

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

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

自動車の燃費向上を目的として自動車の軽量化が望まれており，高張力鋼板の自動車部品への利用が急増している．引張強さが1GPaを超える超高張力鋼板も開発されるようになってきており，軽量化には非常に有効であるが，非常に高強度であるため，それを製品に成形する技術には問題も多い．一方，熱間プレス成形では，加熱することによって板材を軟化させ，成形荷重を低下させるとともに成形性も向上させる．さらに，金型急冷によって焼入れ強化も行うダイクエンチ法も開発されており，引張強さが1.5GPaに達する超高張力鋼成形品も得られている．熱間プレス成形は，成形中素材は軟らかく，成形後の製品は硬いという非常に有効な加工法である．本講演では，通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形，熱間プレス成形における局部ダイクエンチ，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，通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形，温・熱間せん断加工を説明する．

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. 超高張力鋼板と熱間プレス成形
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

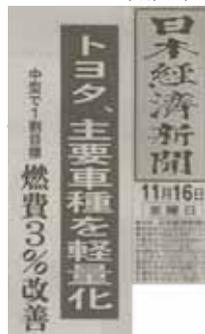
— 軽量自動車部品の成形 —

100kg軽量:1km/l燃費向上

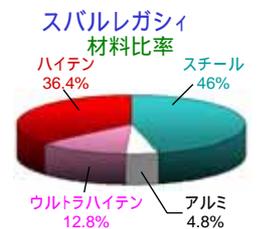
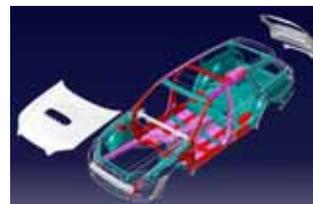
平成19年

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



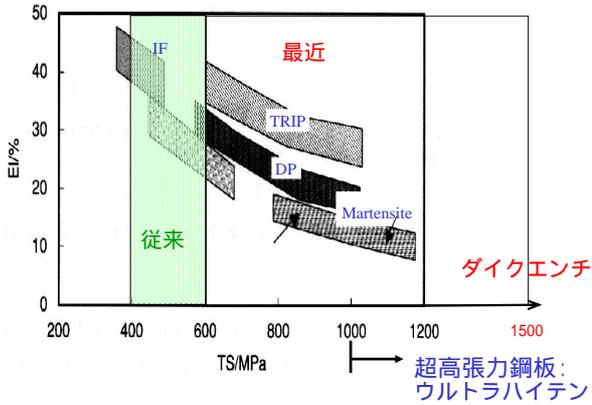
自動車車体への高張力鋼板の適用



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

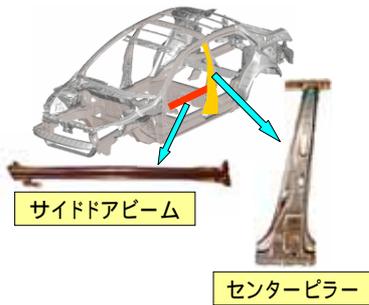


自動車用板材の比較

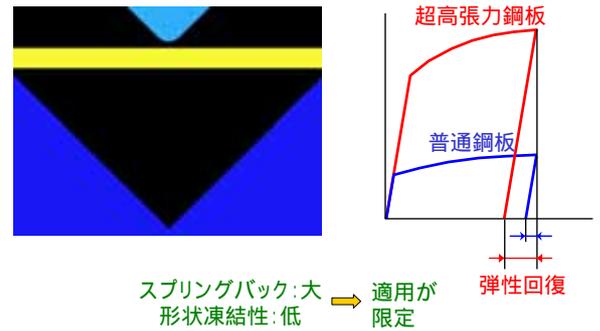
板材	引張強さ	比重	比強度	コスト(1kg当り)	生産量
ウルトラハイテン	980 ~ 1470MPa	7.8	126 ~ 188MPa	100円程度	鉄: 12億 ton
従来ハイテン	490 ~ 790MPa	7.8	63 ~ 101MPa		
軟鋼板 SPCC	340MPa	7.8	44MPa		
アルミ合金板 A6061(T6処理)	310MPa	2.7	115MPa	500円 ~ 600円	アルミ: 3400万 ton
マグネシウム合金板 AZ31	270MPa	1.8	137MPa	3000円程度	マグネ: 60万 ton

超高張力鋼板の自動車部材への適用

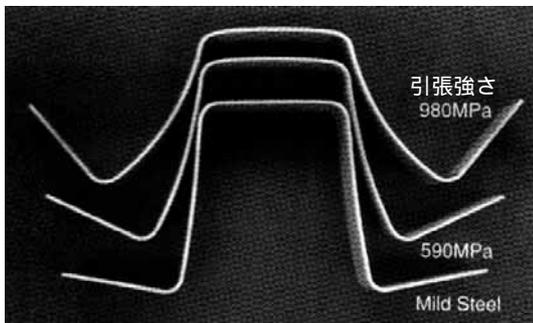
超高張力鋼板: 1GPa以上



超高張力鋼板のスプリングバック



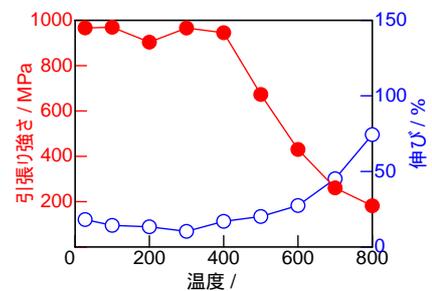
高張力鋼板のハット曲げにおけるスプリングバック



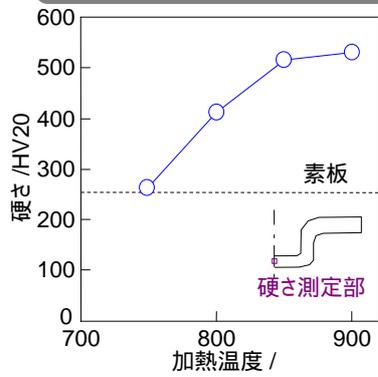
岩谷: プレス技術, 42-8(2004), 43

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

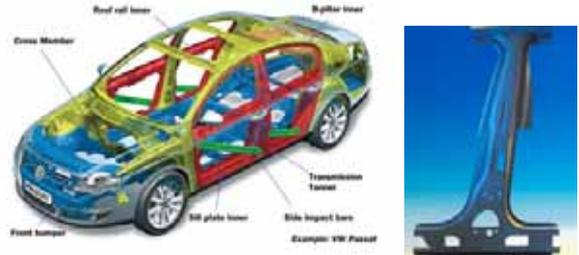


熱間プレス加工における ダイクエンチによる硬さの上昇



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

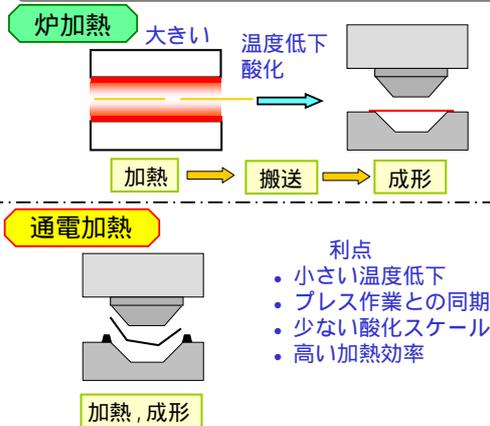


熱間プレス加工の特徴

- 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. 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ッチ
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

