軽量自動車部品の成形技術

－環境にやさしい成形技術を目指して－

豊橋技術科学大学
生産システム工学系　教授
森謙一郎

愛知県，静岡県における塑性加工研究の背景

- 工業生産量：愛知県35兆円（11.4%），静岡県16兆円（5.2%）
- 自動車産業が盛ん
  愛知県;輸送機械:41.9%,一般機械:10.3%,電気機械:7.4%)
  静岡県;輸送機械:31.2%,電気機械:9.4%,化学工業9.1%,一般機械:6.4%
- 多くの塑性加工メーカー(塑性加工学会賛助会員：東海110社,全体370社)

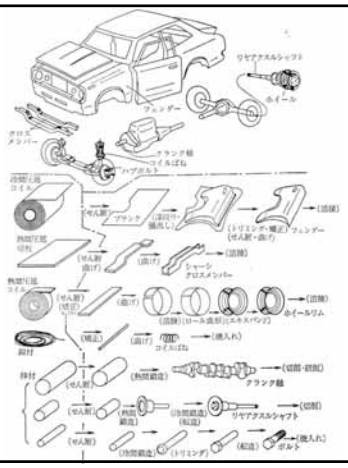


図　自動車部品の塑性加工

塑性加工研究室

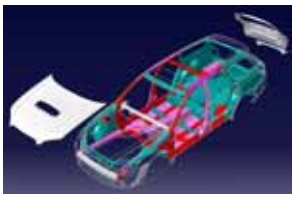
－環境に優しい成形技術を目指して－

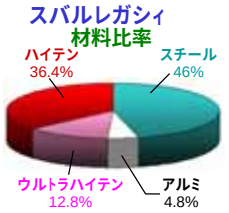
100kg軽量：1km/l燃費向上

軽量材料の成形
- 超高張力鋼板
- アルミニウム，チタン，マグネ
- 材質改善，接合

軽量化部品の成形
- 中空部品
- 一体化成形

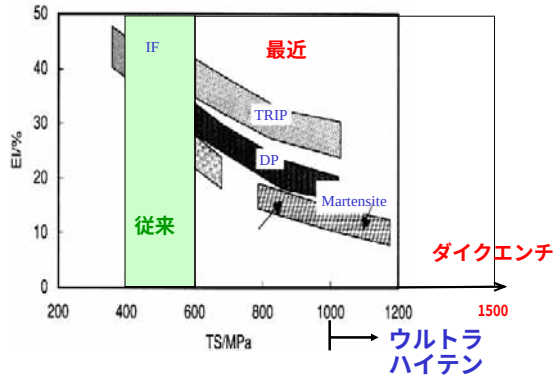
自動車車体への高張力鋼板の適用





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



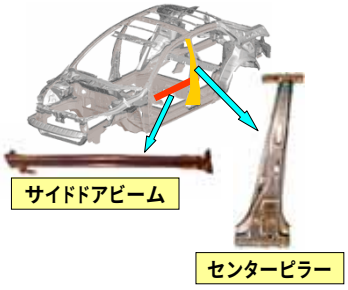
自動車用板材の比強度の比較

板材	引張強さ	密度	比強度
ウルトラハイテン	980～1470MPa	7.8g	126～188kNm/kg
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処理材)	310MPa	2.7	115MPa

- 低価格
- 成形に関するノウハウの蓄積

ウルトラハイテンの自動車部材への適用

ウルトラハイテン：1GPa以上

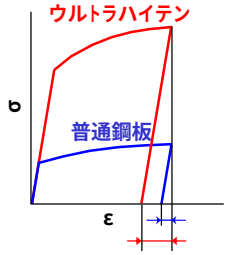


ウルトラハイテンの成形

1) 高精度プレスを用いた冷間曲げ成形におけるスプリングバック

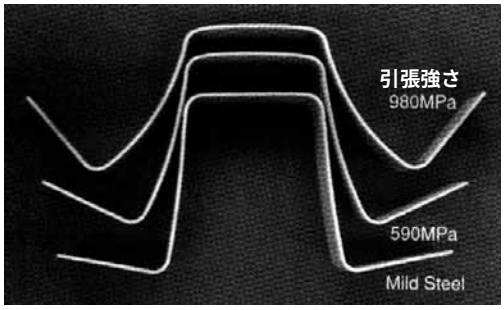
2) 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形

