

高張力鋼部材のプレス成形技術

豊橋技術科学大学 森 謙一郎

<http://plast.me.tut.ac.jp/>

自動車の燃費を向上するために、軽量化が望まれており、特に電気自動車では軽量化でないと性能を発揮できない。軽量化に対して、高張力鋼板の自動車部材への利用が急増している。本講演では、高張力部材のプレス成形において、高張力鋼板、スプリングバック、伸びフランジ、割れ、焼付き、しわ、せん断加工、テーラードブランク、接合、ホットスタンピングなどについて紹介する。

高張力鋼部材のプレス成形技術 における最新研究動向



豊橋技術科学大学 森謙一郎



1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

— 軽量自動車部品の成形 —

100kg軽量:1km//燃費向上

軽量材料の成形

- 超高張力鋼板：ウルトラハイテン(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)

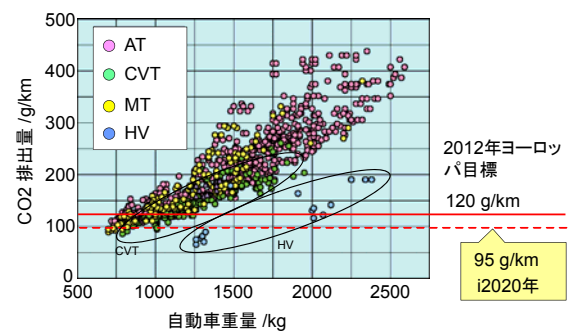
軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形

シミュレーション技術

- 有限要素法

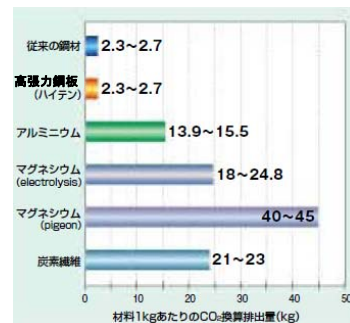
自動車のCO2排出量と自動車重量



自動車用板材の比較

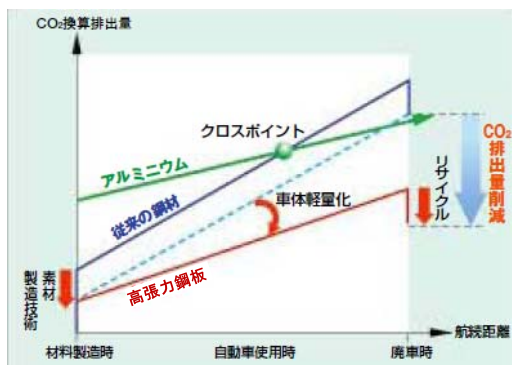
板材	引張強さ	比重	比強度	コスト(1kg当り)	生産量
ウルトラハイテン	980～1470MPa	7.8	126～188MPa	100円程度	鉄: 12億ton
従来ハイテン	490～790MPa	7.8	63～101MPa		
軟鋼板 SPCC	340MPa	7.8	44MPa		
アルミ合金板 A6061(T6処理)	310MPa	2.7	115MPa	500円～600円	アルミ: 3400万ton
マグネシウム合金板 AZ31	270MPa	1.8	137MPa	3000円程度	マグネ: 60万ton
PAN系炭素繊維	2000MPa～5000MPa	1.6		2000円程度	炭素繊維: 2万ton

製造のためのCO₂排出量



鉄鋼: 鉄鉱石の還元, 炭素量の調節
アルミ: ボーキサイトの電気分解

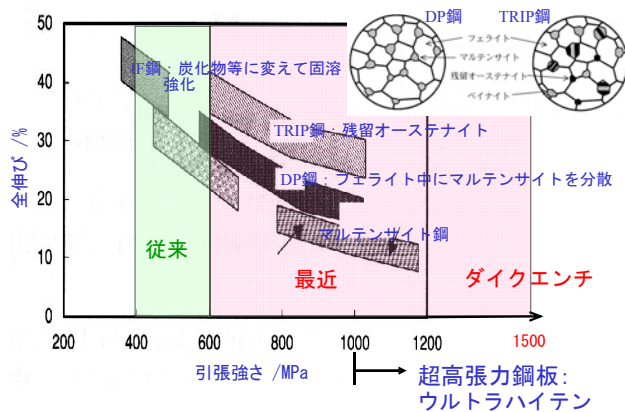
自動車使用におけるCO₂排出量



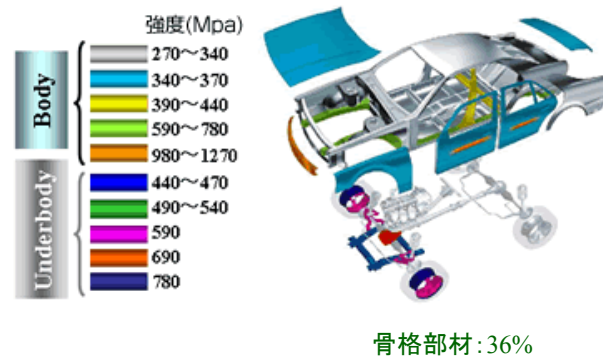
自動車用板材の特徴比較

板材	成形性	設備コスト	材料コスト	生産性	グローバル化
ハイテン	△	○	○	○	△
ホットスタンピング	△	×	△	×	×
アルミニウム	△	△	×	○	△
プラスチック	×	△	×	△	△

高張力鋼板の強度

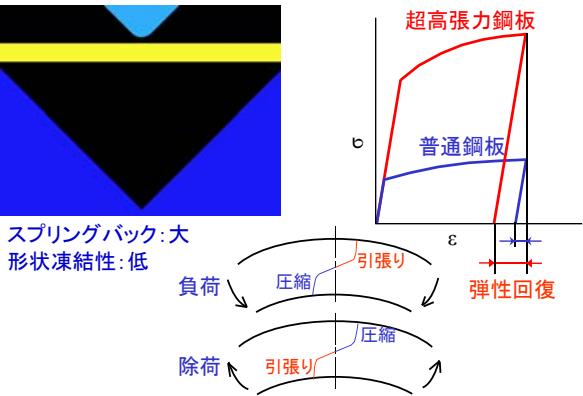


自動車車体への高張力鋼板の適用

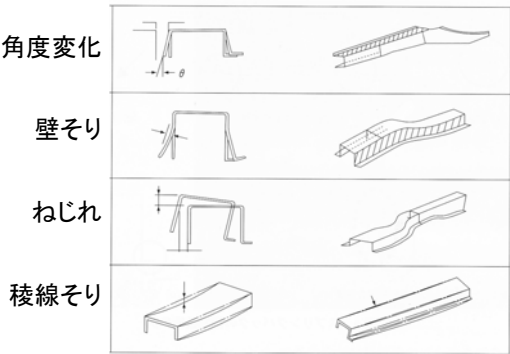


1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

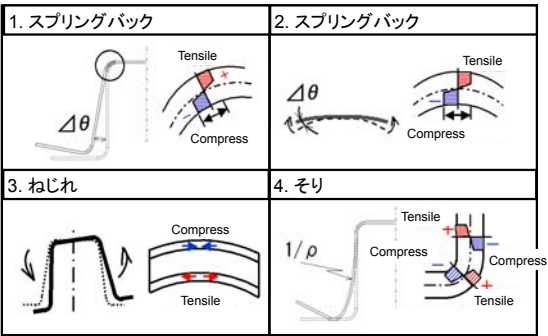
超高張力鋼板のスプリングバック



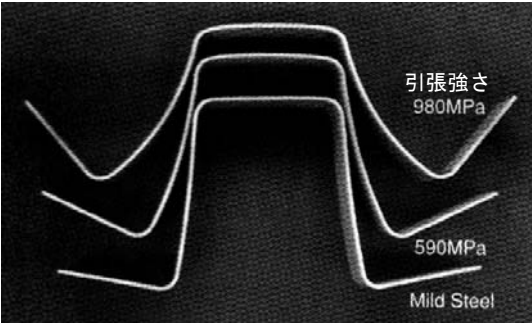
超高張力鋼板の形状凍結性



超高張力鋼板の形状凍結性

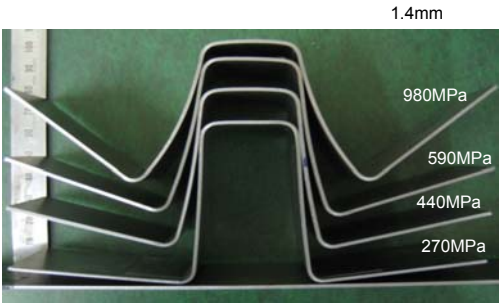


高張力鋼板のハット曲げにおけるスプリングバック



岩谷：プレス技術，42-8(2004)，43

高張力鋼板のハット曲げにおけるスプリングバック

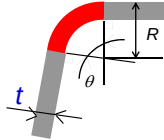


スプリングバック

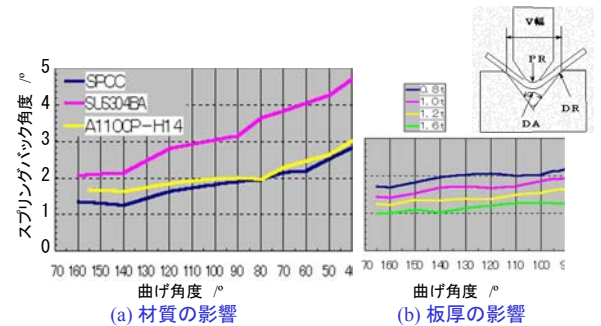
スプリングバック $\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \frac{M}{EI} \theta R \approx \frac{3\sigma\theta R}{Et}$$