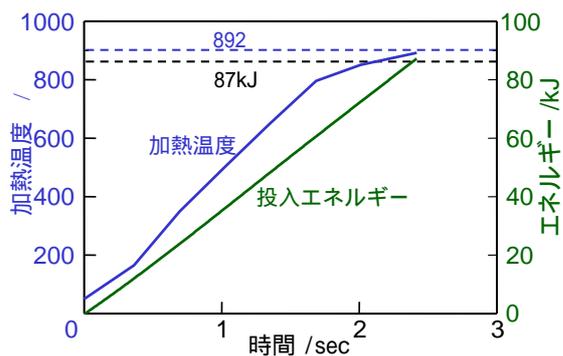
通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形



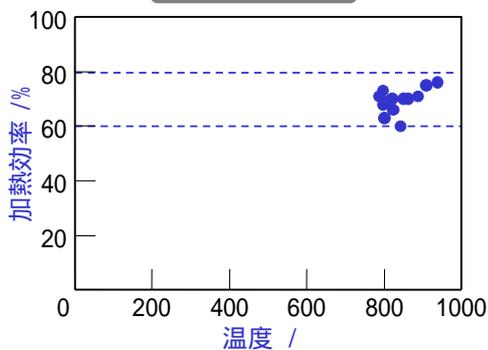
通電加熱の映像 (SPFC980)



加熱温度と投入エネルギーの時間変化(SPFC980)



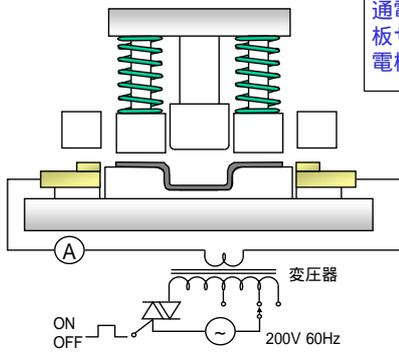
加熱効率



サーボプレス(80tonf)



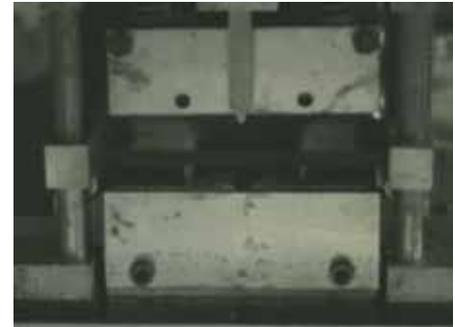
通電加熱ハット曲げ成形装置



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

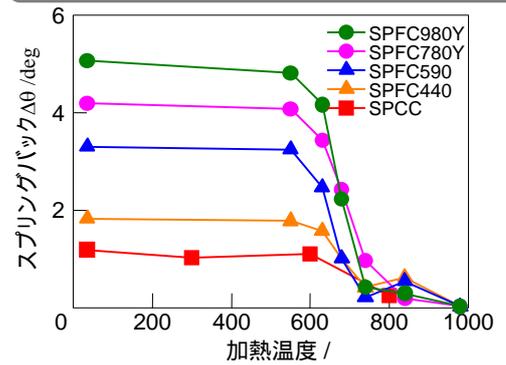
980 °Cにおける通電加熱ハット曲げ成形



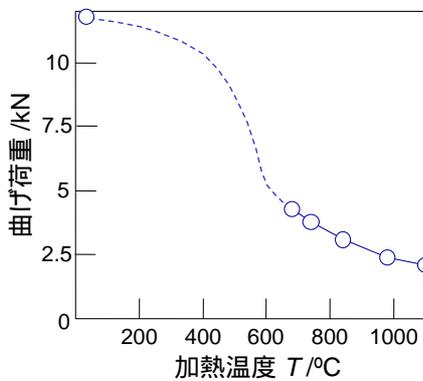
ハット曲げの成形体 (SPFC980Y)



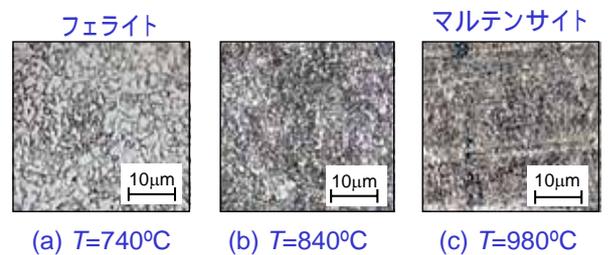
ハット曲げ加工における スプリングバックと加熱温度の関係



ハット曲げ加工における加工荷重と加熱温度の関係



曲げ加工させた板材の微視的組織



(a) T=740 °C

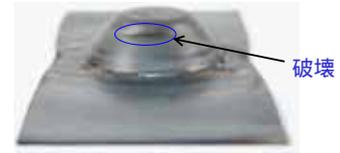
(b) T=840 °C

(c) T=980 °C

800°Cにおける絞り成形(SPFC980Y)



絞り成形体(SPFC980Y)



