

熱間プレス加工技術の概要

豊橋技術科学大学 森謙一郎

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。

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

— 軽量自動車部品の成形 —

100kg軽量:1km/l燃費向上

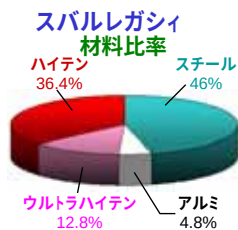
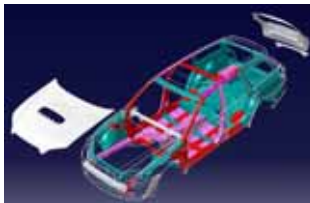
平成19年

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

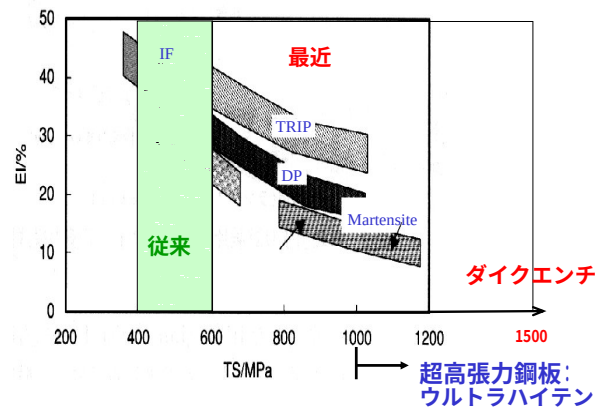


自動車車体への高張力鋼板の適用



トヨタ クラウン、骨格部材の45%が高張力鋼板

高張力鋼板の強度

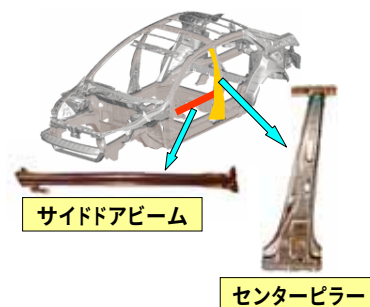


自動車用板材の比較

板材	引張強さ	比重	比強度	コスト(1kg当り)	生産量
ウルトラハイトン	980～1470MPa	7.8	126～188MPa	100円程度	鉄:12億ton
従来ハイトン	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

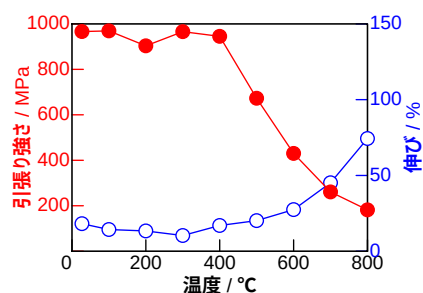
超高張力鋼板の自動車部材への適用

超高張力鋼板:1GPa以上



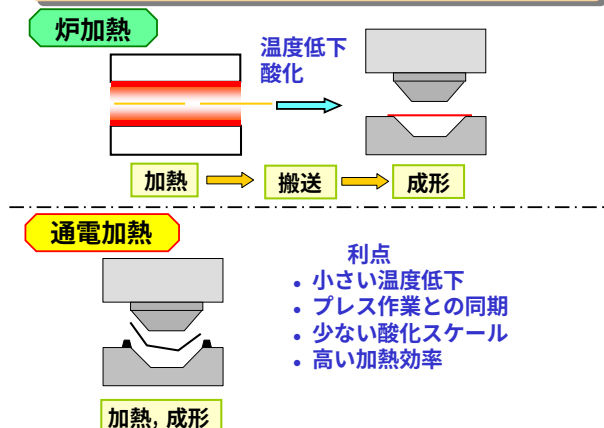
超高張力鋼板の高温引張り特性

SPFC980Y, 板厚 1.2mm

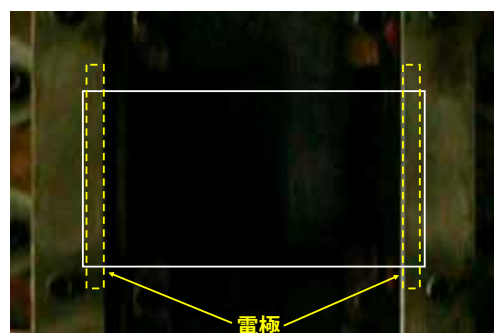


1. 超高張力鋼板
2. 通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形
3. 熱間プレス成形における局部ダイクエッチ
4. 熱間プレス成形におけるプレコートスケール抑制剤による表面酸化の低減
5. 通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形
6. 温・熱間せん断加工

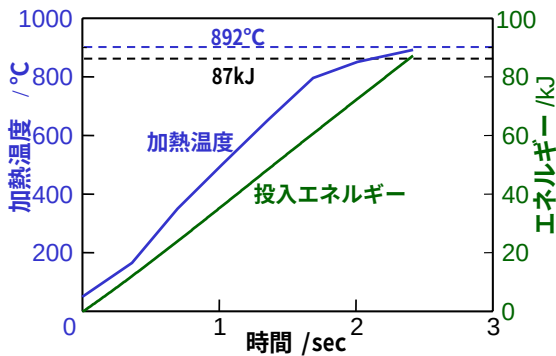
通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形



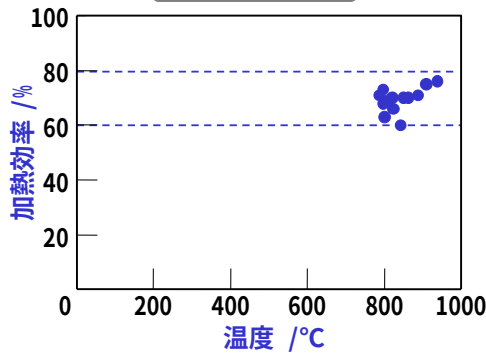
通電加熱の映像 (SPFC980)



加熱温度と投入エネルギーの時間変化(SPFC980)