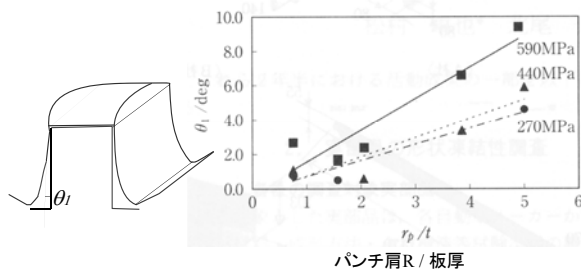
M : 曲げモーメント ($bt^2\sigma/4$), 大
 E : ヤング率, 小
 I : 断面2次モーメント ($bh^3/12$), 小
 θ : 曲げ角, 大
 R : 曲げ半径, 大
 σ : 変形抵抗, 大
 t : 板厚, 小



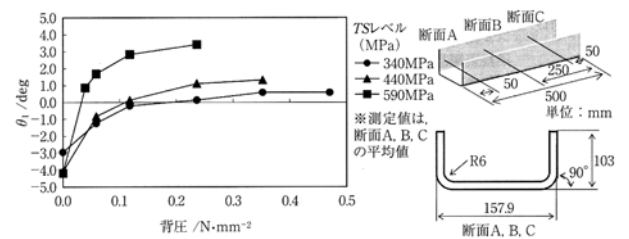
V曲げにおけるスプリングバックに及ぼす材質および板厚の影響



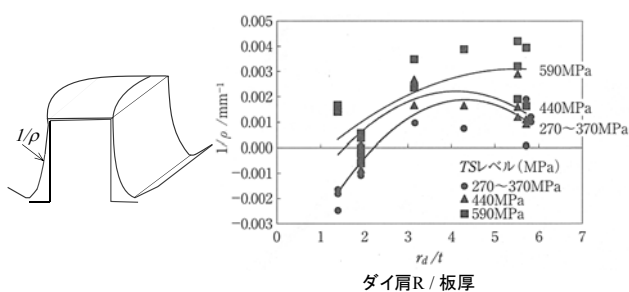
ハット曲げにおけるスプリングバックに及ぼす材質の影響



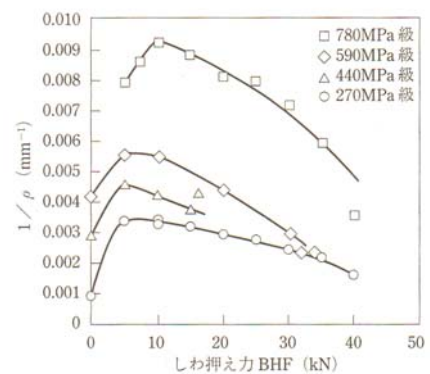
U曲げにおけるスプリングバックに及ぼす背圧の影響



ハット曲げにおけるそりに及ぼす材質の影響



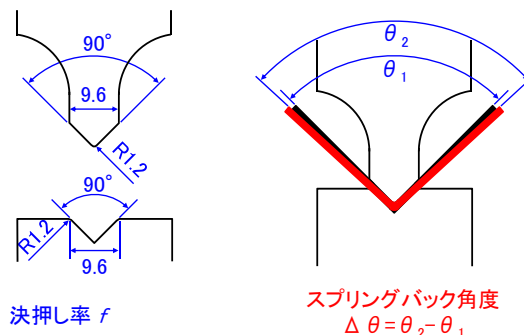
ハット曲げにおけるそりに及ぼすしわ押え力の影響



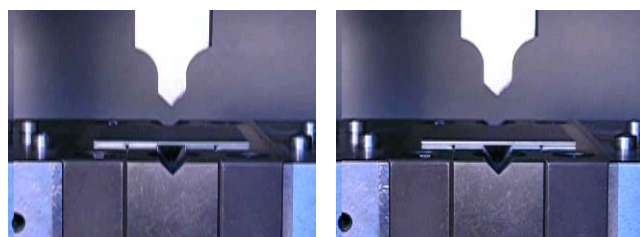
直動式サーボプレス(80tonf)



V曲げ加工における金型形状、決押し率・角度の定義

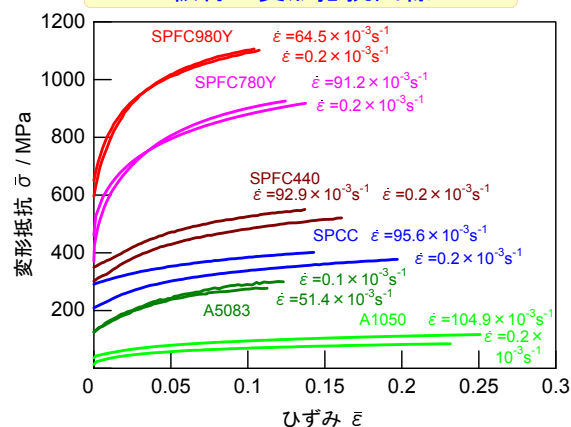


V曲げの変形挙動

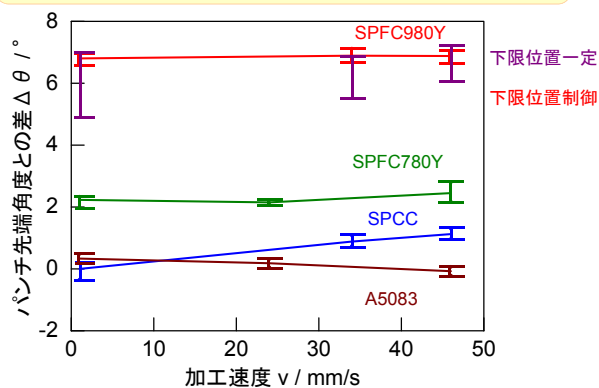


$v=24\text{mm/s}$, $f=0\%$, $T=0.5\text{s}$

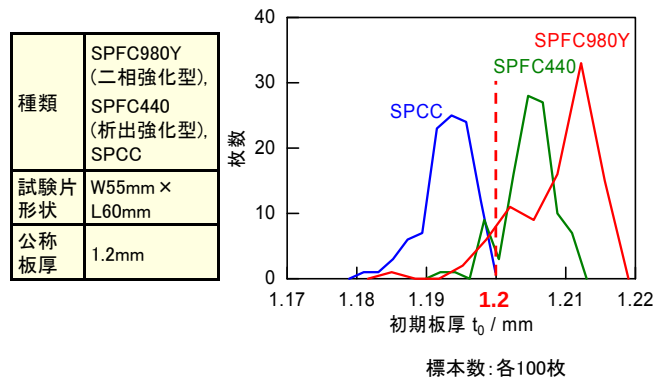
板材の変形抵抗曲線



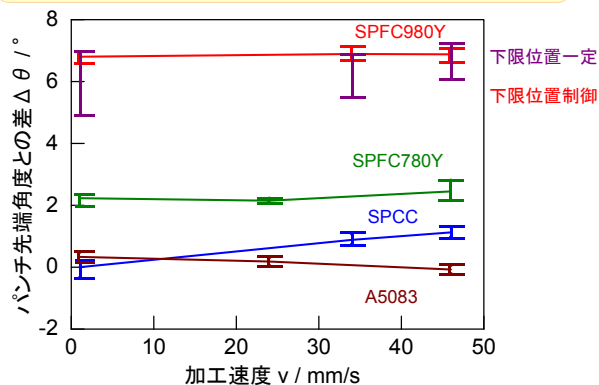
V曲げにおけるパンチ先端角度との差と加工速度の関係($f=0\%$)



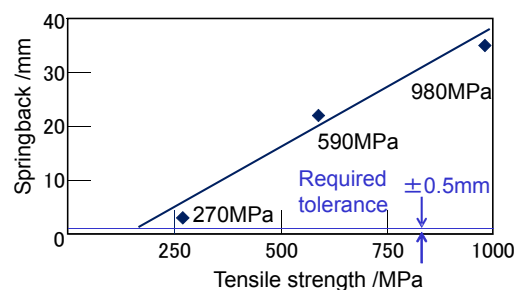
試験片の種類、初期板厚のばらつき



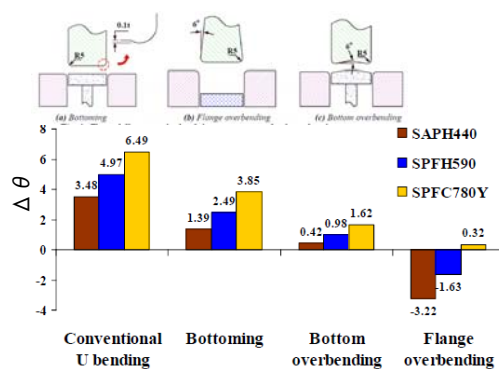
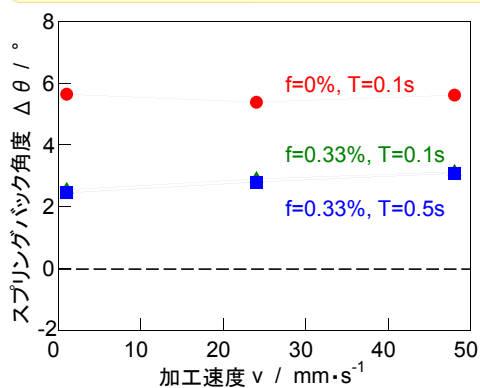
V曲げにおけるパンチ先端角度との差と加工速度の関係($f=0\%$)



スプリングバックと引張強さの関係

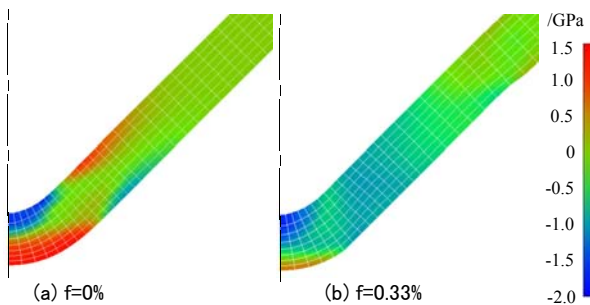


V曲げにおけるスプリングバック角度と加工速度の関係 (980MPa)

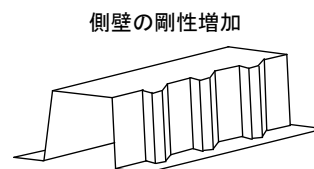


Kaewtatip, P., Prasitkhetkhan, N., Khantachawana, A., Premanond, V., Hato, R., Sresomreong, B., Koga, N., Proc. 9th ICTP, (2008).