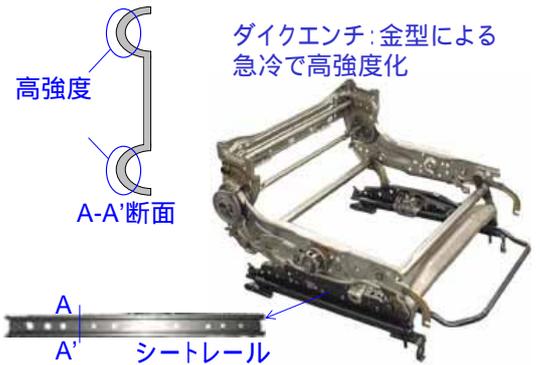
(a) 600°C



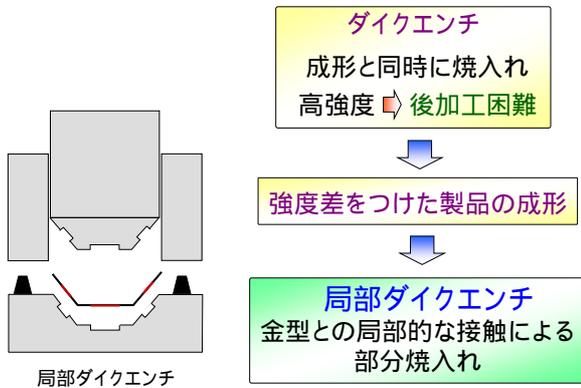
(b) 800°C

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

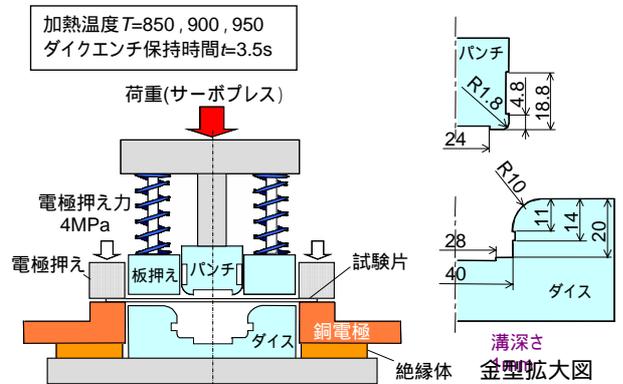
熱間プレス成形における局部ダイクエンチ



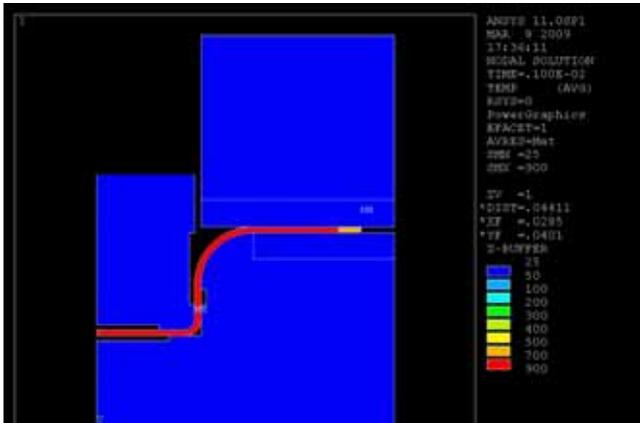
局部ダイクエンチ



局部ダイクエンチハット曲げ成形装置

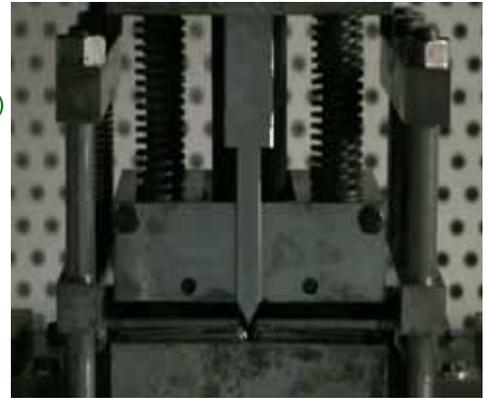


ダイクエンチにおける温度分布

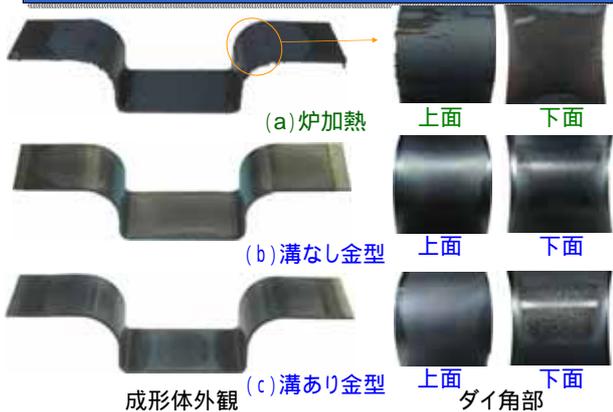


加熱温度900 におけるハット曲げ成形

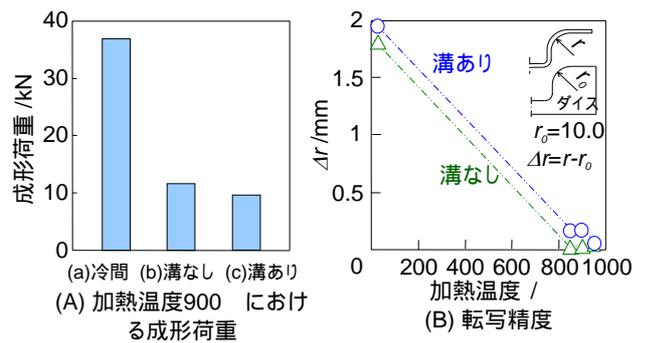
通電加熱
 (加熱時間2.3s)
 ↓
 成形
 ↓
 ダイクエンチ
 (保持時間3.5s)
 ↓
 成形完了