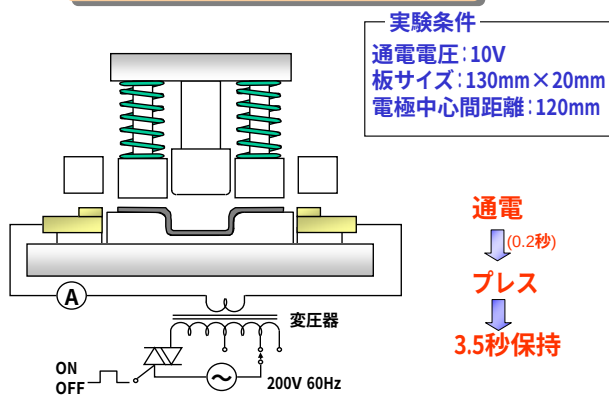
加熱効率



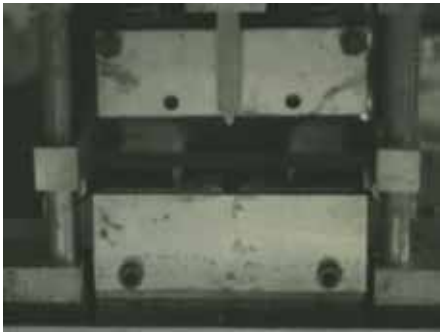
サーボプレス(80tonf)



通電加熱ハット曲げ成形装置



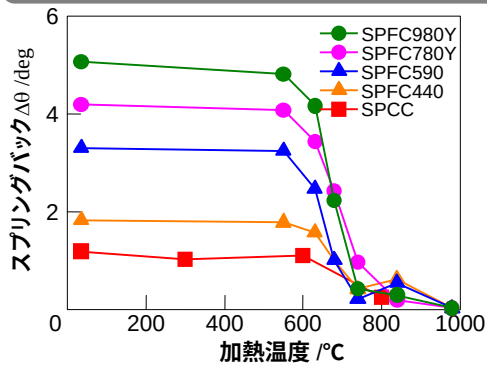
980 °Cにおける通電加熱ハット曲げ成形



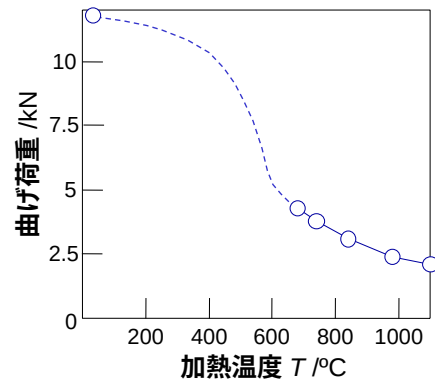
ハット曲げの成形体 (SPFC980Y)



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



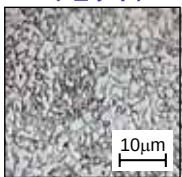
ハット曲げ加工における加工荷重と加熱温度の関係



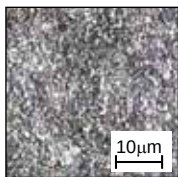
曲げ加工させた板材の微視的組織

フェライト

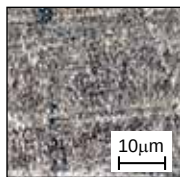
マルテンサイト



(a) $T=740^{\circ}\text{C}$



(b) $T=840^{\circ}\text{C}$



(c) $T=980^{\circ}\text{C}$

800°Cにおける絞り成形(SPFC980Y)



絞り成形体(SPFC980Y)



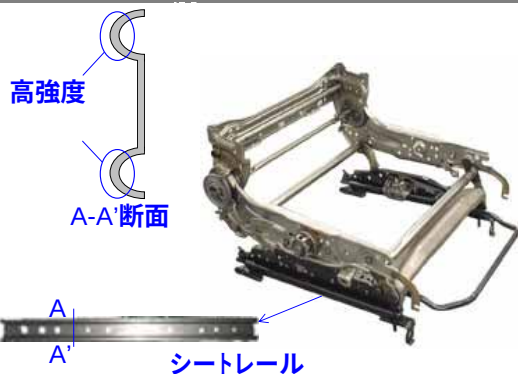
(a) 600°C



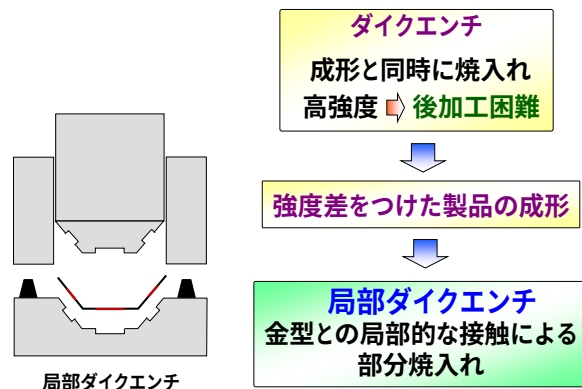
(b) 800°C

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ッジ
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

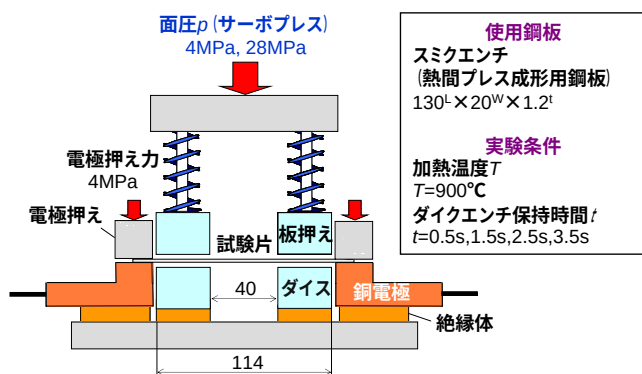
熱間プレス成形における局部ダイクエンチ



局部ダイクエンチ



局部はさみ込みダイクエンチ実験装置



局部はさみ込みダイクエンチ実験 ($p=4\text{MPa}$)

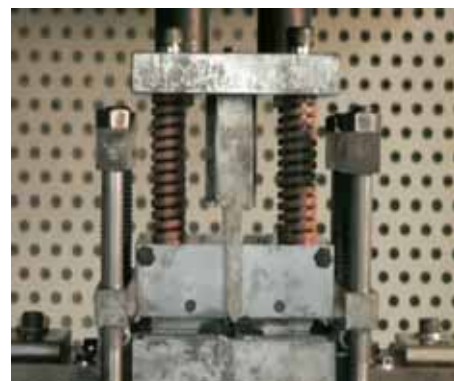
通電加熱
(加熱時間2.3s)