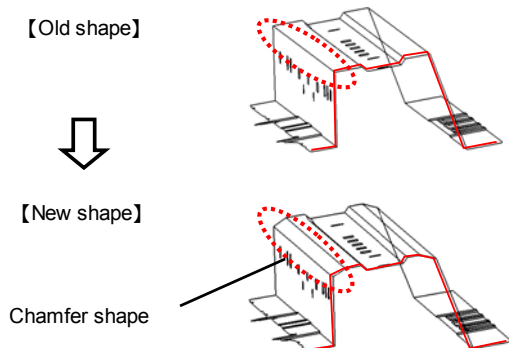
V曲げの決押しによる除荷前の板幅方向応力分布への影響(SPFC980Y)



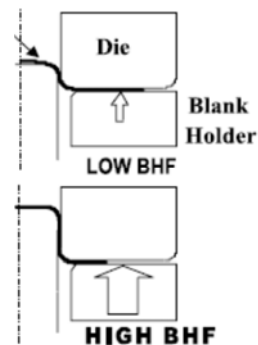
側壁ビードによるスプリングバックの防止



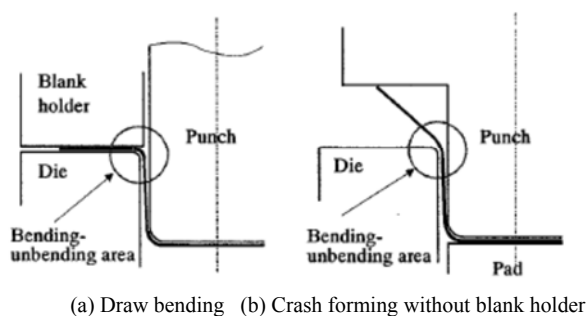
面取りによるスプリングバックの防止



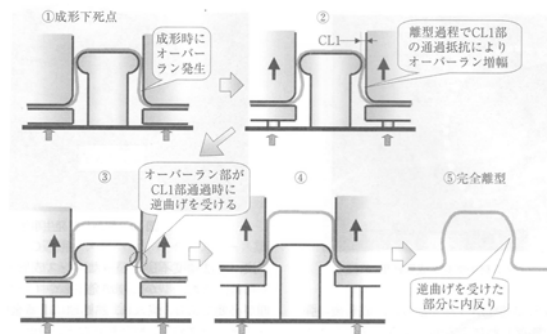
しわ押え力制御によるスプリングバックの防止



フォーム成形によるスプリングバックの防止



オーバーラン誘発パンチによるスプリングバックの防止

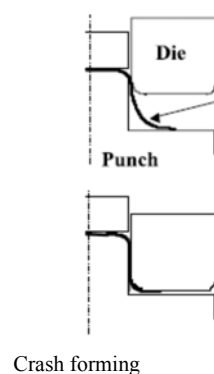


Overrun inducing punch

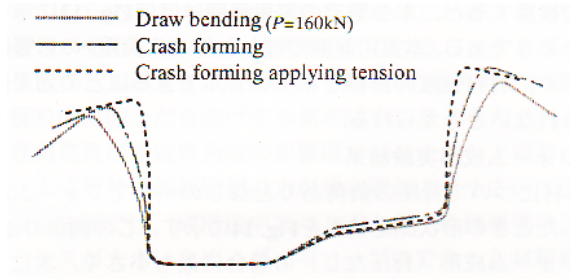
オーバーラン誘発パンチによるスプリングバックの防止

Tensile strength /MPa		Conventional shaped punch	Overrun inducing punch
452	Material A		
597	Material B		
838	Material C		
1025	Material D		
1211	Material G		
1520	Material H		