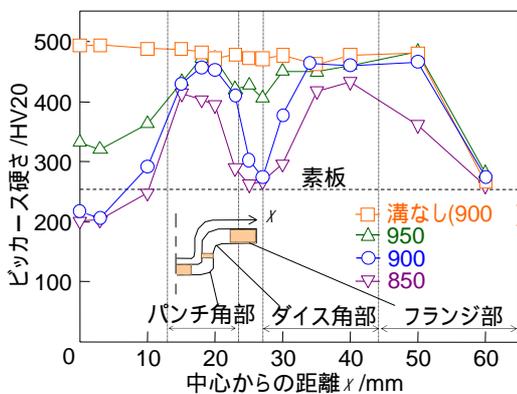
900 におけるハット曲げ成形体酸化スケールの比較



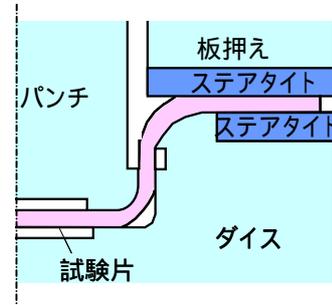
ハット曲げ成形荷重とダイ角部転写精度



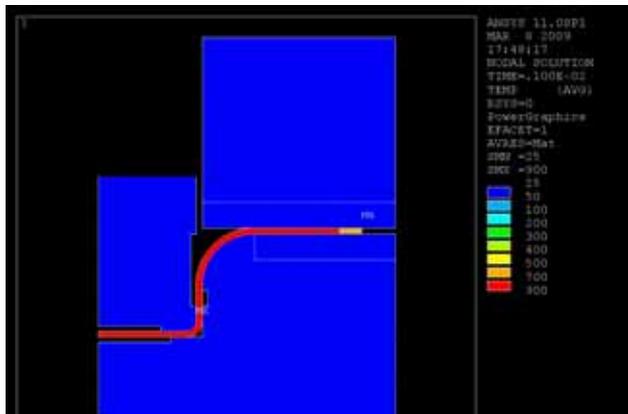
溝あり金型によるハット曲げ成形体の長手方向硬さ分布



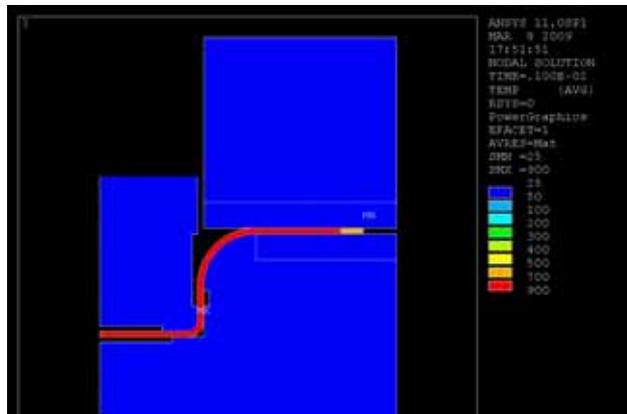
セラミックスフランジ部を用いた金型ハット曲げ成形



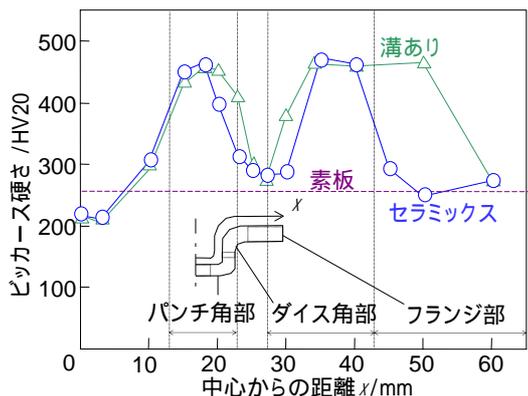
ステンレス鋼フランジ部を用いたダイクエンチにおける温度分布



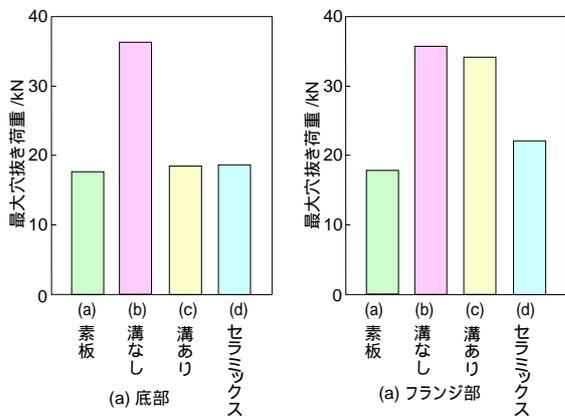
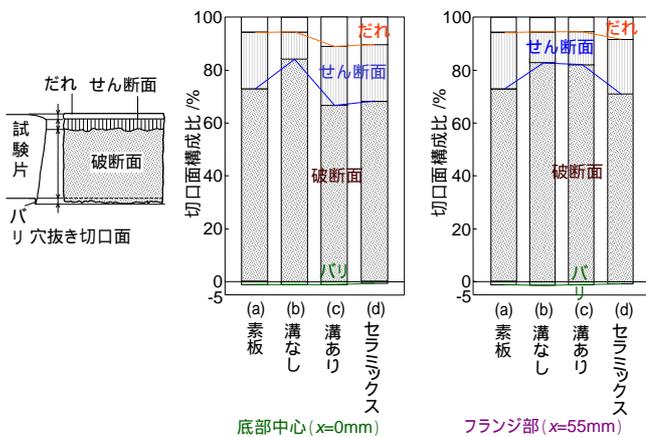
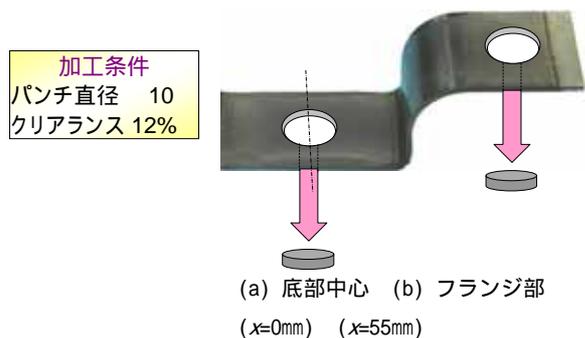
セラミックスフランジ部を用いたダイクエンチにおける温度分布



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



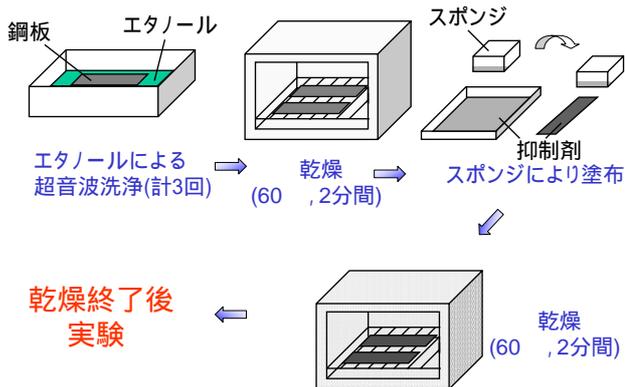
1. 超高張力鋼板
2. 通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3. 熱間プレス成形における局部ダイクエッチ
4. 熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5. 通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6. 温・熱間せん断加工

プレコートスケール抑制剤



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

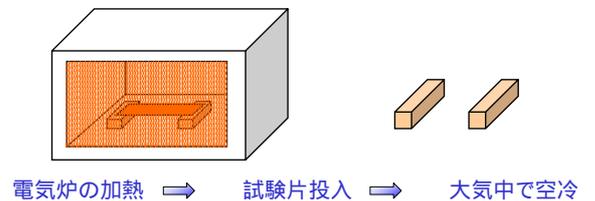
抑制剤塗布方法



抑制剤評価試験条件

加熱温度: 800, 825, 850, 875, 900, 925
試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm

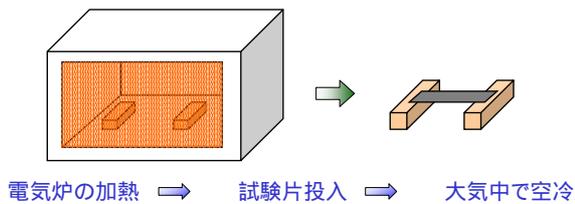
実験手順



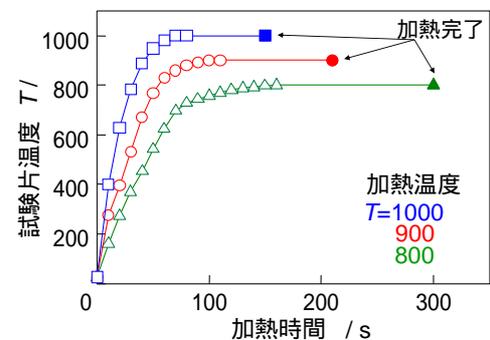
加熱のみによる抑制剤評価試験条件

加熱温度: $T=800, 825, 850, 875, 900, 925$
試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm

実験手順

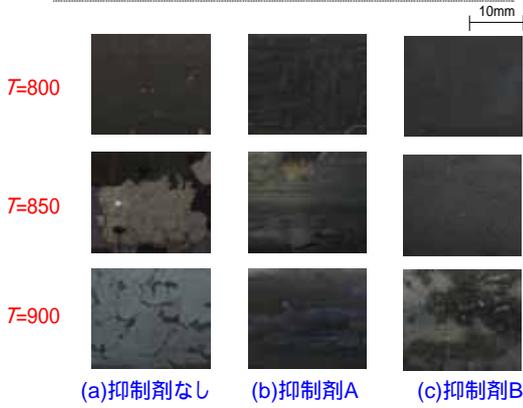


試験片の加熱時間

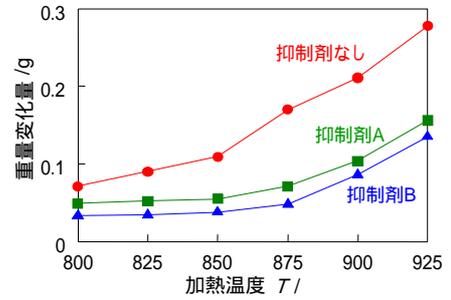


電気炉の温度に到達した時間の2倍保持

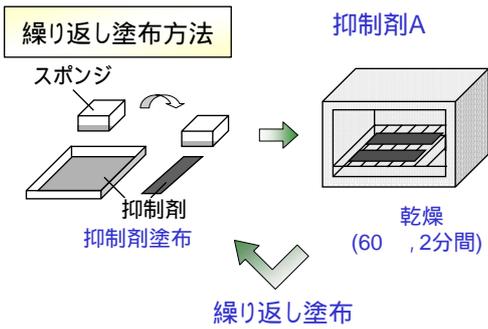
各温度におけるスケール発生状況



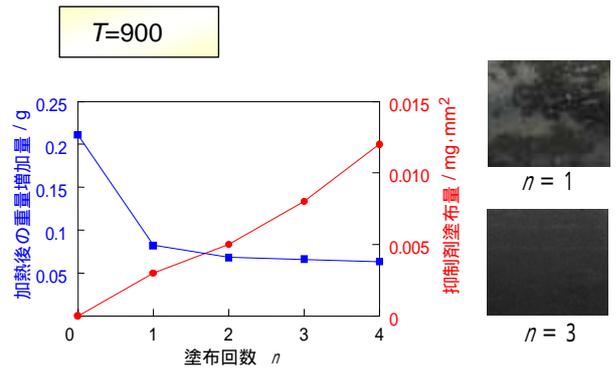
加熱後の試験片重量と加熱温度の関係



繰り返し塗布による抑制効果の向上

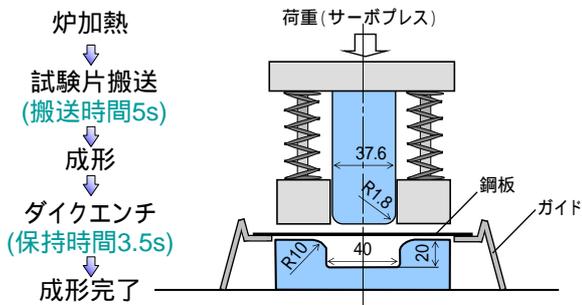


塗布量の増加による抑制効果の向上



プレコート抑制剤を用いたハット曲げ成形実験条件

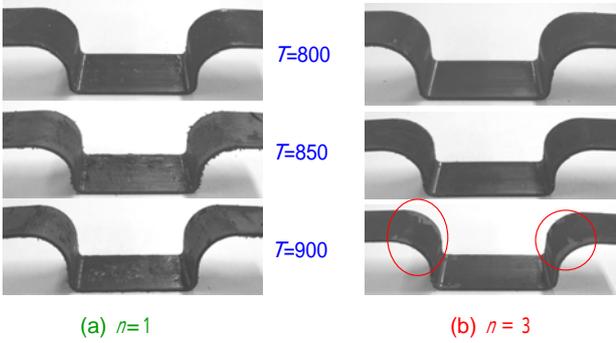
加熱温度: 600, 700, 800, 850, 950, 950
 試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm



T=950 におけるハット曲げ成形実験



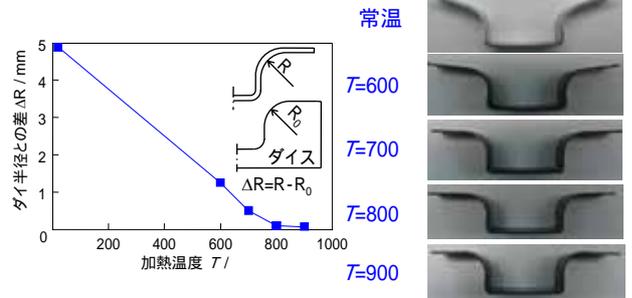
ハット曲げ成形体外観



(a) $n=1$

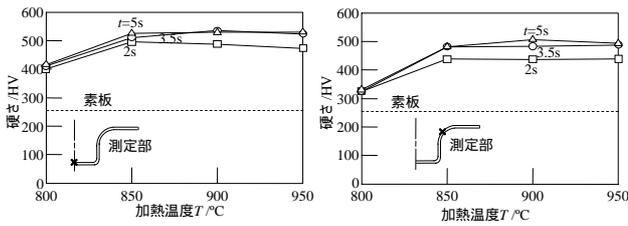
(b) $n=3$

ハット曲げ成形体スプリングバック



加熱温度 $T=700$ 以上ではスプリングバックがほぼ無くなる

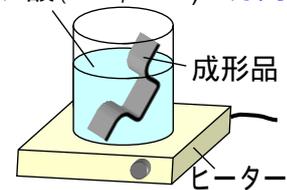
ハット曲げ成形体断面組織



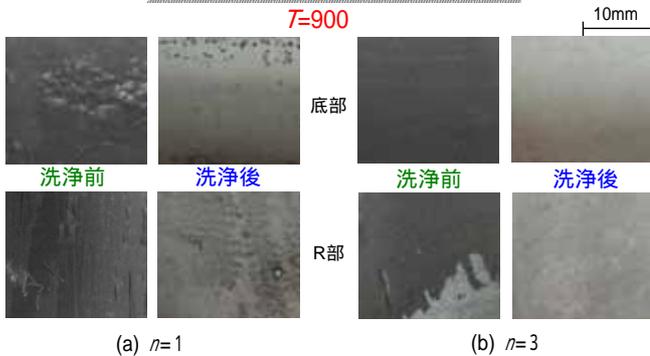
洗浄試験

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) 2分間浸す



洗浄前後の底部表面写真



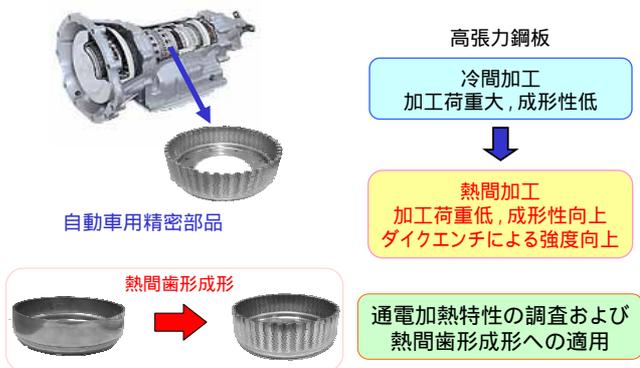
(a) $n=1$

(b) $n=3$

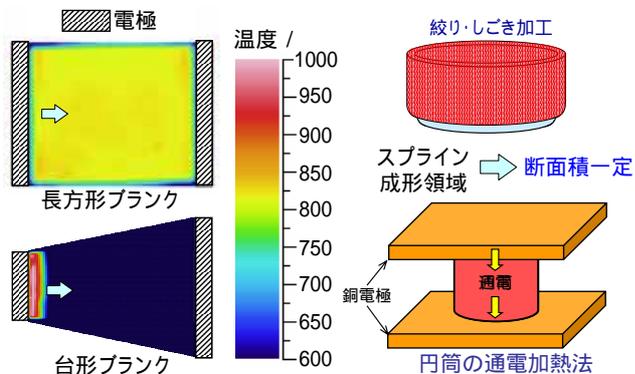
若干の酸化の場合抑制剤成分と一緒に表面膜も除去可能

1. 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

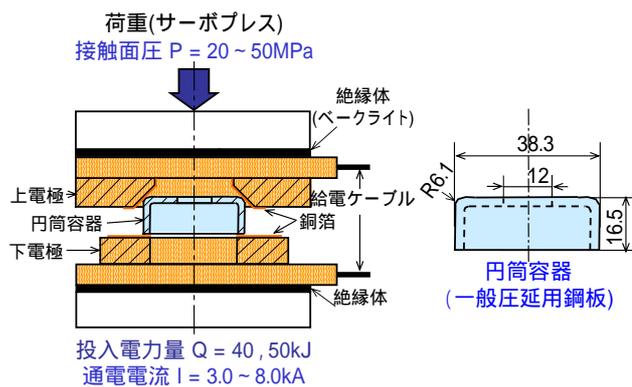
通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形



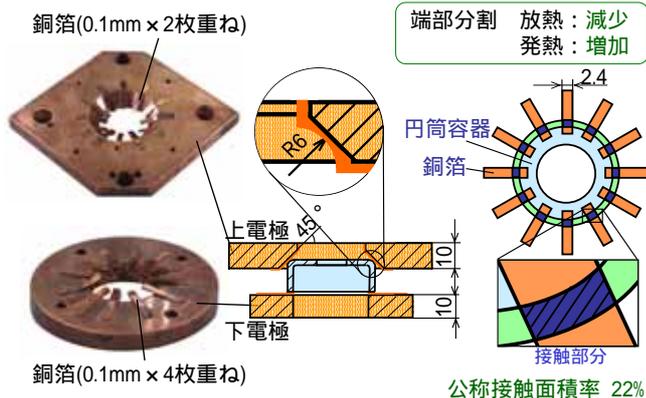
円筒端部からの給電による通電加熱



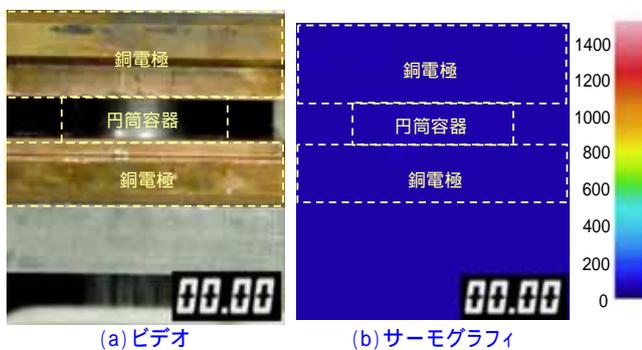
通電加熱実験装置



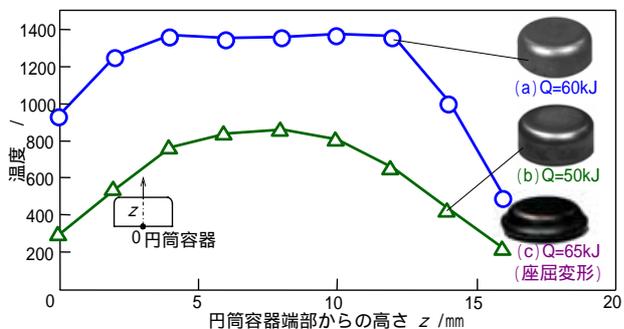
通電加熱実験に用いた電極形状



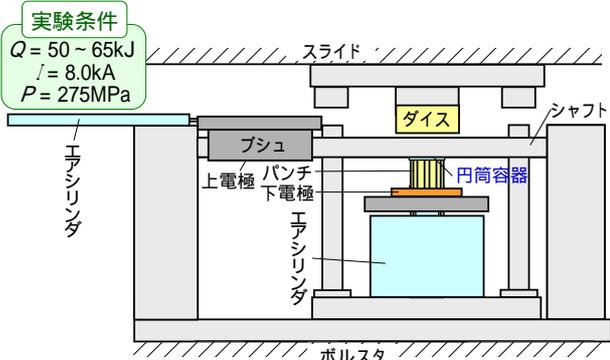
円筒容器端部からの給電による通電加熱状態 (Q=60kJ, I=8.0kA, P=275MPa)



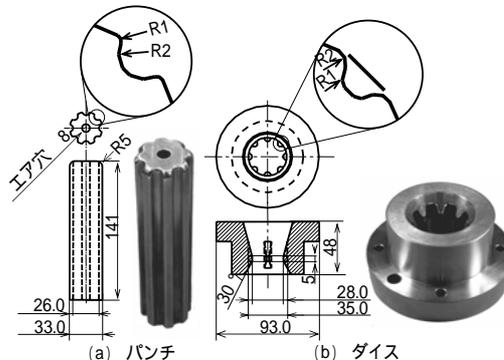
軸方向温度分布に及ぼす投入電力量の影響 (I=8.0kA, P=275MPa)