↓

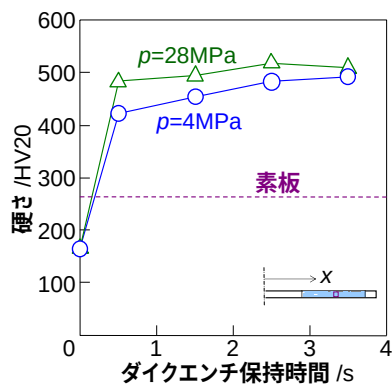
はさみ込み
ダイクエンチ
(保持時間3.5s)

↓

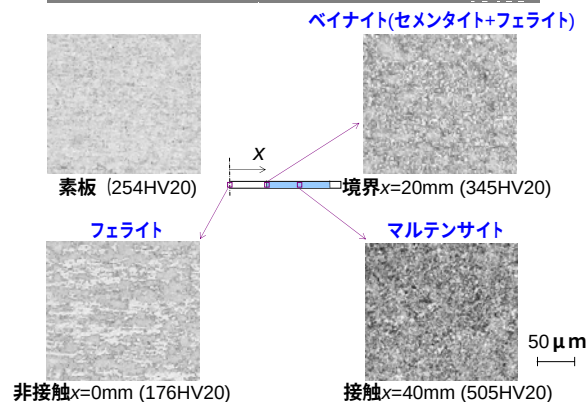
完了



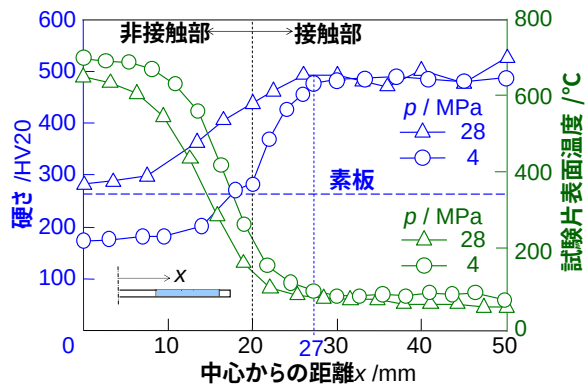
ダイクエンチにおける保持時間の影響($x=40\text{mm}$)



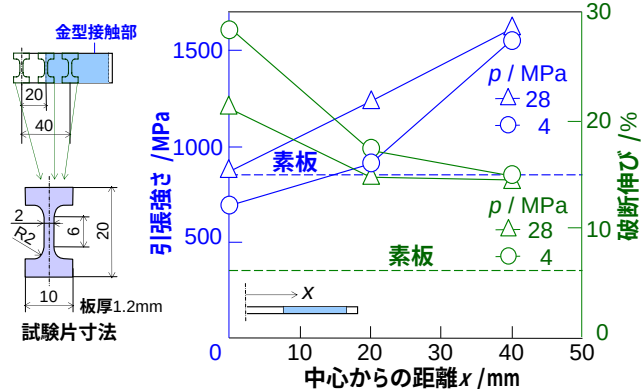
ダイクエンチ後の組織 ($p=4\text{MPa}$, $t=3.5\text{s}$)



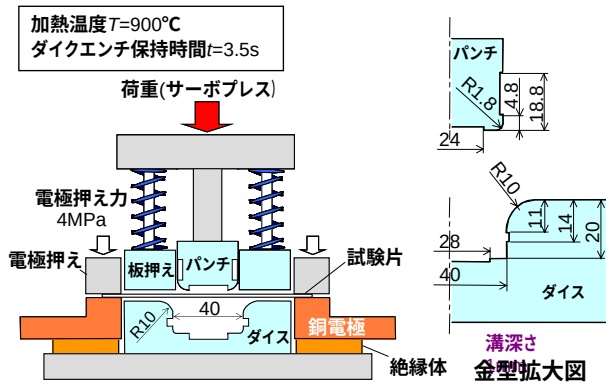
面圧による温度と硬さの比較 ($t=3.5s$)



ダイクエンチ後の引張り特性の分布 ($t=3.5s$)

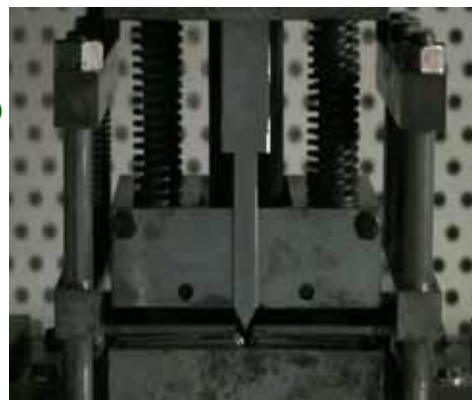


局部ダイクエンチハット曲げ成形装置

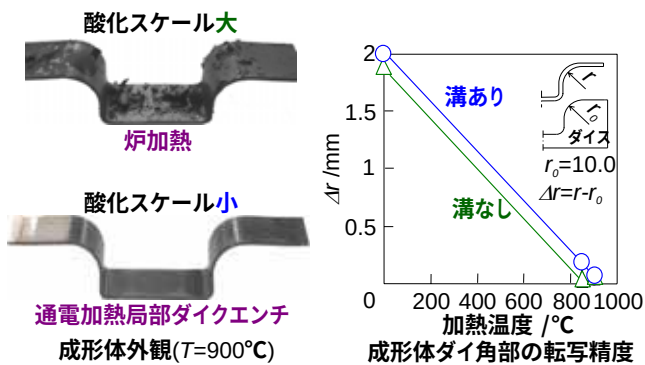


ハット曲げ成形

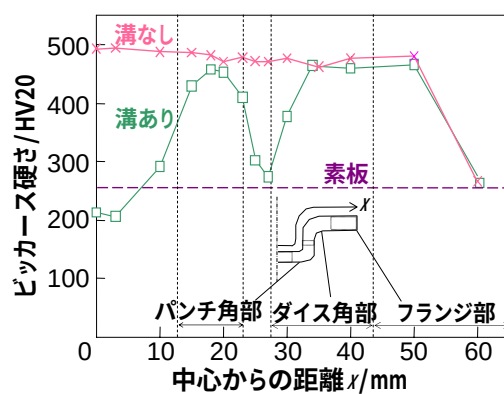
通電加熱
(加熱時間2.3s)
↓
成形
↓
ダイクエンチ
(保持時間3.5s)
↓
成形完了