ウルトラハイテンのスプリングバック



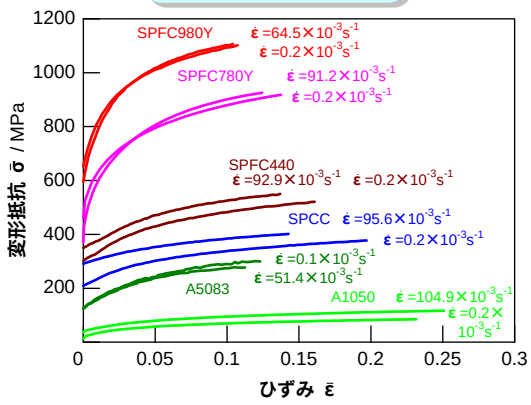
スプリングバック：大
形状凍結性：低
⇒ 適用が限定

高張力鋼板のハット曲げにおけるスプリングバック



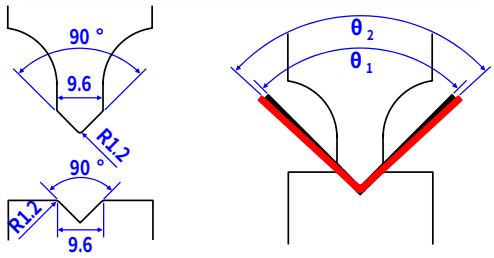
岩谷：プレス技術，42-8(2004)，43

板材の変形抵抗曲線



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



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

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

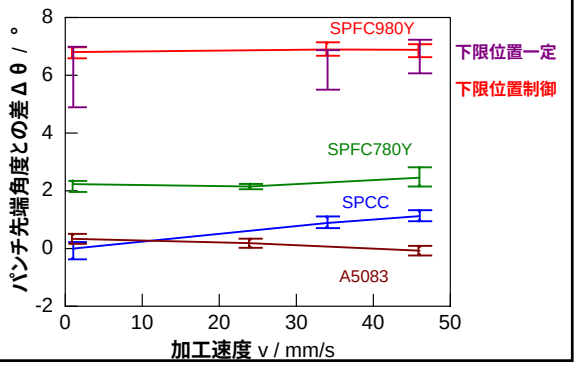
V曲げの変形挙動

(a) SPCC

(b) SPFC980

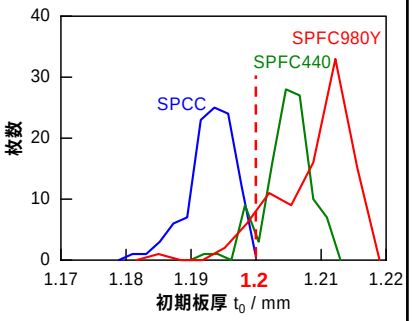
設定加工速度：25mm・s^{-1}

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(a=0%)



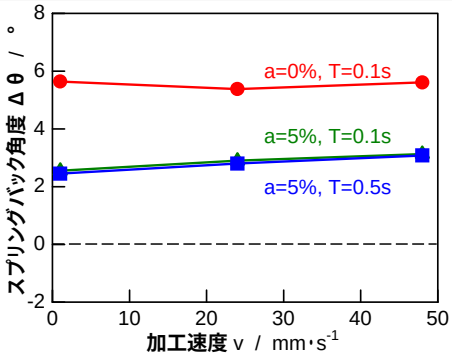
試験片の種類，初期板厚のばらつき

種類	SPFC980Y (二相強化型), SPFC440 (析出強化型), SPCC
試験片形状	W55mm×L60mm
公称板厚	1.2mm

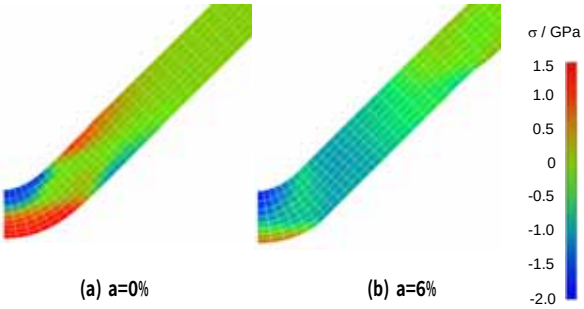


標本数：各100枚

V曲げにおけるスプリングバック角度と加工速度の関係(SPFC980Y)



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)



