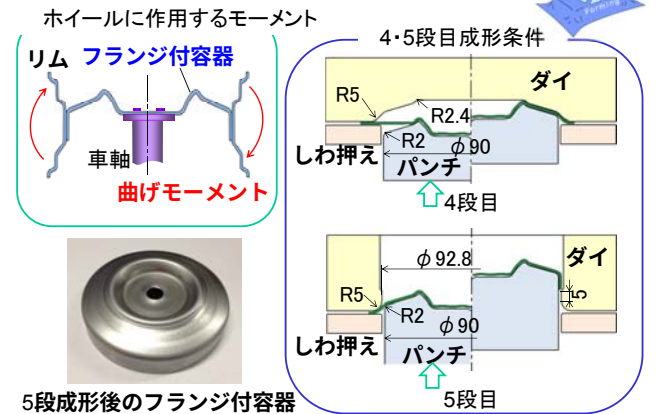
3段増肉プレス成形できる範囲



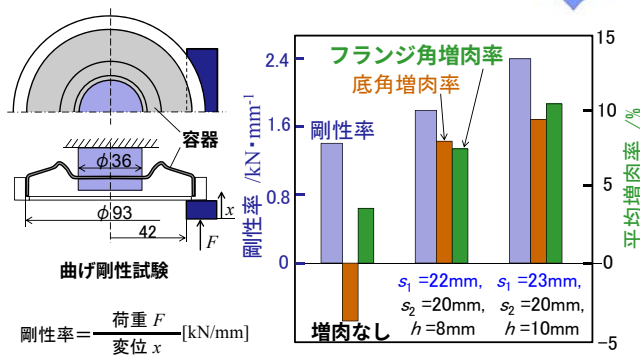
$s_1=23\text{mm}$, $s_2=20\text{mm}$, $h=10\text{mm}$ における肉厚分布