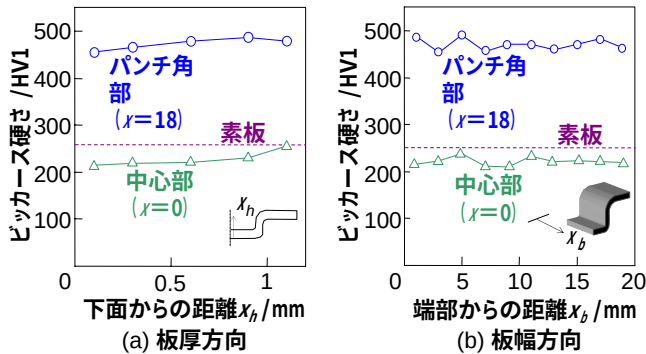
局部ダイクエンチハット曲げ成形結果



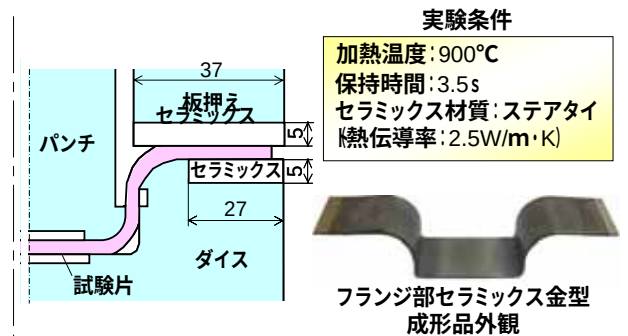
ハット曲げ成形体の長手方向硬さ分布



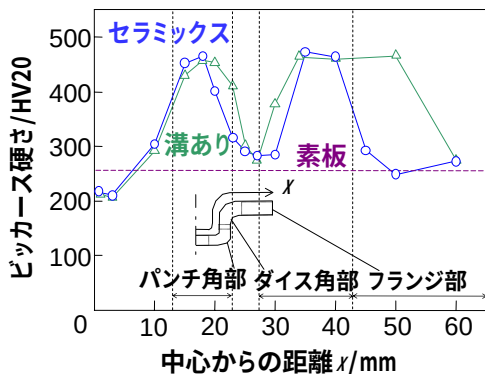
溝あり金型によるハット曲げ成形体の硬さ分布



フランジ部セラミックス金型ハット曲げ成形



ハット曲げ成形体の長手方向硬さ分布



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

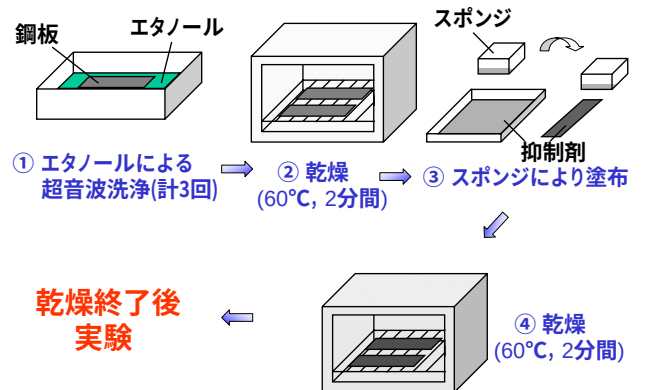
900°C, 10s

炉加熱による熱間プレス成形品

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

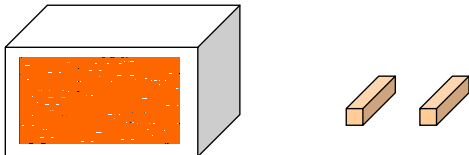
抑制剤塗布方法



抑制剤評価試験条件

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

実験手順

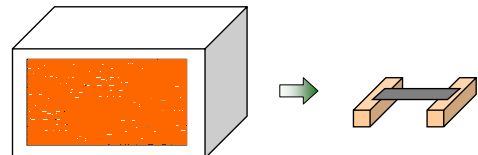


① 電気炉の加熱 → ② 試験片投入 → ③ 大気中で空冷

加熱のみによる抑制剤評価試験条件

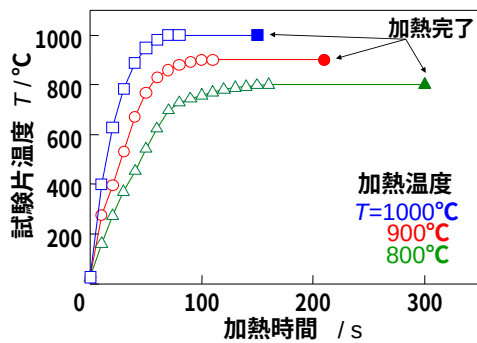
加熱温度: $T=800, 825, 850, 875, 900, 925^{\circ}\text{C}$
試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm

実験手順



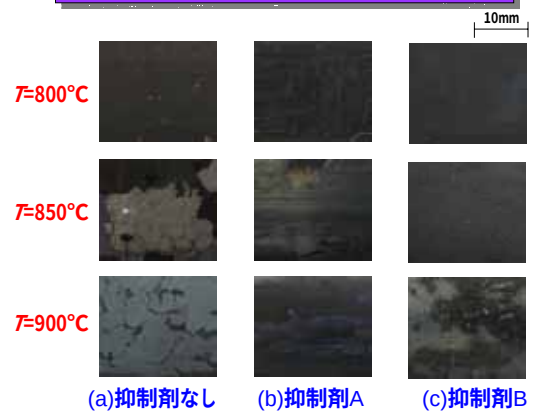
① 電気炉の加熱 → ② 試験片投入 → ③ 大気中で空冷

試験片の加熱時間

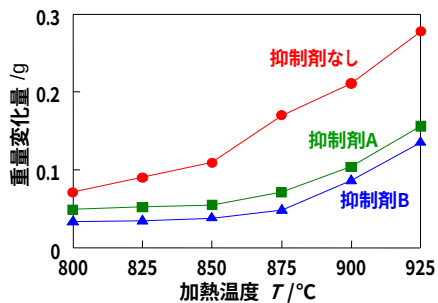


電気炉の温度に到達した時間の2倍保持

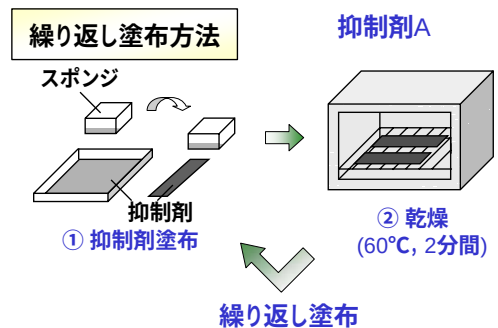
各温度におけるスケール発生状況



加熱後の試験片重量と加熱温度の関係

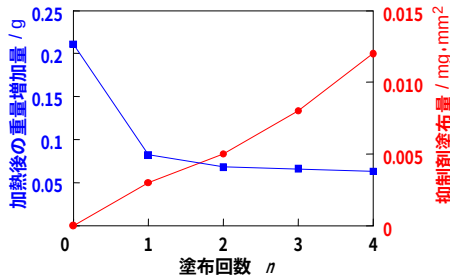


繰り返し塗布による抑制効果の向上



塗布量の増加による抑制効果の向上

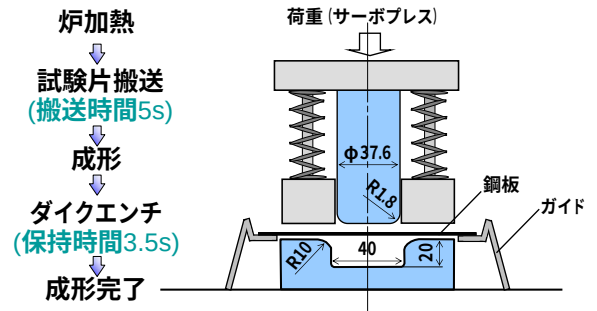
$T=900^{\circ}\text{C}$



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°C

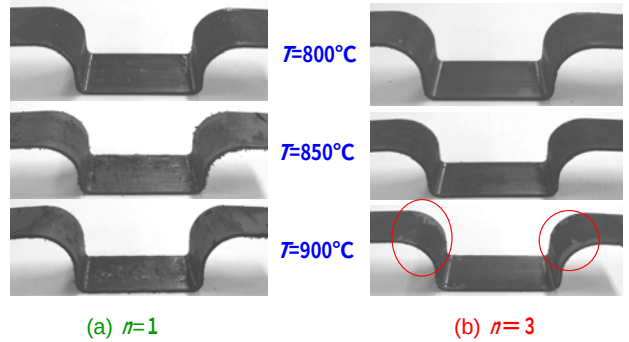
試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm



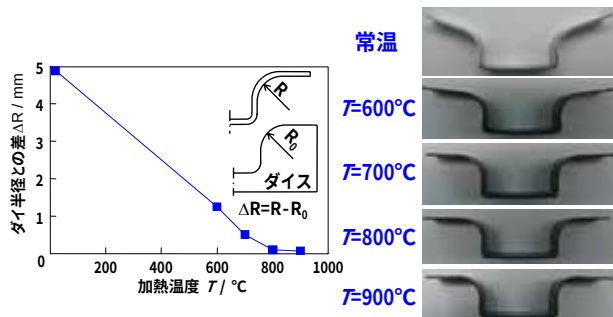
$T=950^{\circ}\text{C}$ におけるハット曲げ成形実験



ハット曲げ成形体外観

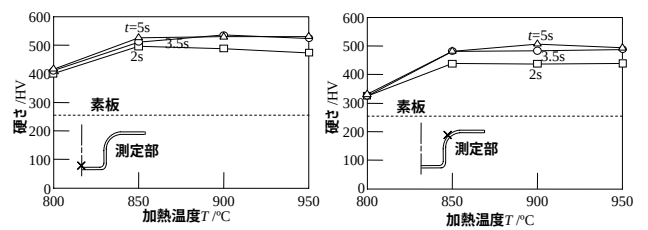


ハット曲げ成形体スプリングバック



加熱温度 $T=700^{\circ}\text{C}$ 以上ではスプリングバックがほぼ無くなる

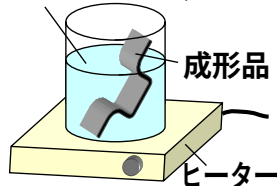
ハット曲げ成形体断面組織



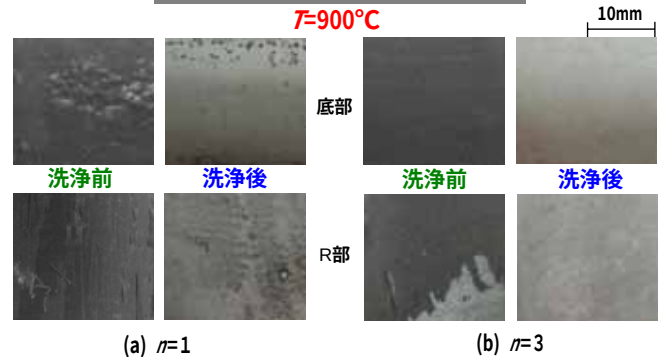
洗浄試験

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°C) 2分間浸す



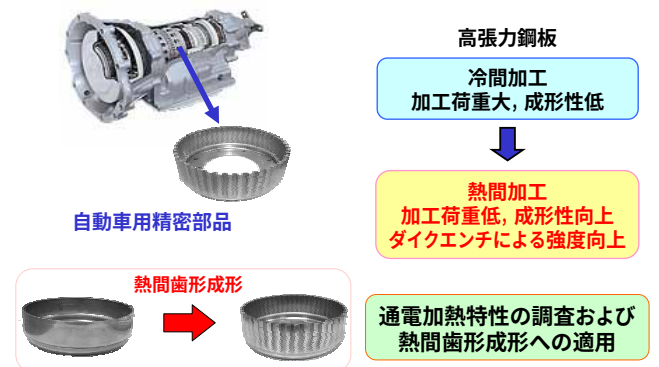
洗浄前後の底部表面写真



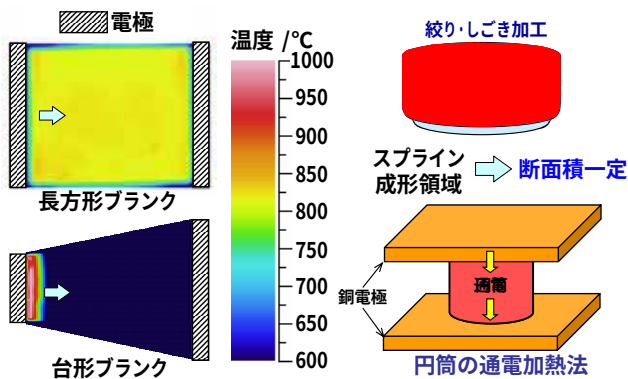
若干の酸化の場合抑制剤成分と一緒に表面膜も除去可能

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

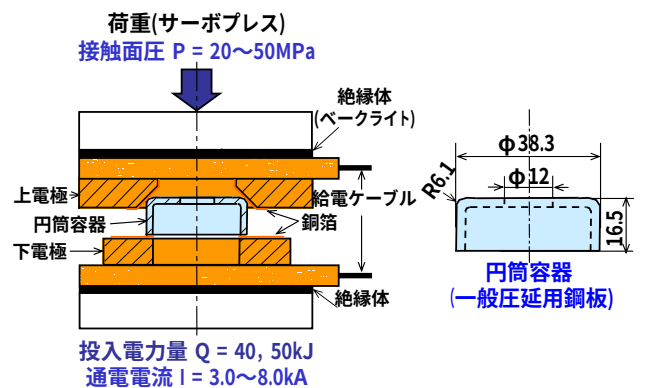
通電加熱を用いた歯形容器の温・熱間スプライン成形



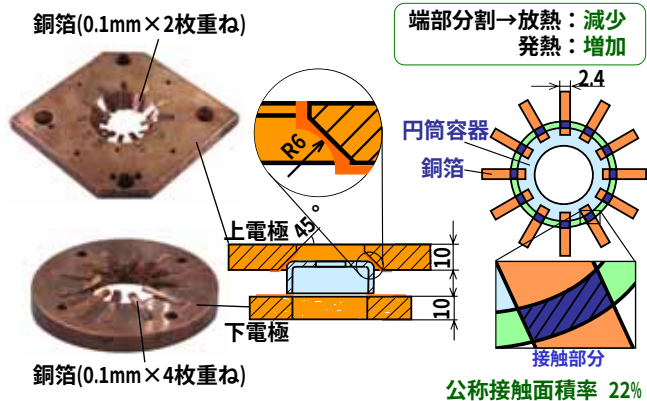
円筒端部からの給電による通電加熱



通電加熱実験装置



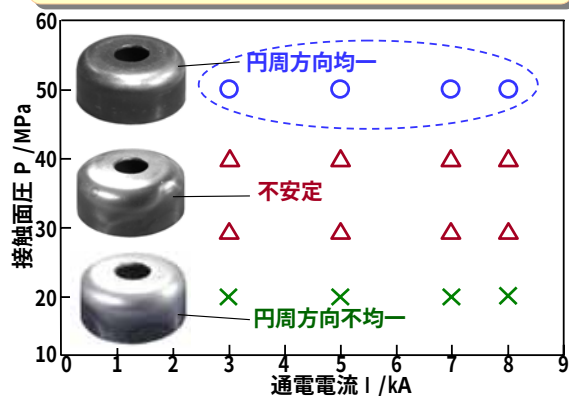
通電加熱実験に用いた電極形状



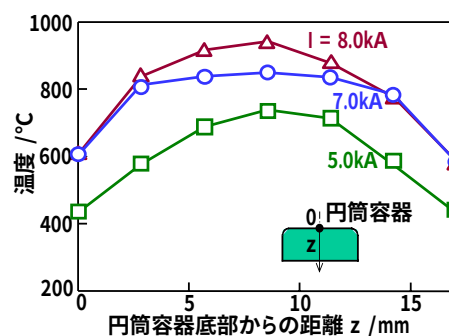
円筒容器端部からの給電による通電加熱状態 ($Q=40\text{kJ}$, $I=7.0\text{kA}$, $P=50\text{MPa}$)



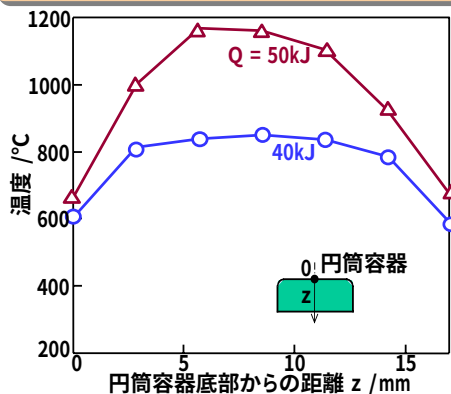
加熱状態へ及ぼす接触面圧と通電電流の影響 ($Q=40\text{kJ}$)



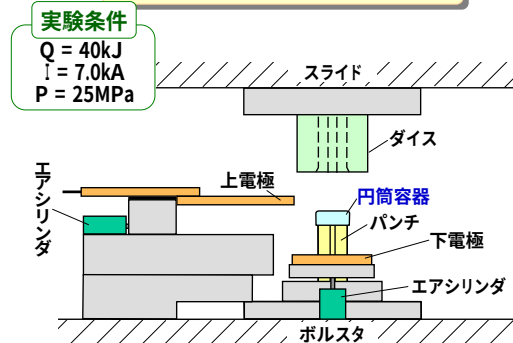
軸方向温度分布に及ぼす通電電流の影響 ($Q=40\text{kJ}$, $P=50\text{MPa}$)



軸方向温度分布に及ぼす投入電力量の影響 ($I=7.0\text{kA}$, $P=50\text{MPa}$)



温・熱間スプライン成形装置



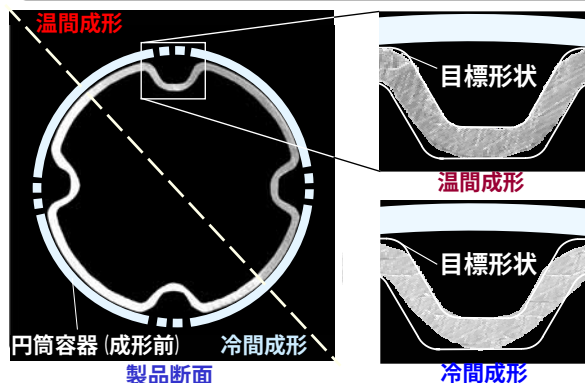
スプライン成形前後の円筒容器外観
($Q=40\text{kJ}$, $I=7.0\text{kA}$, $P=25\text{MPa}$, 側壁均一部温度 800°C)



(a) 深絞り・しごき容器
(スプライン成形前)