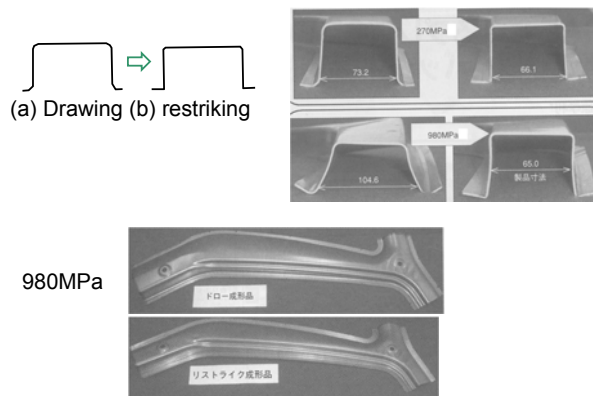
リストライクによるスプリングバックの防止



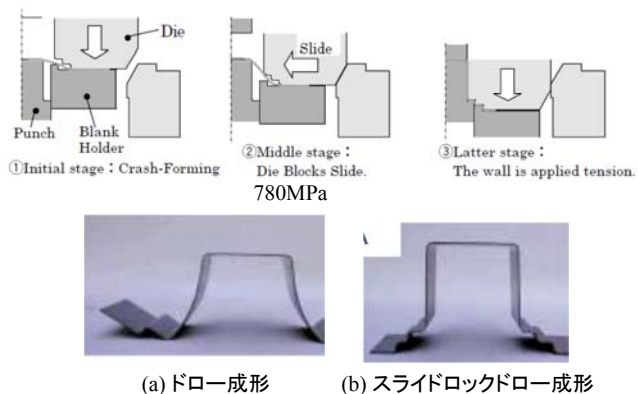
リストライクによるスプリングバックの防止



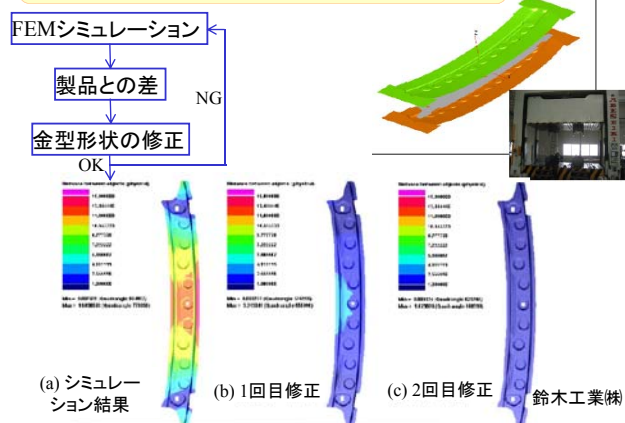
リストライクによるねじれの防止



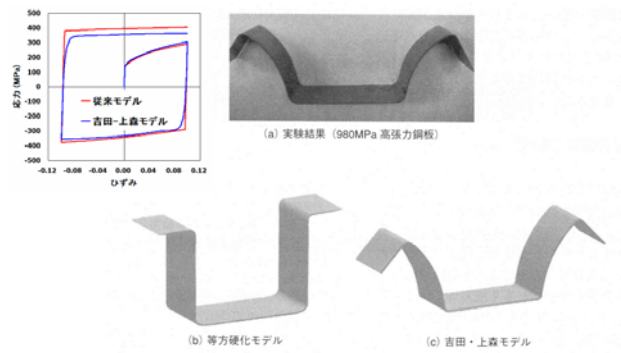
スライドロックドロによるスプリングバックの防止



有限要素シミュレーションを用いたスプリングバックを考慮した金型形状の修正

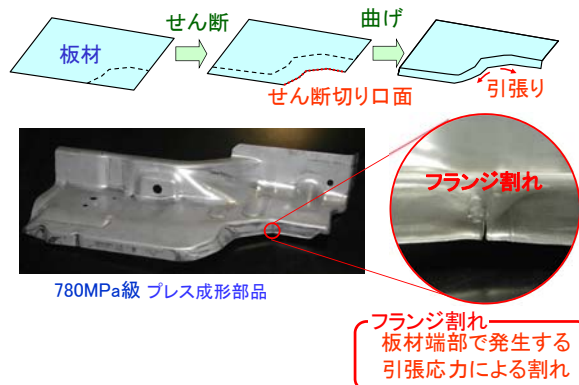


有限要素シミュレーションにおけるスプリングバックに及ぼす構成式の影響

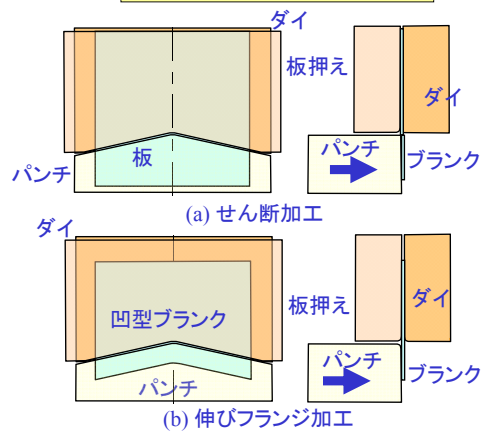


1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

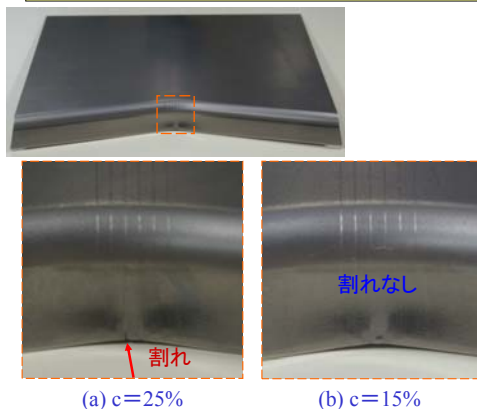
プレス成形におけるフランジ割れ



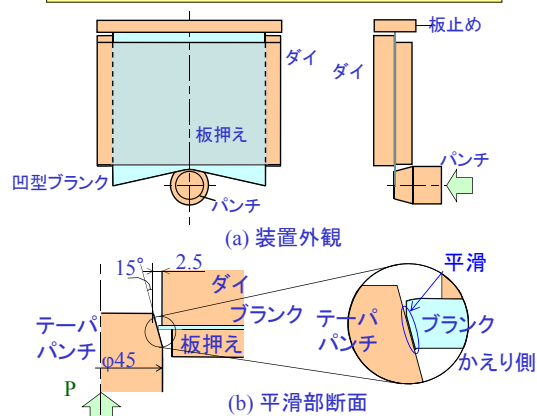
せん断と伸びフランジ成形



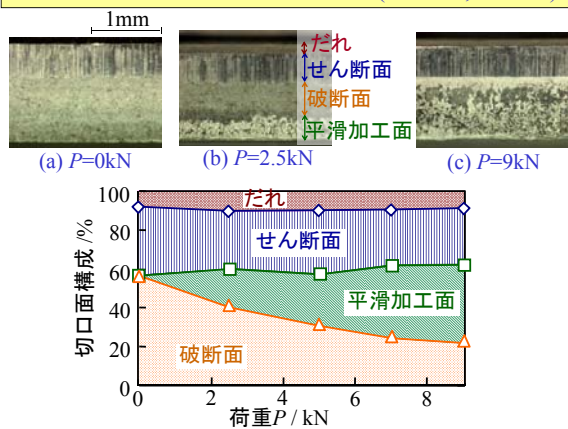
フランジ割れにおよぼすせん断クリアランス比の影響 (JSC780Y, L=17mm)



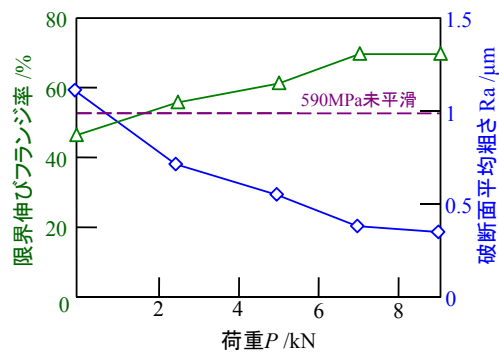
テーパパンチによる破断面平滑加工



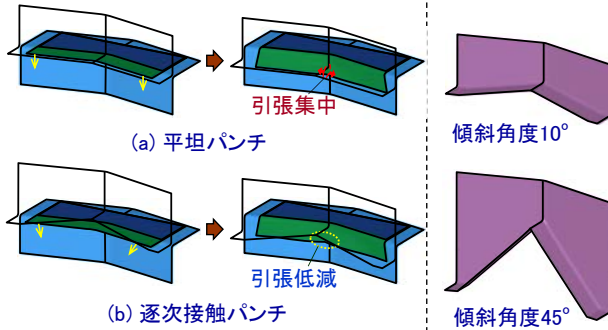
平滑化後の切口面の構成比 (JSC780, $c=20\%$)



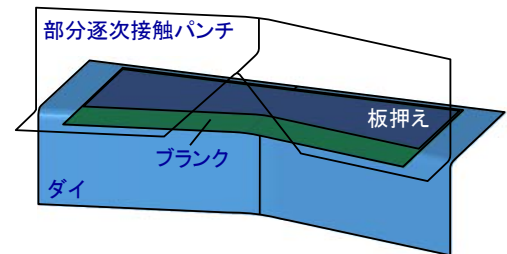
平滑化による限界伸びフランジ率の向上 (JSC780, $c=20\%$)



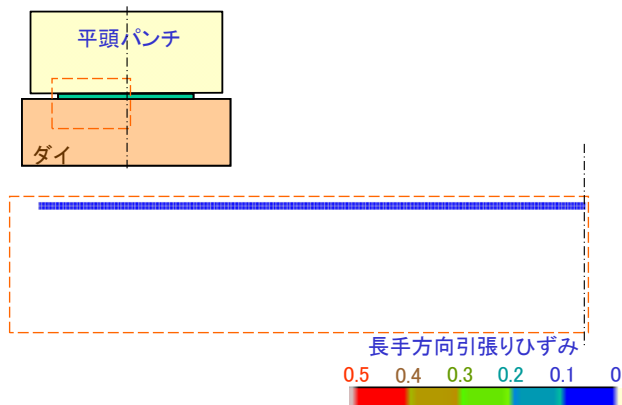
部分逐次接触パンチによる
伸びフランジ成形性の向上



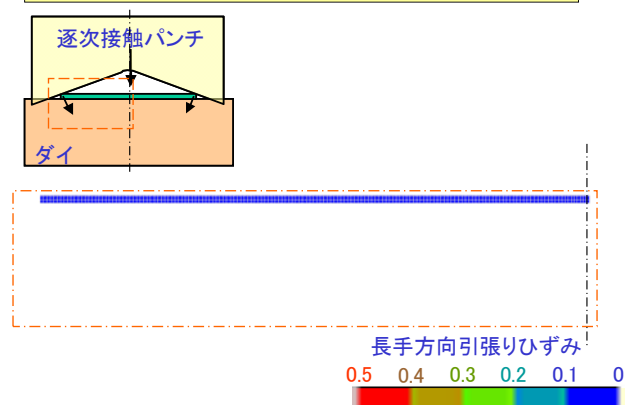
部分逐次接触パンチによる伸びフランジ曲げ成形



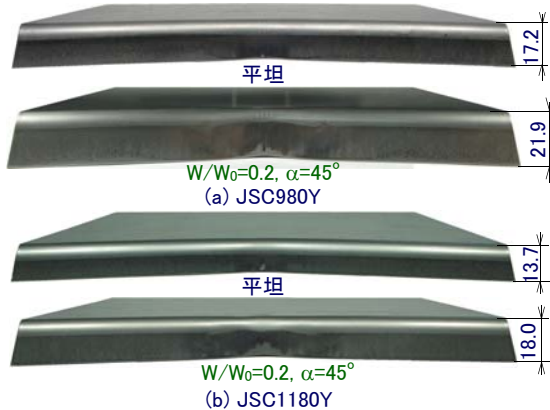
平坦パンチによる長手方向の引張りひずみ分布
(JSC780, $\alpha=0^\circ$, $L=18\text{mm}$)



逐次接触パンチによる長手方向の引張りひずみ分布
(JSC780, $\alpha=10^\circ$, $W/W_0=1.0$, $L=18\text{mm}$)



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



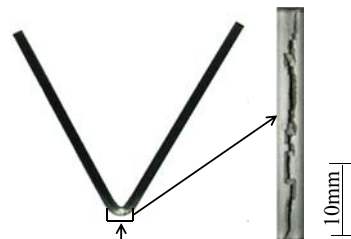
1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

各種鋼板の深絞り成形性



(a) 270 MPa, 55 mm (b) 590 MPa, 40 mm (c) 980 MPa, 25 mm

980MPa級超高張力鋼板の曲げ加工における割れ



1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

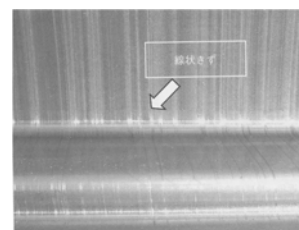
しごき絞り加工における焼付き



超高張力鋼プレス成形車体部品

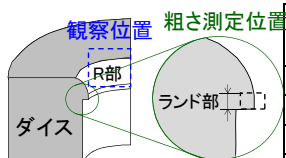


焼付き

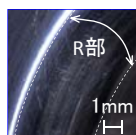


型かじり

使用したコーティングダイス



コーティング	平均高さ / μmRa	最大高さ / μmRz
なし	0.03	0.19
TiN(CVD)2500HV	0.03	0.43
TiN(PVD)3000HV	0.06	0.84
VC.2700HV	0.02	0.12