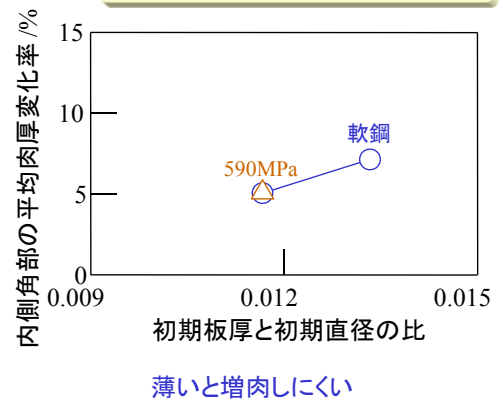
容器の曲げ剛性評価



剛性率に及ぼす成形条件の影響



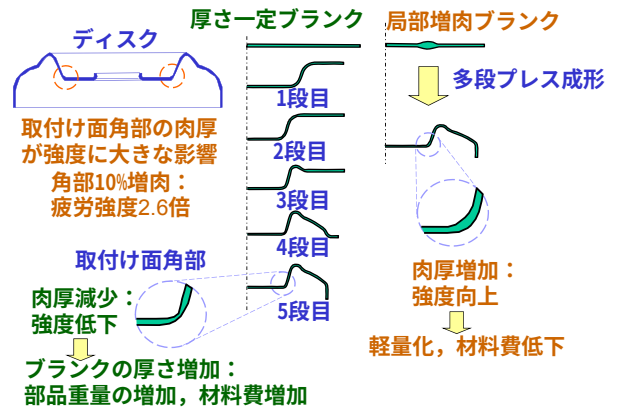
内側角部の平均肉厚変化率



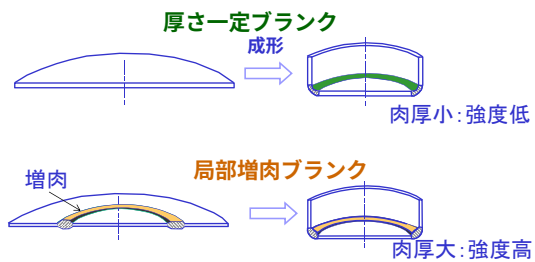


- 1) ホイールディスクのプレス増肉成形
- 2) 軸対称局部増肉テーラードブランク
- 3) 角筒容器用局部増肉テーラードブランク

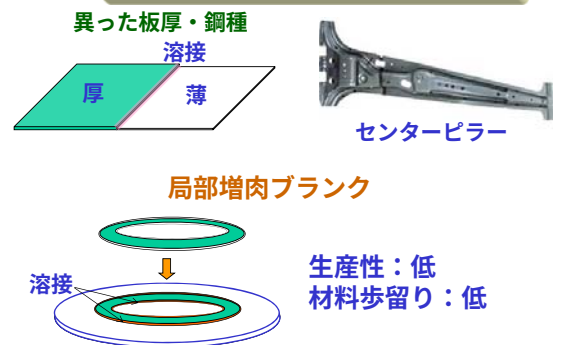
肉厚分布制御による絞り部品の軽量化



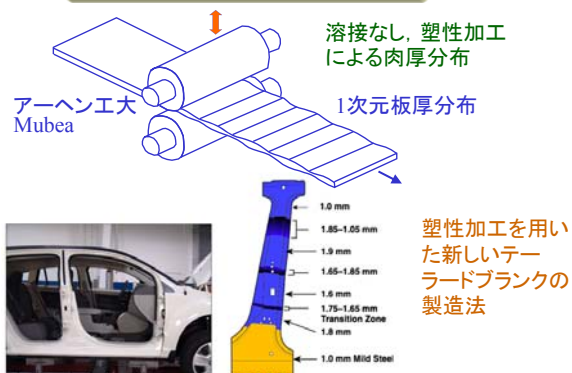
局部増肉テーラードブランクのプレス成形



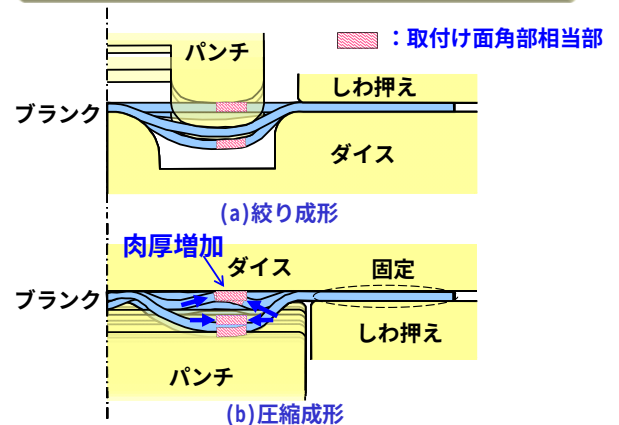
溶接テーラードブランク



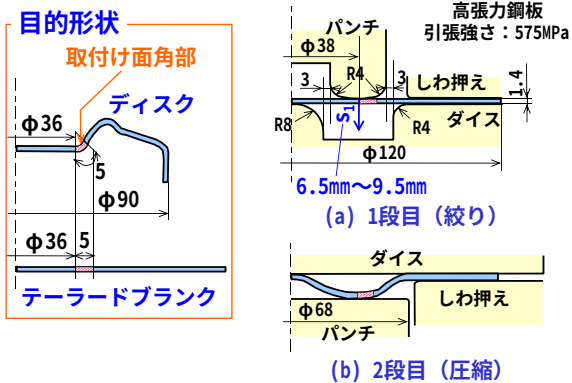