熱間スプライン成形装置



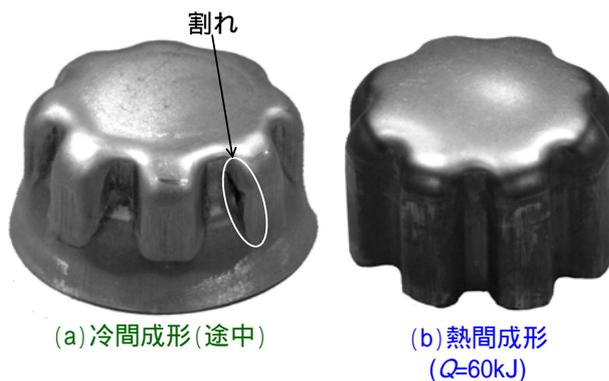
スプライン成形実験に用いたパンチ・ダイス形状



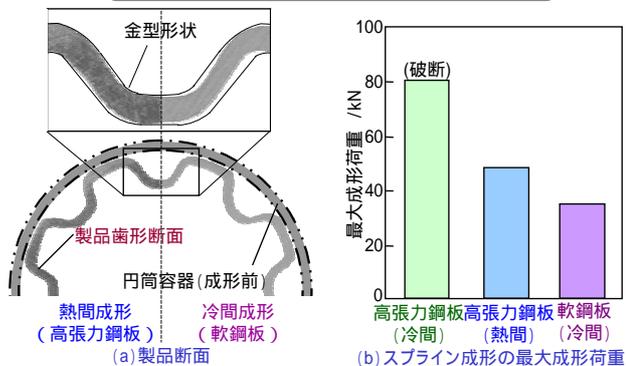
通電加熱を用いた熱間スプライン成形の様子 (Q=60kJ)



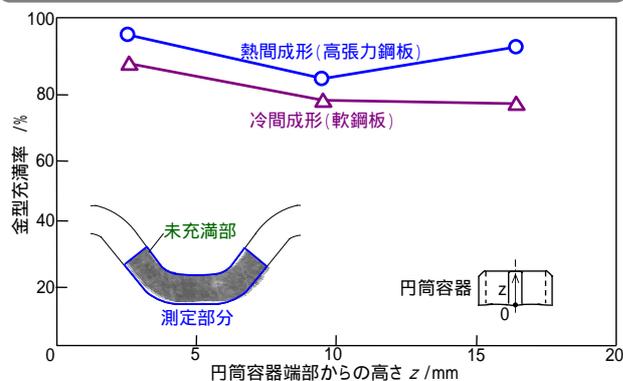
スプライン成形後の高張力鋼容器外観



スプライン成形後の高張力鋼容器断面 (Q=60kJ)

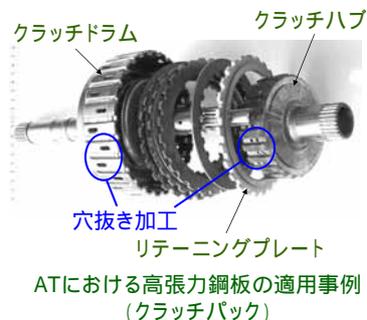


スプライン成形後の製品歯形部の軸方向金型充填率分布 (Q=60kJ)



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

超高張力鋼板の温・熱間せん断加工

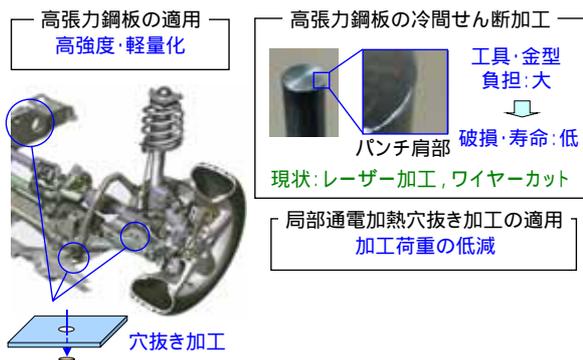


自動車用精密部品
軽量・高強度化

高張力鋼板の適用

加工荷重の増大

超高張力鋼板の温・熱間せん断加工

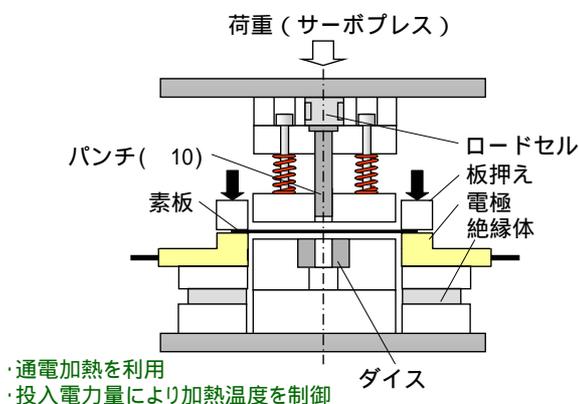


穴抜き実験条件

- ・試験片
長さ130mm, 幅50mm, 板厚2.0mm
- ・穴抜きパンチ
直径: 10mm
材質: SKH51 (TiCNコーティング)

加熱温度 $T /$	650, 700, 830, 970, 1070
クリアランス $C / \%$	5, 10, 15
穴抜き速度 $V / \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	100, 150

熱間穴抜き実験装置

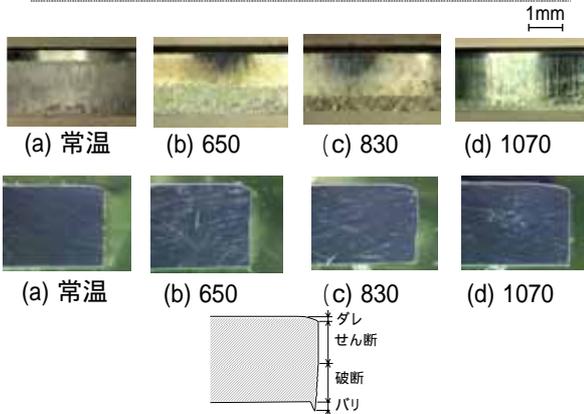


通電加熱穴抜き

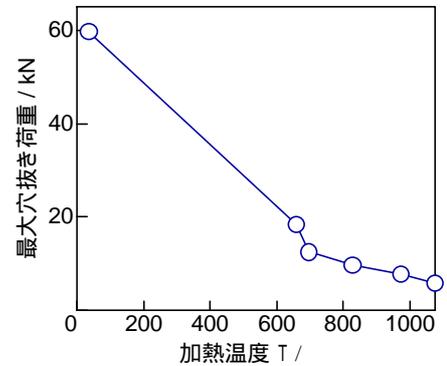
投入エネルギー: 81kJ $T=1070$
 $C=5\%$, $V=150\text{mm/s}$



C=5%, V=150mm/sにおける各温度での切口面



C=5%, V=150mm/sにおける最大穴抜き荷重の変化



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.

せん断領域を局部的に加熱する方法

- 1) 加熱効率が高い.
- 2) コンパクトな装置.
- 3) 酸化が非常に少ない.