コーティングなし

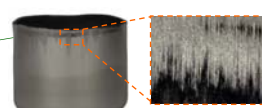
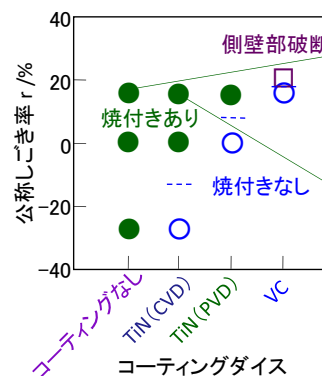
TiN(CVD)

TiN(PVD)

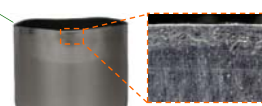
VC

TD-VC皮膜: 900-1000°Cで塩浴処理

しごき絞り加工の耐焼付き性に及ぼすコーティングダイスの影響 (SPFC1180YN, $v=8.3\text{mm/s}$)



(a) $r=15\%$, コーティングなし



(b) $r=15\%$, TiN(CVD)

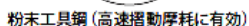
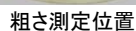
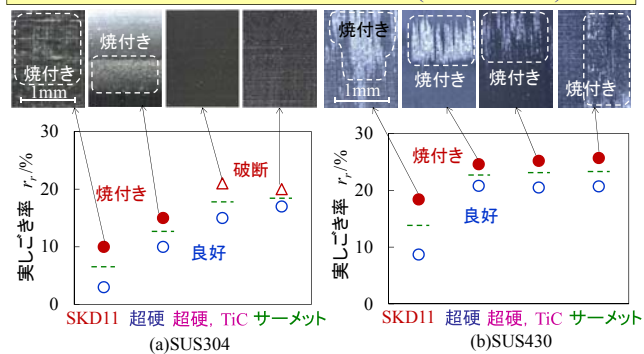


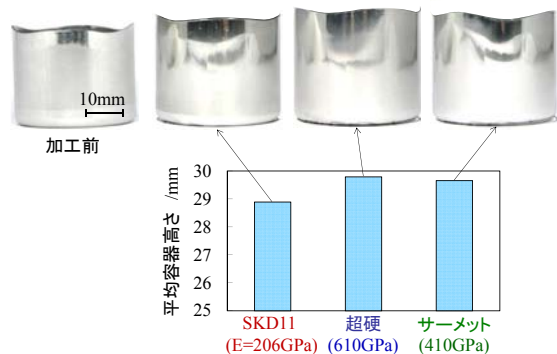
Diagram illustrating the punch and die configuration for the experiment. The punch (SKD11) has a diameter d_p and moves at a velocity of 8.3 mm/s. The punch is positioned above the substrate (素板) and the die (深絞りダイス, SKD11). The punch diameter d_p is 0.6 mm. The die has a diameter D and a thickness of 0.6 mm. The punch is shown in contact with the die.



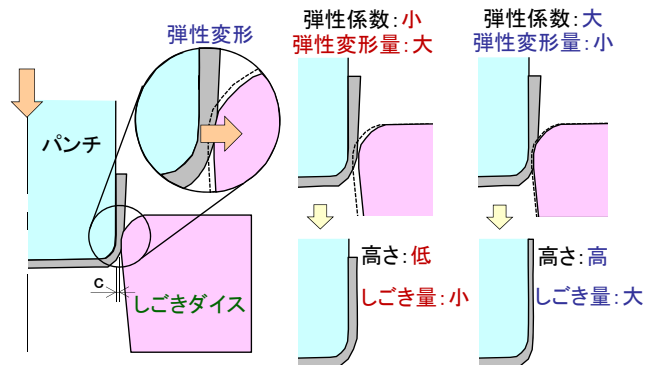
ダイス材質	最大高さ /μmRz	平均粗さ /μmRa	縦弾性係数 E /GPa	硬さ /HV50
SKD11	0.28	0.02	206	750
超硬	0.21	0.02	610	1650
超硬, TiC	0.14	0.02	610	1650, 3000
サーメット TiCN	0.20	0.02	410	1550



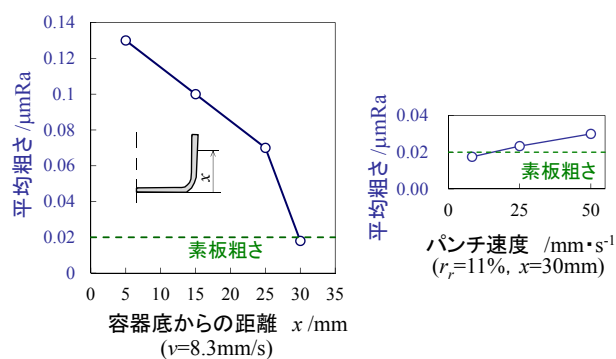
SUS430, $r_n=30\%$ における容器高さに及ぼす ダイス材質の影響



実しごきに及ぼすダイスの 弾性係数の影響

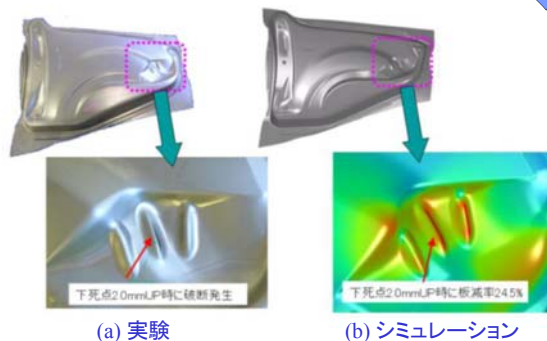


SUS430のサーメットにおける 容器表面粗さに及ぼすパンチ速度の影響

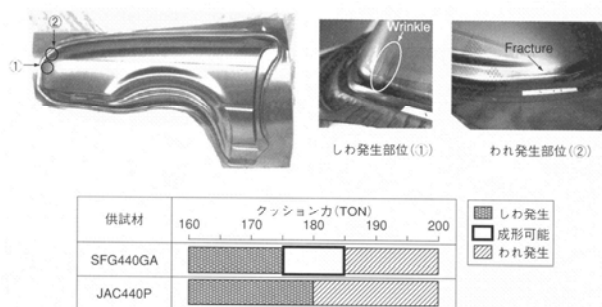


1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

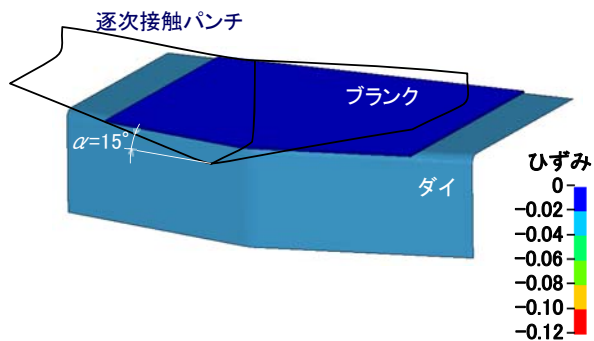
プレス成形におけるしわの予測



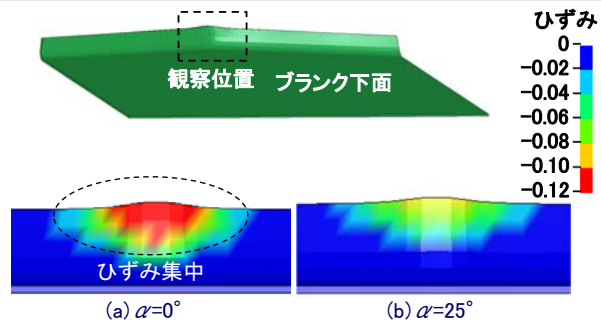
しわと割れ



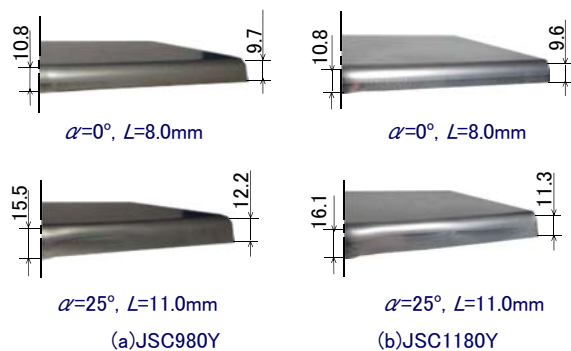
計算による板幅方向のひずみ
(JSC980Y, $t=1.02\text{mm}$, $L=8\text{mm}$, $\alpha=15^\circ$)



計算による板幅方向のひずみ分布
(JSC980Y, $t=1.02\text{mm}$, $L=10\text{mm}$)

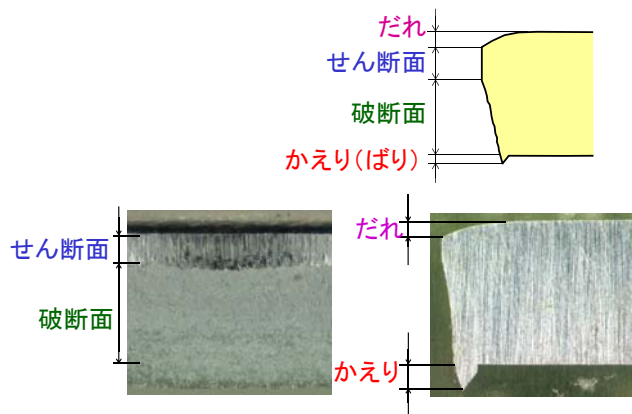


実験における逐次接触パンチによる
限界成形品高さ ($t=1.22\text{mm}$)