圧延テーラードブランク



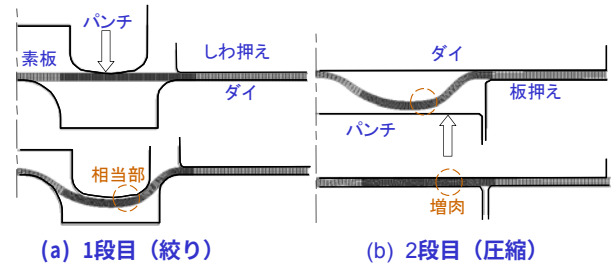
板鍛造によるテーラードブランクの成形法



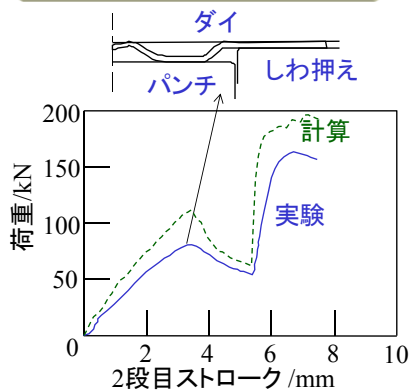
テーラードブランクの板鍛造条件



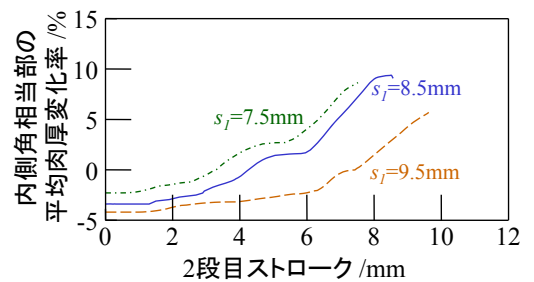
テーラードブランクの板鍛造の有限シミュレーション



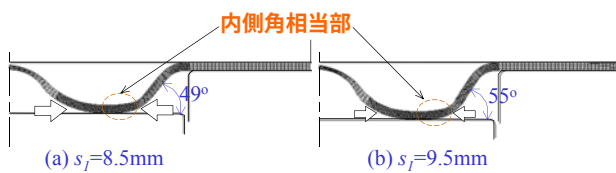
2段目の成形荷重の変化



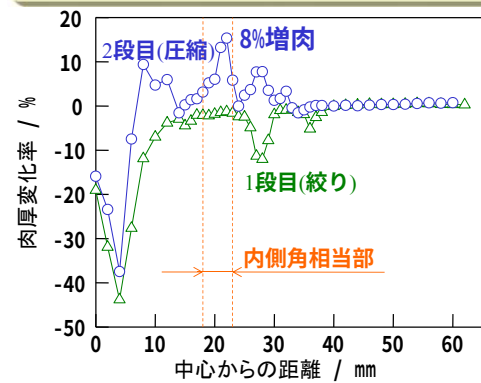
2段目における内側角相当部の平均肉厚の変化



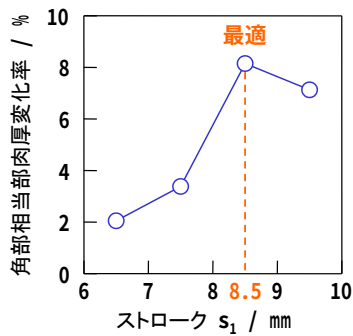
1段目成形後のブランク形状



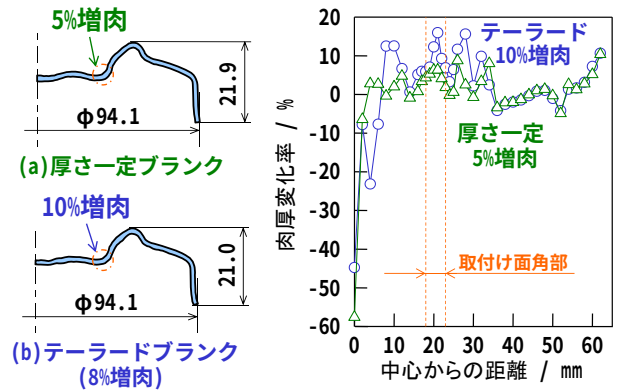
テーラードブランクの肉厚分布の実験結果 ($s_f = 8.5\text{mm}$)