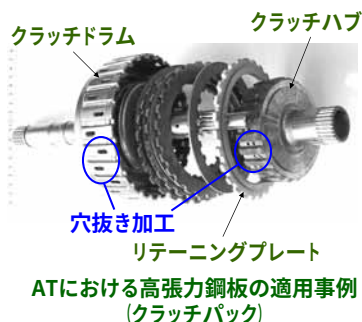
(b) スプライン成形後

スプライン成形後の製品歯形成部の断面
($Q=40\text{kJ}$, $I=7.0\text{kA}$, $P=25\text{MPa}$, 側壁均一部温度 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

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

穴抜き実験条件

・試験片

長さ130mm, 幅50mm, 板厚2.0mm

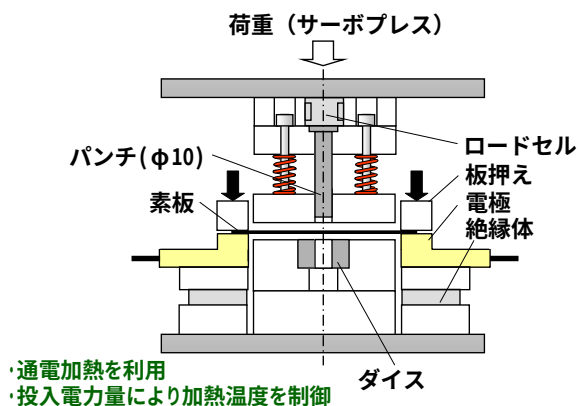
・穴抜きパンチ

直径: $\phi 10\text{mm}$

材質: SKH51 (TiCNコーティング)

加熱温度 $T / ^{\circ}\text{C}$	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

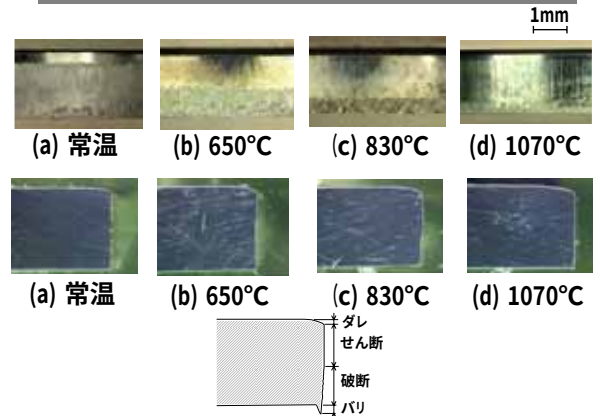


通電加熱穴抜き

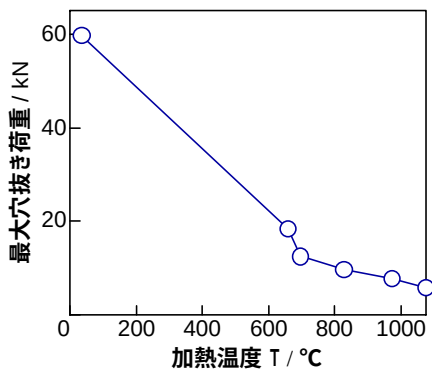
投入エネルギー: 81kJ T=1070°C
C=5%, V=150mm/s



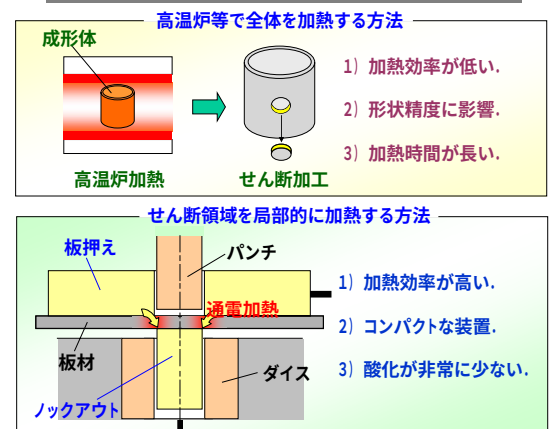
C=5%, V=150mm/sにおける各温度での切口面



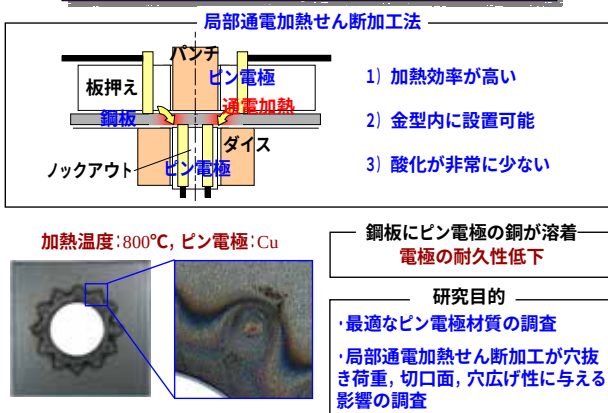
C=5%, V=150mm/sにおける最大穴抜き荷重の変化



温・熱間穴抜き加工における問題点と局部加熱法



局部通電加熱せん断加工法と問題点



ピン電極材質評価条件

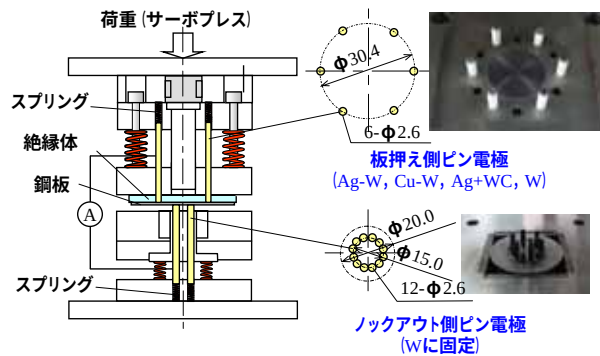
・板押え側ピン電極材質

材質	電気抵抗率/ Ωm	熱伝導/ $\text{W}(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$	硬さ/HV	密度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
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