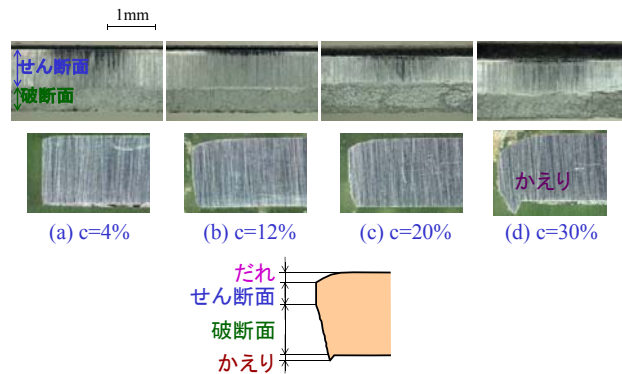


1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

せん断された切口面

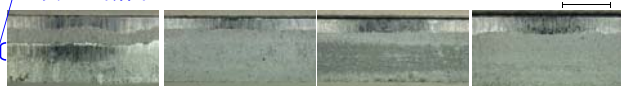


せん断切口面におよぼすクリアランス比の影響
(低強度の高張力鋼板: JSC390W)



せん断切口面におよぶクリアランス比の影響
(超高張力鋼板: JSC980Y)

二次せん断面

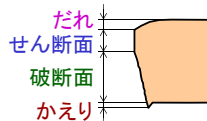


(a) $c=4\%$

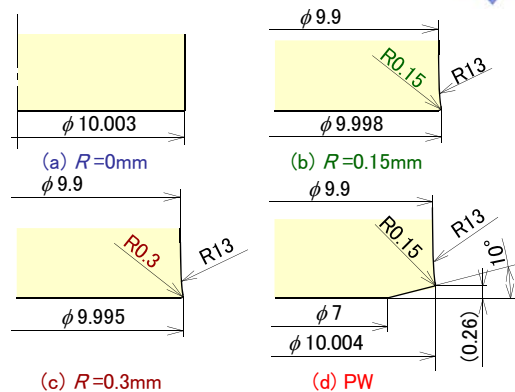
(b) $c=12\%$

(c) $c=20\%$

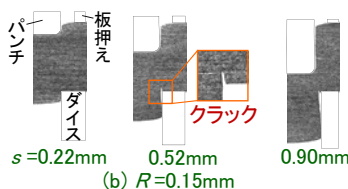
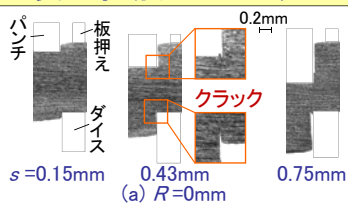
(d) $c=30\%$



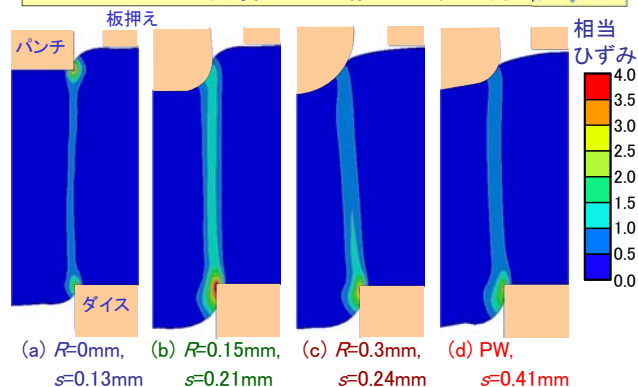
パンチ形状



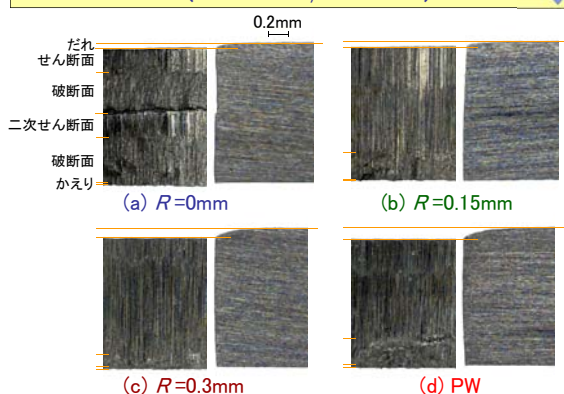
各ストロークにおける穴抜き加工中の板の変形挙動 (JSC980Y, $c=0.8\%$)



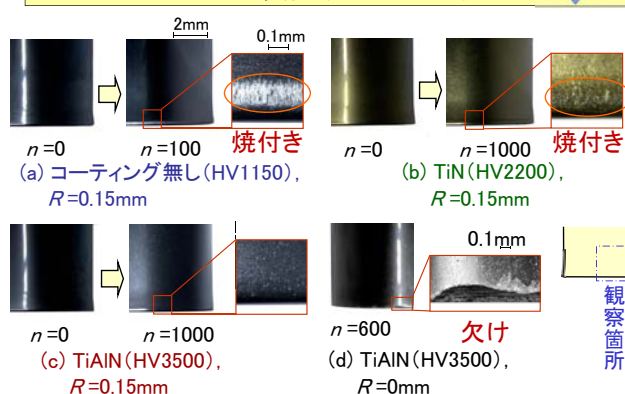
計算での荷重ピーク直前ストロークにおける計算による相当ひずみ分布



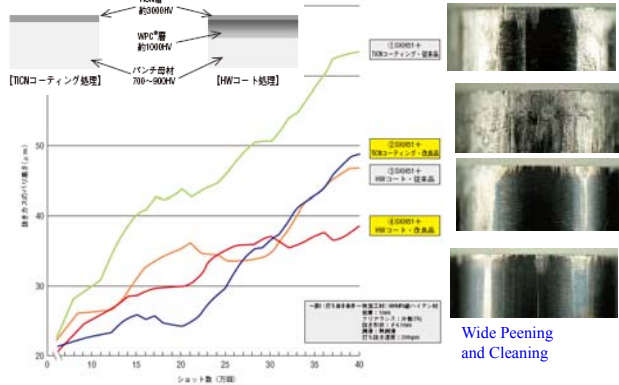
穴抜き加工された切口面の性状
(JSC980Y, $c=0.8\%$)



連続穴抜き加工前と加工後のパンチ表面 (JSC1180Y)

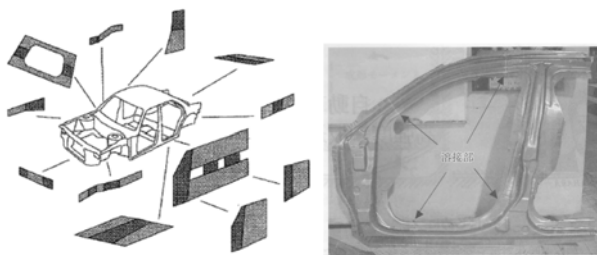


各種コーティング金型を用いた 980MPaの打抜き加工



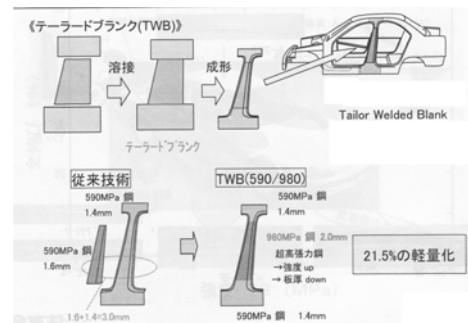
1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