角部相当部肉厚変化率に及ぼす
1段目のストロークの影響



ディスクの肉厚分布の実験結果

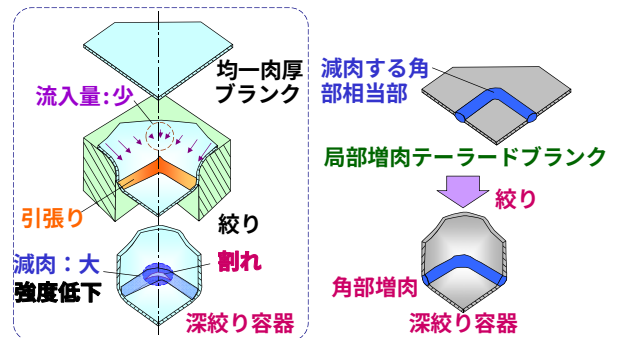


- 1) ホイルディスクのプレス増肉成形
- 2) 軸対称局部増肉テラードblank
- 3) 角筒容器用局部増肉テラードblank

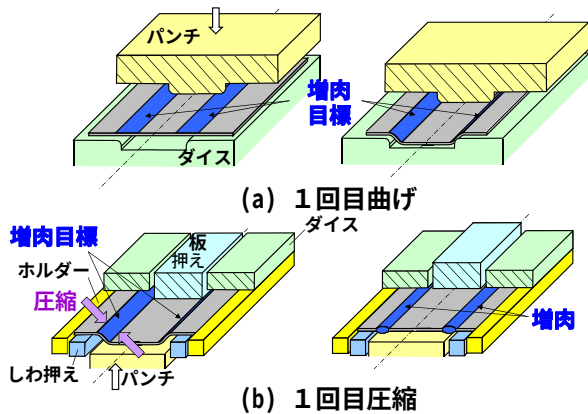


板鍛造された局部増肉テラードblankの
角筒容器深絞り加工

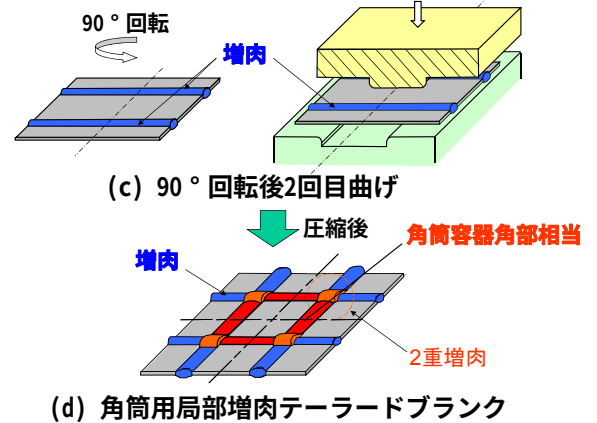
角筒容器深絞り



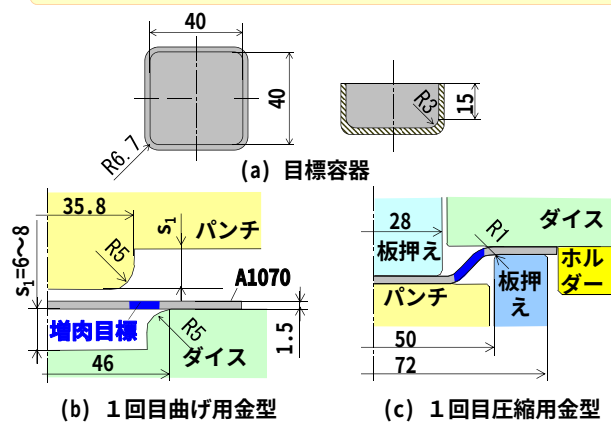