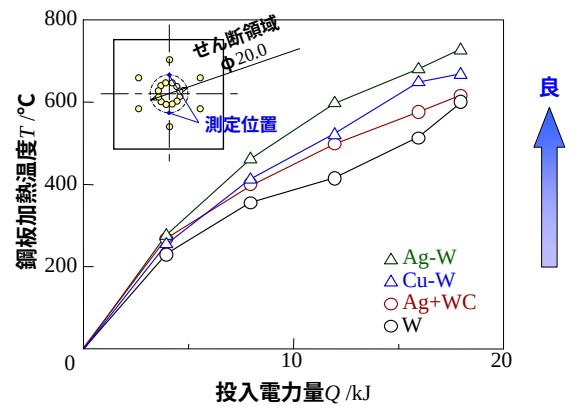
・ノックアウト側ピン電極材質 Wに固定

・使用鋼板 50mm×50mm
SPFC980, 板厚 $t=1.4\text{mm}$

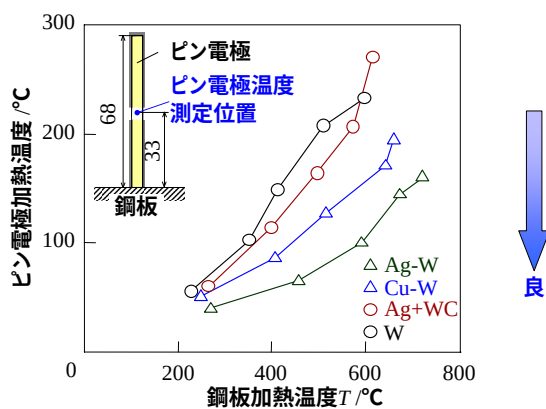
ピン電極材質評価実験装置



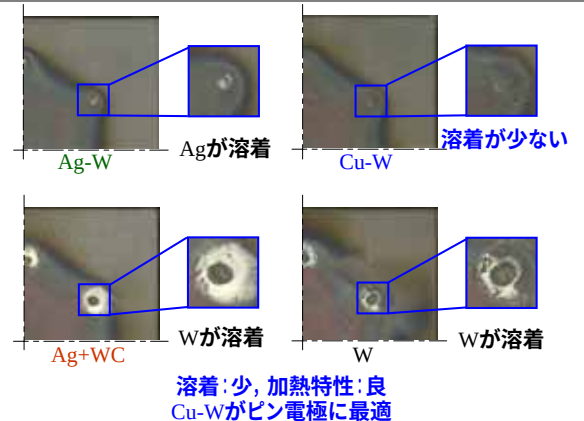
電極ピン材質の違いによる加熱特性



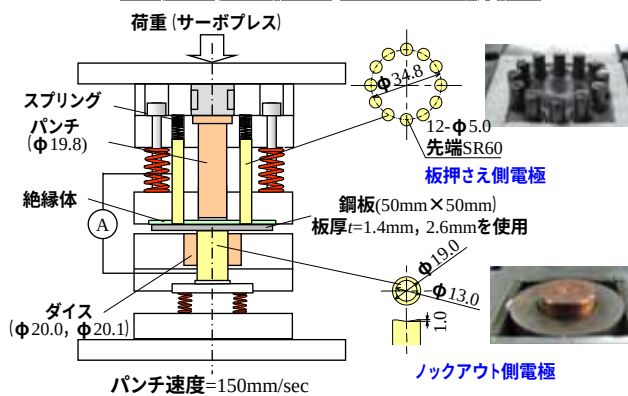
ピン電極加熱温度に及ぼす鋼板加熱温度



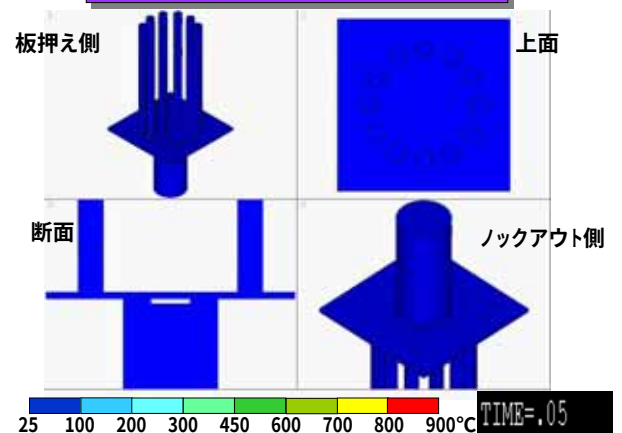
ピン電極材質の違いによる加熱後鋼板 ($T=800^\circ\text{C}$, 4分の1サイズ)



局部通電加熱せん断加工装置

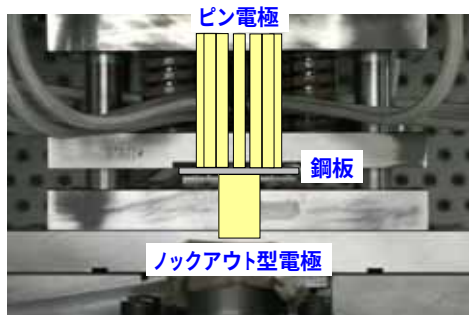


通電加熱の温度分布計算結果



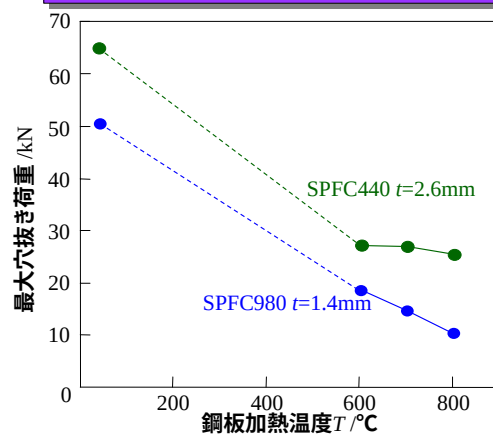
局部通電加熱せん断加工

加熱の為に鋼板加圧 → 加熱 → せん断加工

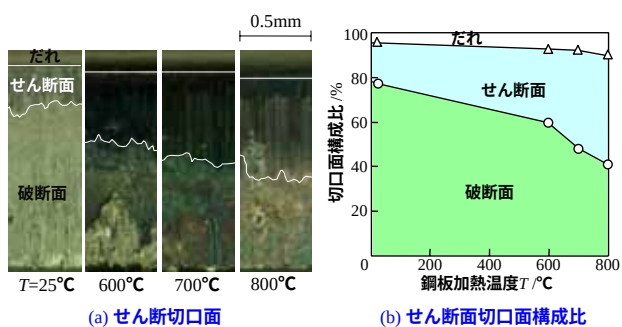


SPFC440, $t=2.6\text{mm}$, $T=800^\circ\text{C}$
パンチ速度 150mm/s , クリアランス $c=6\%t$

最大穴抜き荷重に及ぼす鋼板加熱温度の関係



SPFC980, $t=1.4\text{mm}$ 鋼板での穴抜き加工後切口面



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