ウルトラハイテンの成形

1) 高精度プレスを用いた冷間曲げ成形におけるスプリングバック

2) 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形

通電加熱を用いたウルトラハイテンの温・熱間プレス成形

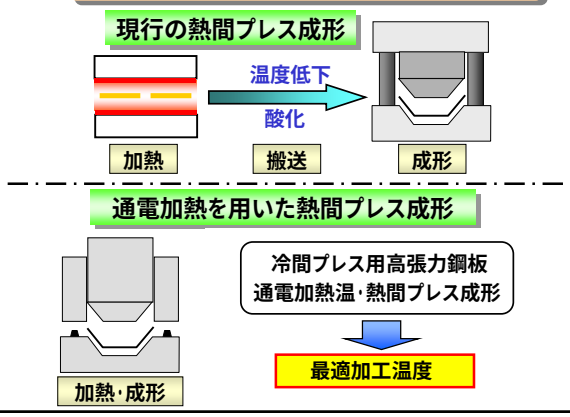
サイドドアビーム　センターピラー

スプリングバック：大
成形性：低

熱間プレス成形

変形抵抗：小
延性：大

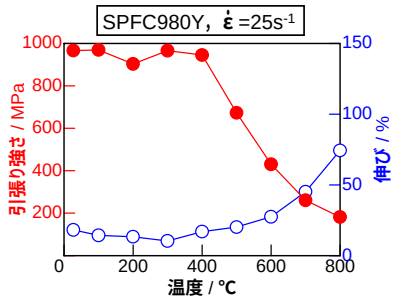
ウルトラハイテンの温・熱間プレス成形



高張力鋼板の加熱引張り特性

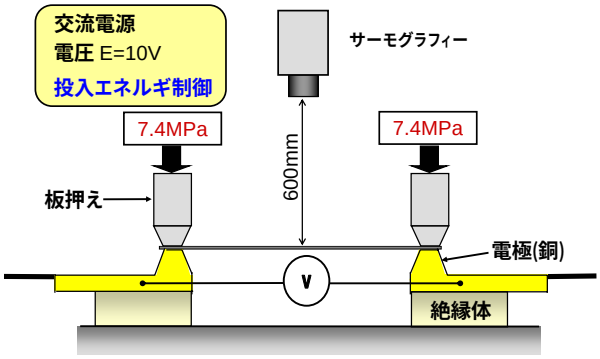
高張力鋼板：SPFC440, 590Y, 780Y, 980Y

板厚 t=1.2mm



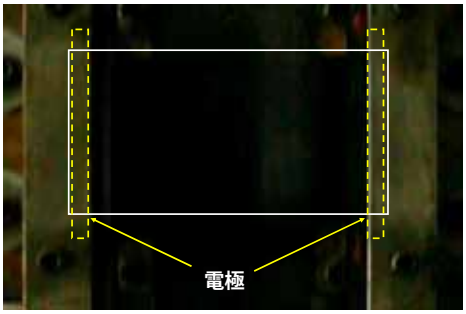
通電加熱実験装置概図

素板寸法：L130×W80×t1.2



通電加熱映像

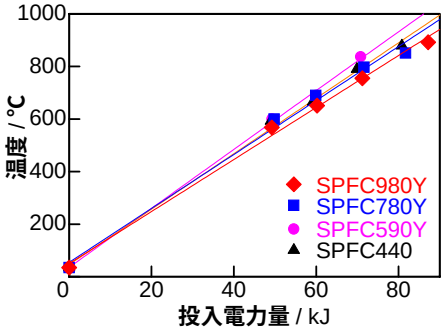
SPFC980Y　投入電力：85kJ (10V)



通電加熱中のサーモグラフィ映像

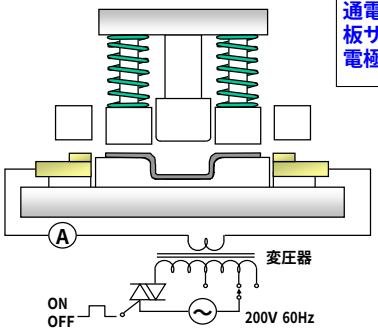
SPFC980Y　投入電力：85kJ (10V)

加熱温度と投入電力量の関係



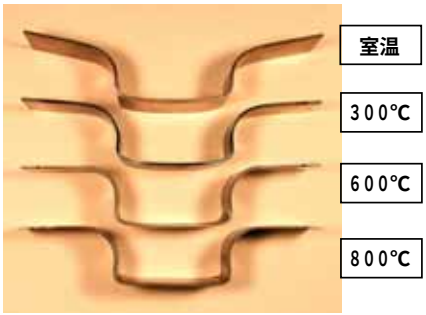
通電加熱ハット曲げ成形装置

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

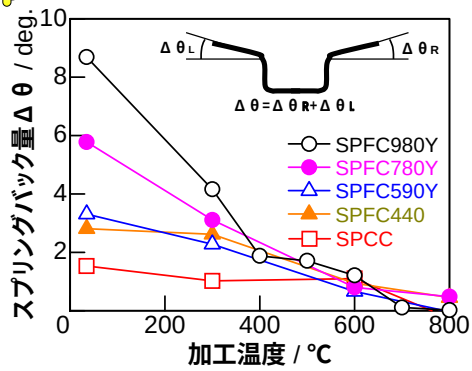


通電
(0.2秒)
プレス
2秒保持

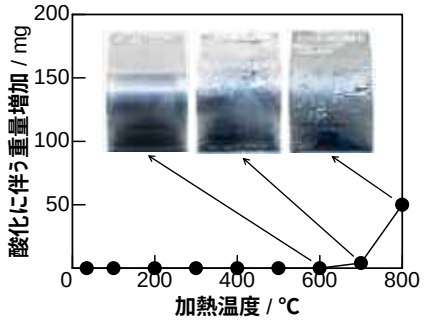
ハット曲げ成形体(SPFC980Y)