角筒用局部増肉テラードblankの板鍛造法



角筒用局部増肉テラードblankの板鍛造法

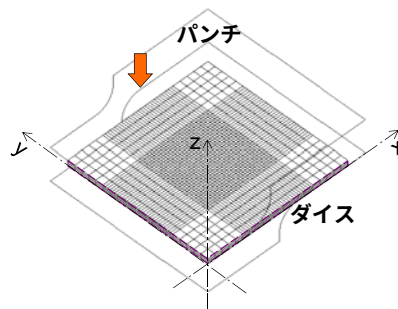


角筒用局部増肉テーラードブランクの板鍛造法

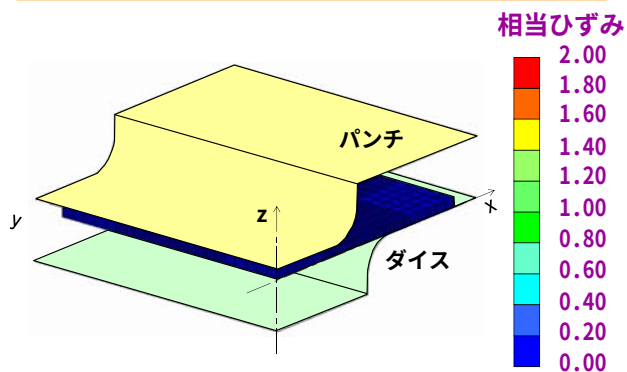


局部増肉の有限要素シミュレーションの条件

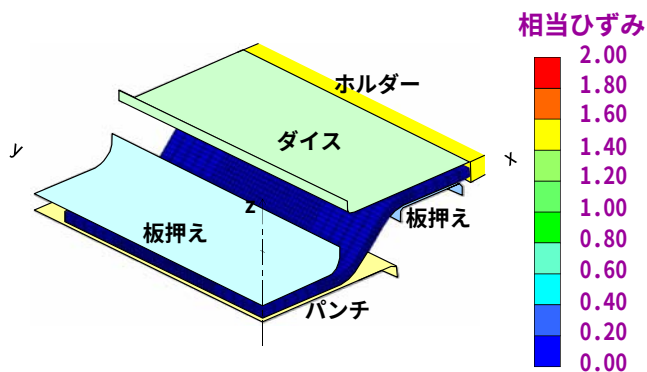
ソフト: LS-DYNA (陽解法)
 ブランク: ソリッド要素, 金型: 剛体, 1/4モデル
 変形抵抗: $\sigma = 166\epsilon^{0.27}$ MPa (A1070), 板厚 1.5mm