テーラードブランク

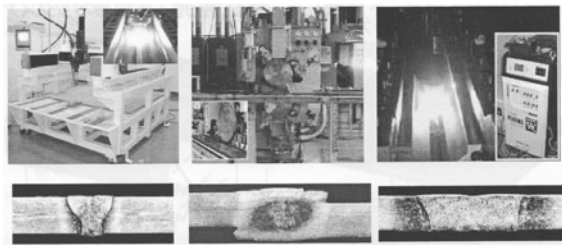


Tailored blanks, 590, 780 and 980MPa

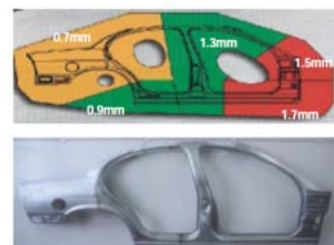
テーラードブランク



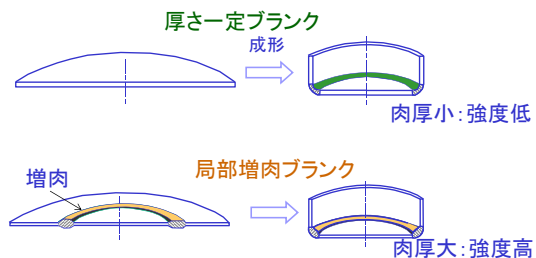
テーラードブランク



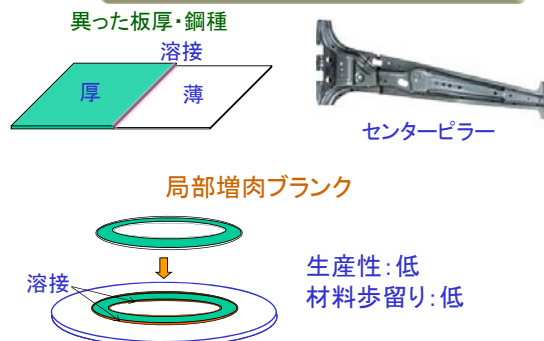
テーラードブランク



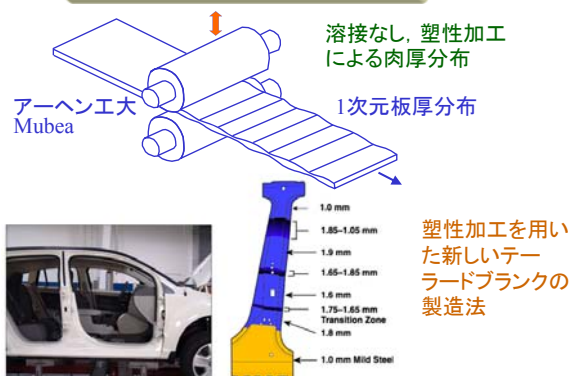
局部増肉テーラードブラנקのプレス成形



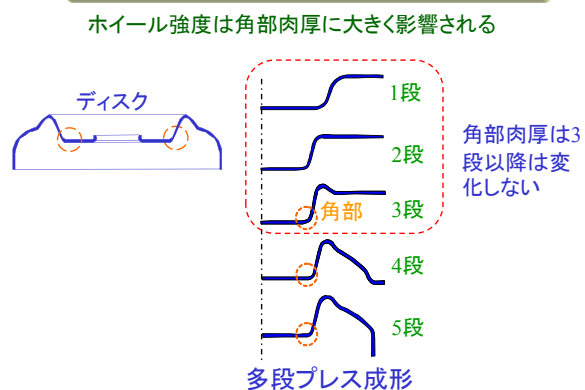
溶接テーラードブラנק



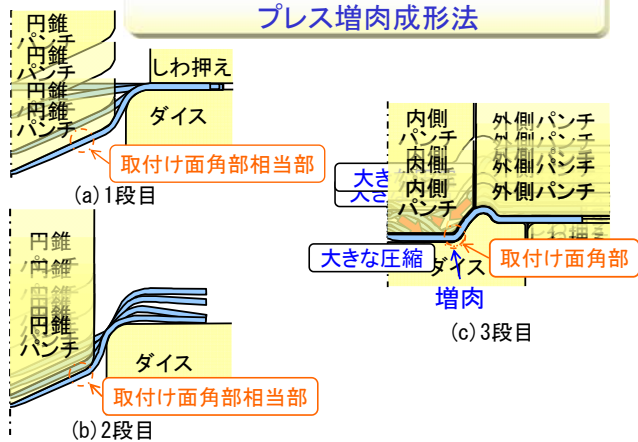
圧延テーラードブラנק



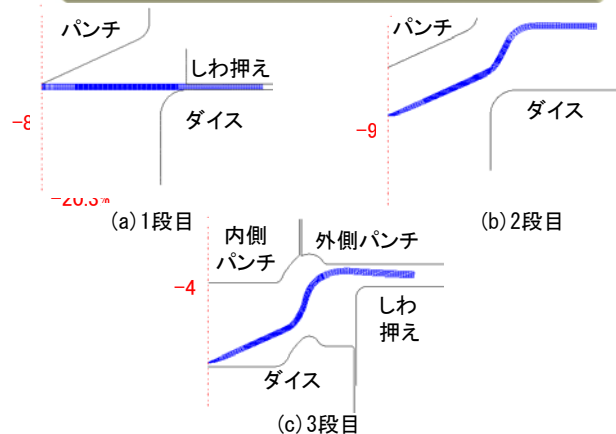
ホイールディスクの多段プレス成形



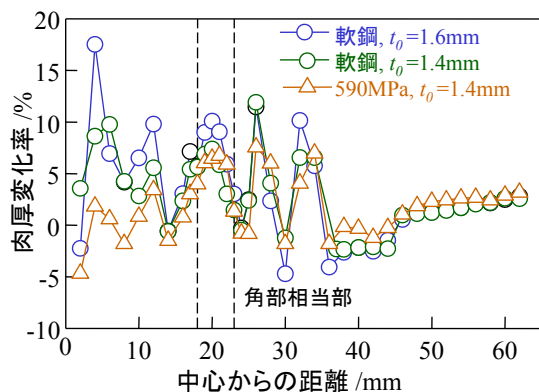
円錐パンチによるホイールディスクのプレス増肉成形法



増肉成形における変形挙動 ($\theta=25^\circ$)



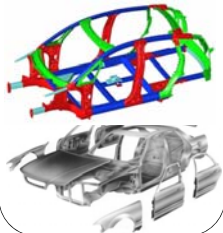
成形体の肉厚分布



1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

セルフピアシングリベットによる 高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合

板組の決定



接合条件の決定

- ・リベット
- ・ダイ
- ・板組

ラインでの接合作業



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

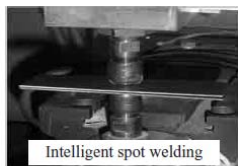
表



裏



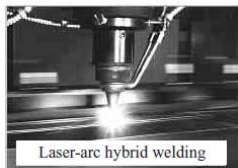
高張力鋼板の溶接



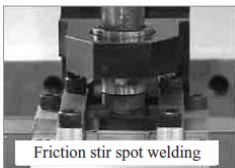
Intelligent spot welding



Arc welding

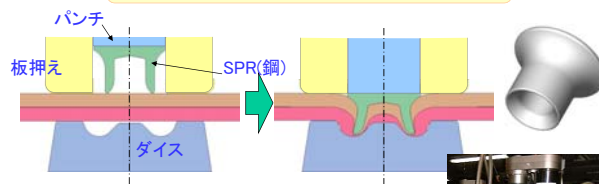


Laser-arc hybrid welding



Friction stir spot welding

セルフピアスリベッティング

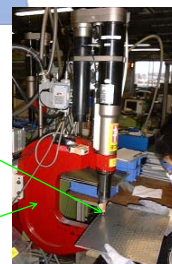


<工法のメリット>

- 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

接合部

Cフレーム



アルミニウム板と高張力鋼板の接合

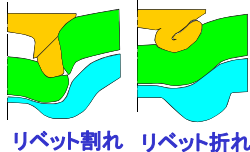
高張力鋼板

- ・高強度、高硬度
- ・延性小

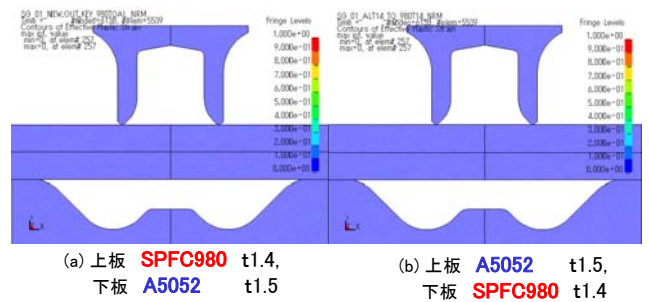
リベット硬度に近い

多種の不良が想定

・ダイ形状の最適化
(ダイ径、深さ)



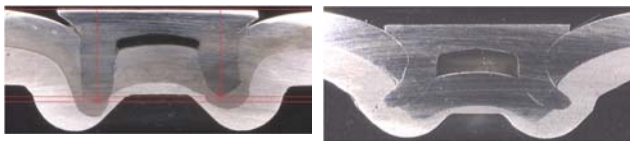
有限要素シミュレーション



ダイ形状の最適化

曲面ダイ

テーパダイ形状



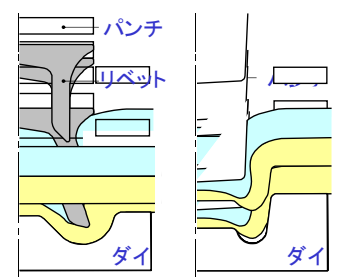
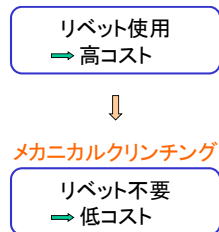
上板: SPFC980, 1.4mm, 下板: A5052, 1.5mm