局部通電加熱せん断加工法と問題点

- 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

ピン電極材質評価条件

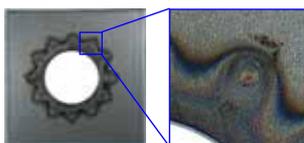
・板押え側ピン電極材質

材質	電気抵抗率/ $\mu\Omega\cdot m$	熱伝導/ $W(m\cdot K)^{-1}$	硬さ/HV	密度/ $g\cdot m^{-3}$
Ag-W	3.25×10^{-9}	233	210	14.8
Cu-W	3.59×10^{-9}	258	225	14.2
Ag+WC	4.66×10^{-9}	120	250	12.8
W	5.56×10^{-9}	200	450	19.3

・ノックアウト側ピン電極材質
Wに固定

・使用鋼板
SPFC980, 板厚 $t=1.4mm$

加熱温度: 800, ピン電極: Cu



ピン電極材質評価実験装置

荷重 (サーボプレス)

スプリング

絶縁体

鋼板

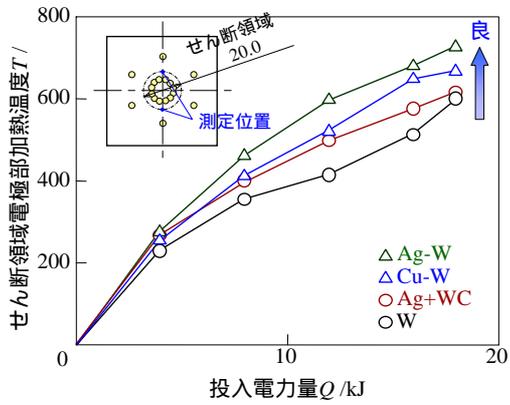
直流電流値 2.0kA

スプリング

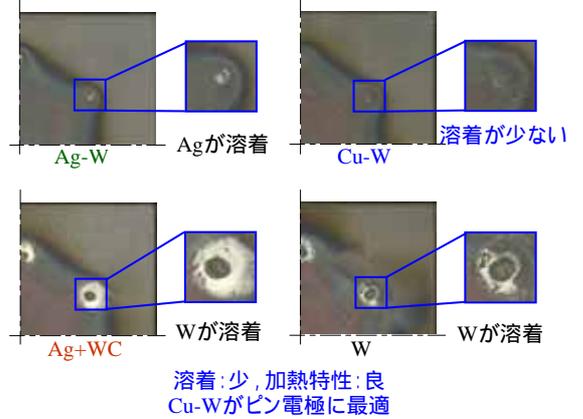
板押え側ピン電極 (Ag-W, Cu-W, Ag+WC, W)

ノックアウト側ピン電極 (Wに固定)

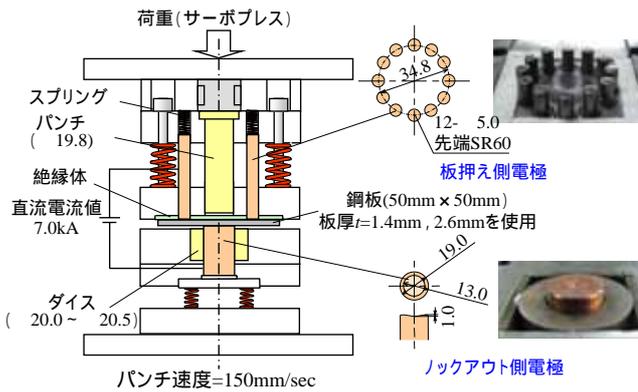
電極ピン材質の違いによる加熱特性



ピン電極材質の違いによる加熱後鋼板 (T=800, 4分の1サイズ)



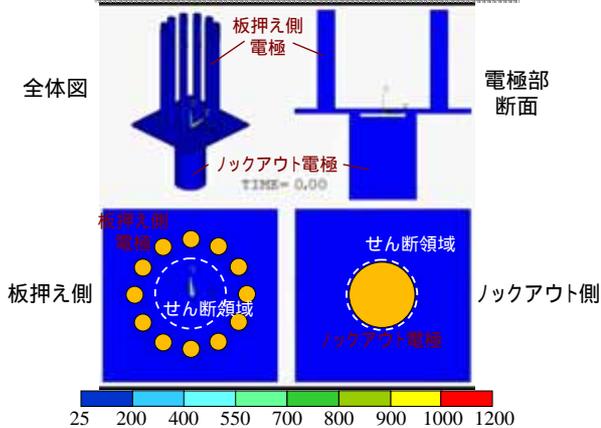
局部通電加熱せん断加工装置



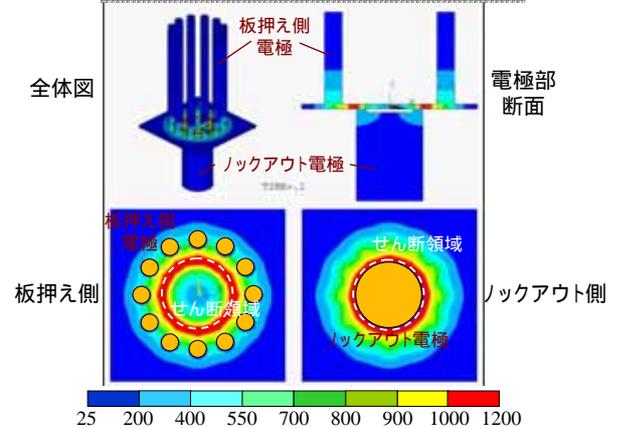
通電加熱の温度分布シミュレーション条件



局部通電加熱の温度分布



電極の冷却における温度分布



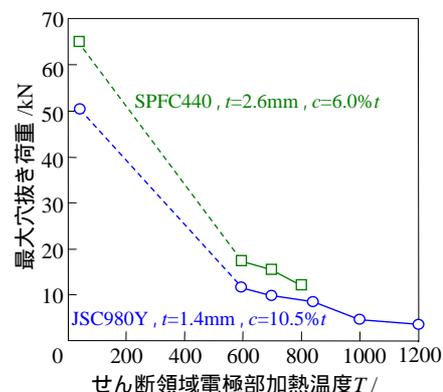
局部通電加熱せん断加工

加熱の為に鋼板加圧 → 加熱 → せん断加工

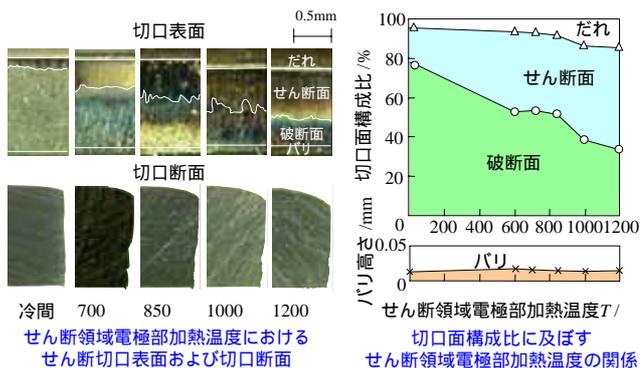


JSC980Y, $t=1.4\text{mm}$, $T=1200$ (1.6sec)
パンチ速度 150mm/s, クリアランス $c=10.5\%t$

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 ($c=10.5\%t$)



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ッチ
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・熱間スライン成形
6. 温・熱間せん断加工