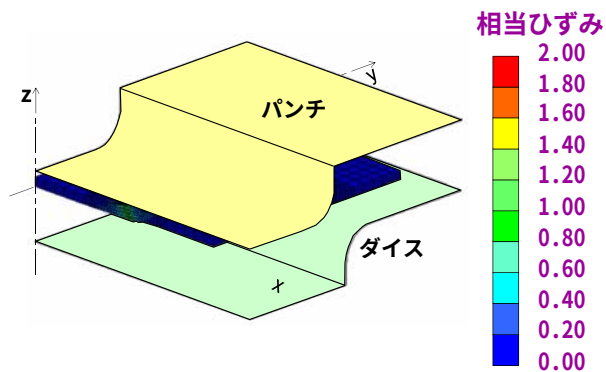
$s_f = 8.0$ mmにおける1回目曲げ時の変形挙動



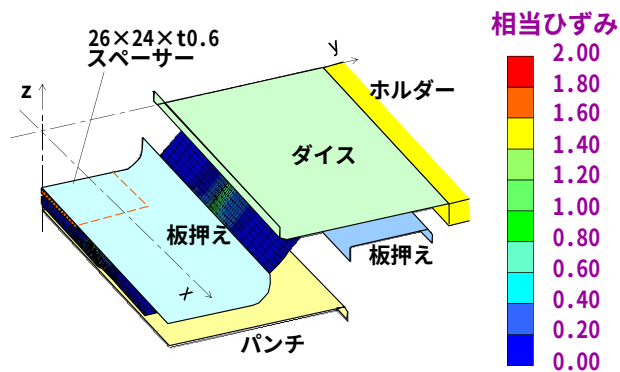
$s_f = 8.0$ mmにおける1回目圧縮時の変形挙動



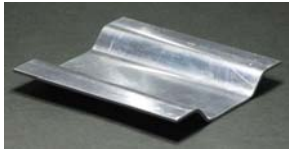
$s_f = 8.0$ mmにおける2回目曲げ時の変形挙動



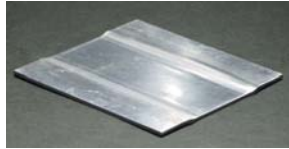
$s_f = 8.0$ mmにおける2回目圧縮時の変形挙動



$s_I=8.0\text{mm}$ における実験により得られた1回目の
曲げおよび圧縮後の板材

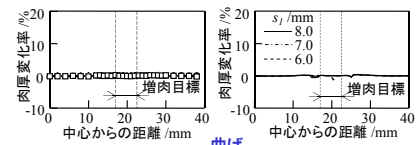


(a) 曲げ



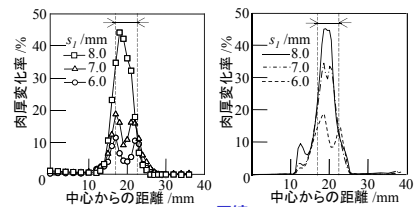
(b) 圧縮

1回目の曲げおよび圧縮後の板材の肉厚分布



曲げ

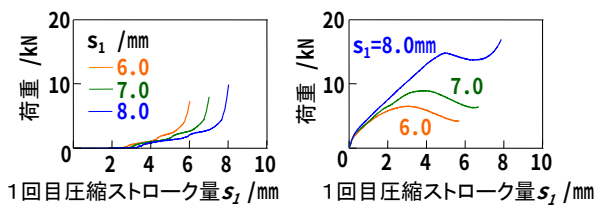
圧縮



(a) 実験

(b) 計算

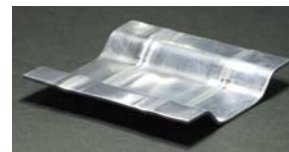
1回目曲げおよび圧縮における
荷重—ストローク曲線



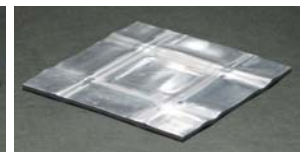
(a) 曲げ

(b) 圧縮

$s_I=8.0\text{mm}$ における実験により得られた2回目の
曲げおよび圧縮後の板材

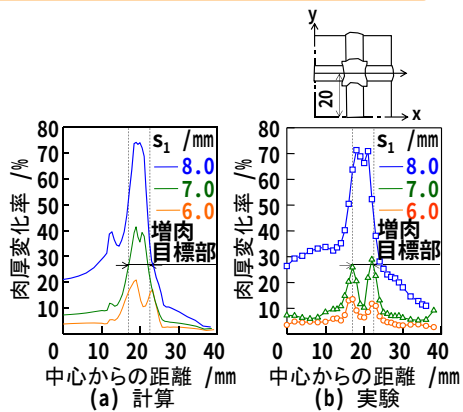


(a) 曲げ



(b) 圧縮

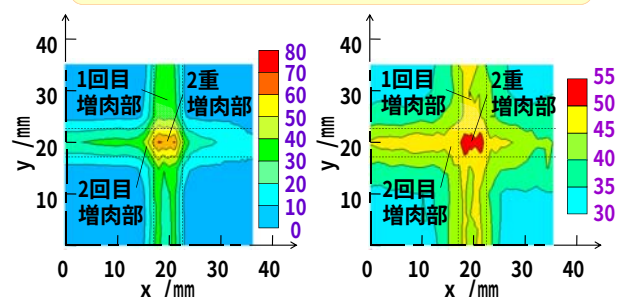