メカニカルクリンチングによる 高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合

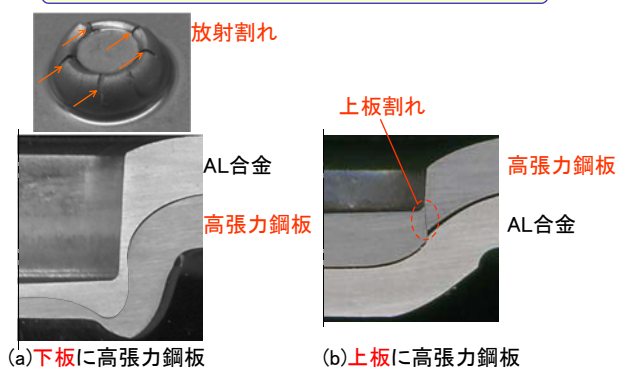
セルフピアシングリベット

セルフピアシング
リベット

メカニカル
クリンチング

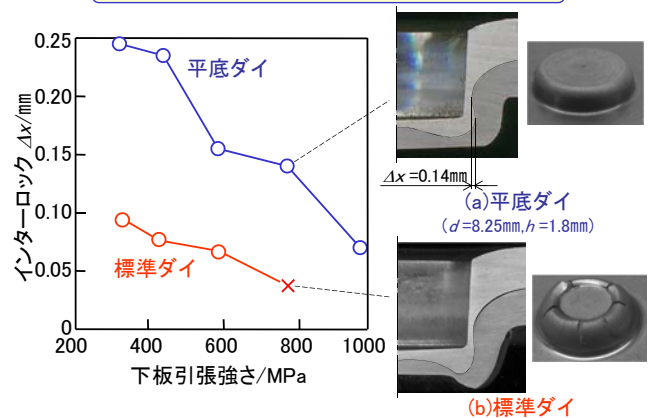


高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合

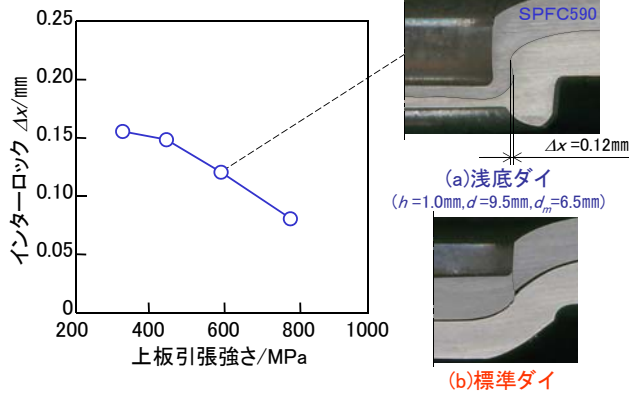


- ・高張力鋼板とアルミニウム合金板の接合性
- ・ダイ形状の改善による接合性の向上

平底ダイによる下板高張力鋼板の接合

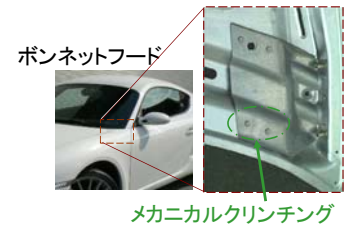


浅底ダイによる上板高張力鋼板の接合

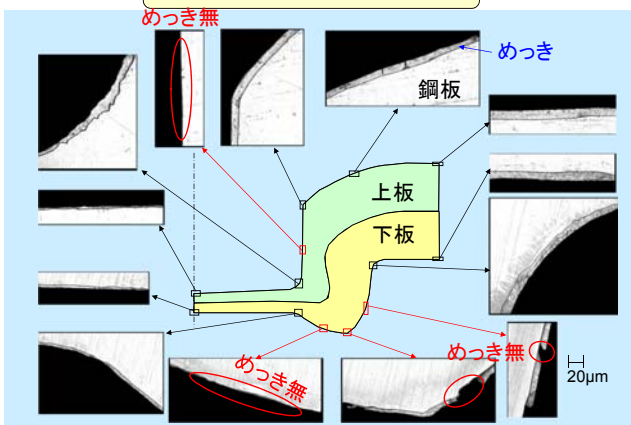


メカニカルクリンチングによる表面処理高張力鋼板の接合

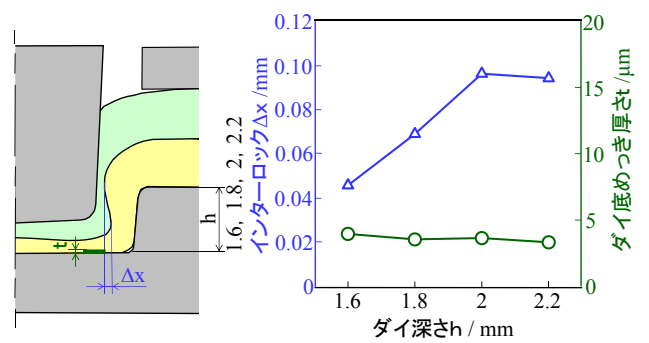
抵抗スポット溶接
電極の寿命: 短い
コーティング厚さ: 小さい



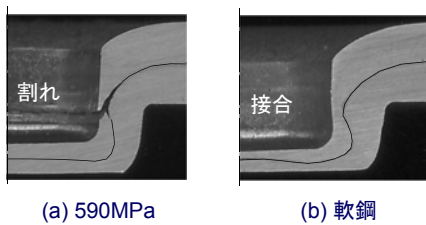
接合後の断面写真



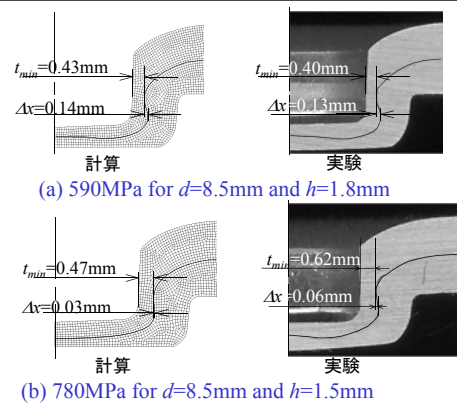
実験による Δx , t へ及ぼすダイ深さ h の影響



従来ダイによる590MPa 高張力鋼板の接合



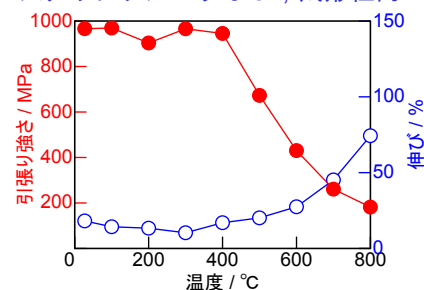
工具形状の修正



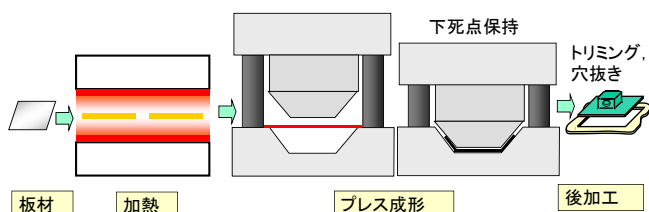
1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング

超高張力鋼板の高温引張り特性

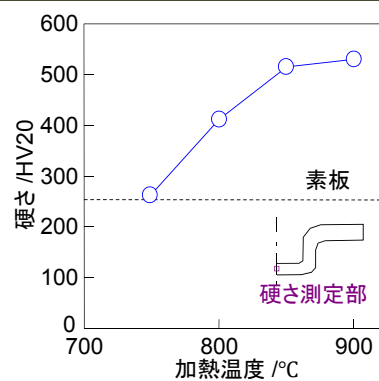
ホットスタンピング：成形荷重低下，
スプリングバックなし，成形性向上



ホットスタンピング

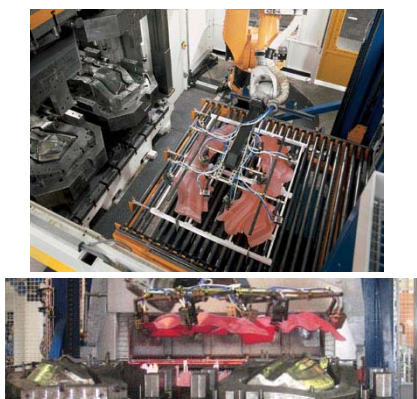


ホットスタンピングにおけるダイクエンチによる硬さの上昇



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

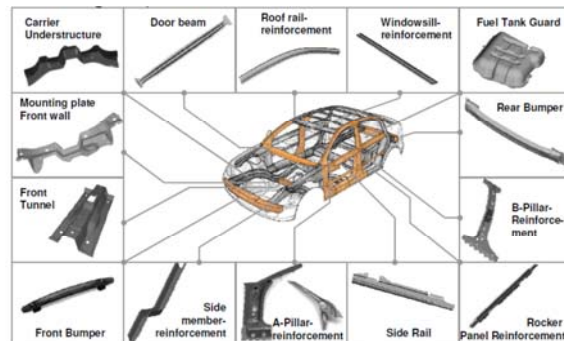


フォルクスワーゲン, パサート

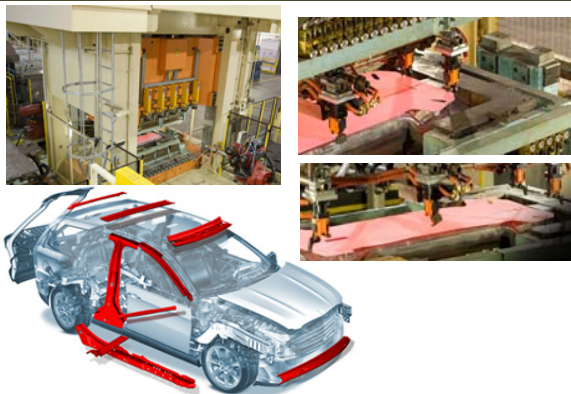


フォルクスワーゲン パサート, 骨格部材の16%が熱間プレス成形

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



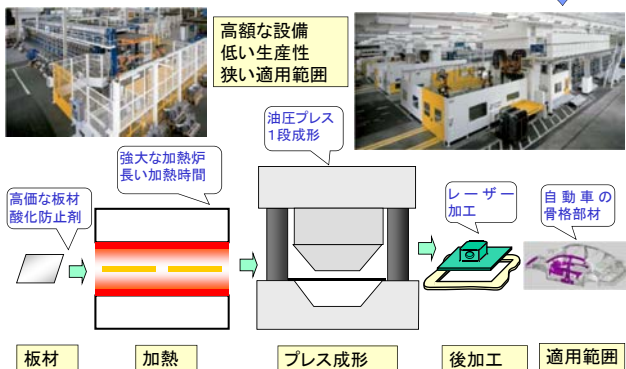
カナダ マグナ社におけるホットスタンピング成形品



アイシン高丘におけるホットスタンピング成形品



現行熱間プレス成形の問題点



1. 高張力鋼板
2. スプリングバック
3. 伸びフランジ
4. 割れ
5. 焼付き
6. しわ
7. せん断加工
8. テーラードブランク
9. 接合
10. ホットスタンピング