2回目圧縮後の板材の肉厚分布



(a) 計算

(b) 実験

$s_I=8.0\text{mm}$ における2回目圧縮後の板材の
肉厚・硬さ分布

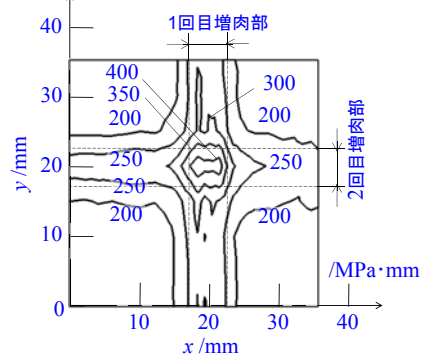


(a) 肉厚変化率 / %

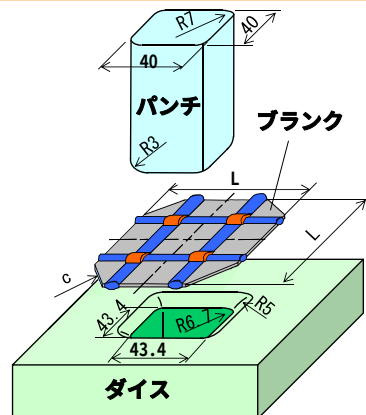
(b) ビッカース硬さ HV0.1

$s_f=8.0\text{mm}$ における2回目圧縮後の板材の強度分布

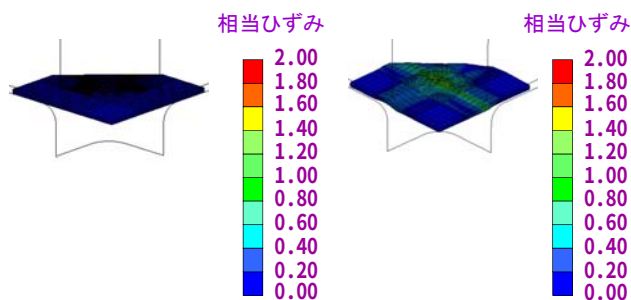
強度＝変形抵抗×板厚, 変形抵抗＝ $(9.8/3) \times \text{硬さ}$



角筒容器の深絞り加工における金型



角筒容器の深絞り加工の有限要素シミュレーション



(a) 均一肉厚ブランク

(b) 局部増肉ブランク

角筒容器の限界絞り高さ

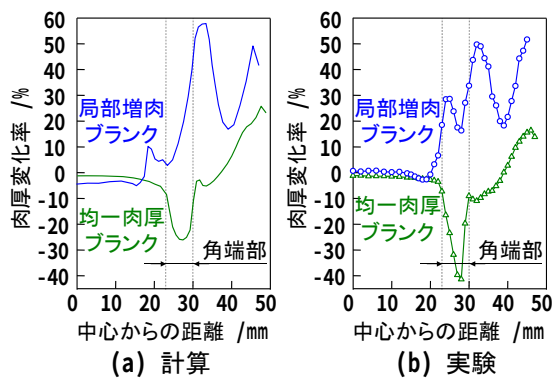


(a) $L=75\text{mm}$ (絞り高さ21.3mm) (b) $L=80\text{mm}$ (絞り高さ23.8mm相当)
均一肉厚ブランク



(a) $L=80.0\text{mm}$ (絞り高さ25.2mm) (b) $L=85.0\text{mm}$ (絞り高さ28.3mm) (c) $L=87.4\text{mm}$ (絞り高さ29mm相当)
局部増肉ブランク

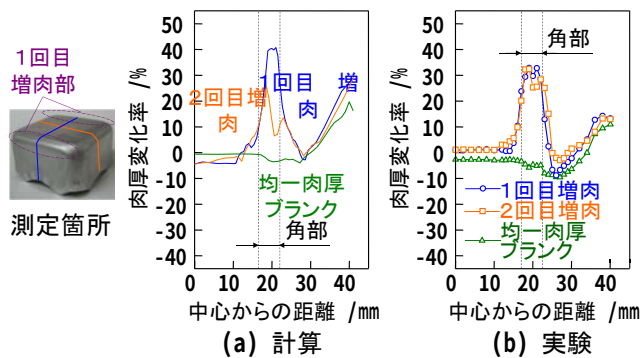
$L=75\text{mm}$ における角筒容器の対角方向肉厚分布



(a) 計算

(b) 実験

$L=75\text{mm}$ における角筒容器の対辺方向肉厚分布



(a) 計算

(b) 実験