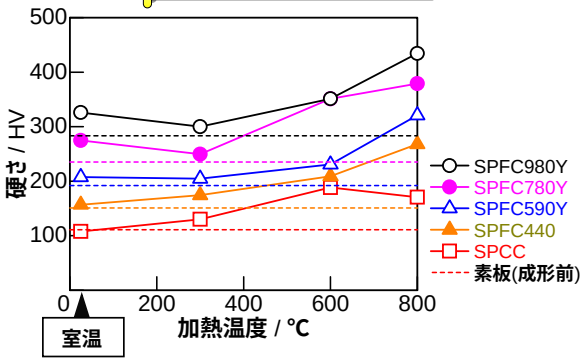
成形温度とスプリングバック量の関係



酸化スケールの発生状況 (SPFC980Y)



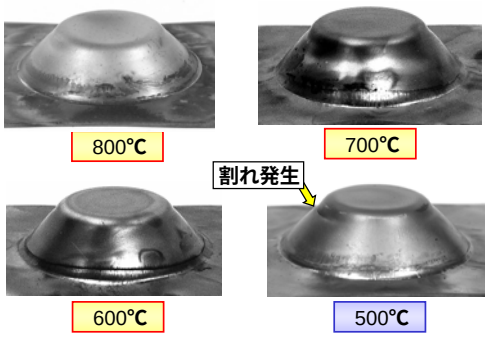
加工温度と硬さの関係



通電加熱熱間絞り成形実験映像

SPFC980Y　投入電力量73kJ　(800℃)

絞り成形体



塑性加工研究室

ー環境に優しい成形技術を目指してー

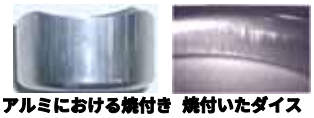
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板
- アルミニウム，チタン，マグネ
- 材質改善，接合

軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形

プラスチックダイスを用いた深絞り加工における焼付きの防止



アルミにおける焼付き　焼付いたダイス

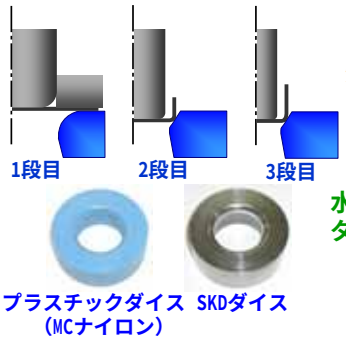
アルミ，チタン板等の焼付き
↓
潤滑剤の使用で防止
↓
洗浄処理による廃液
↓
環境に対する負荷が大きい

プラスチックダイスの適用

↓

環境にやさしい焼付き防止技術の開発

プラスチックダイスを用いた多段深絞り加工

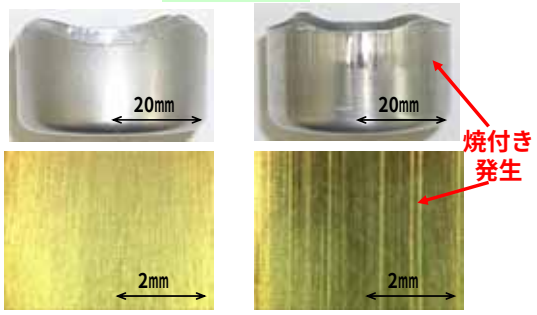


焼き付き防止
アルミニウム，
チタン板

水潤滑
ダイスの変形

純アルミニウム板の深絞り加工

しごき加工あり



焼付き
発生

MCナイロンダイス
水潤滑

SKD11ダイス
油性潤滑剤(PG3740)

多金属板への応用

(a) 純チタン　(b) アルミニウム合金

(c) SPCC　(d) SUS304

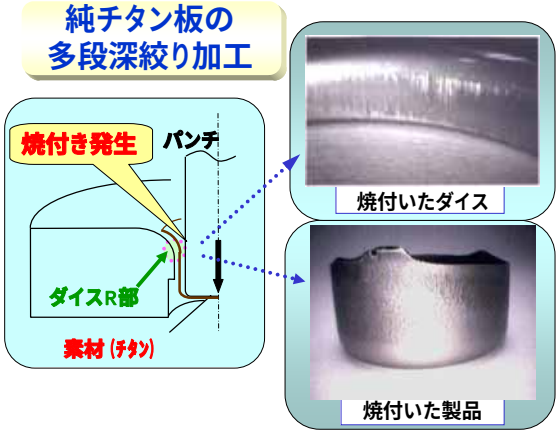
MCナイロンダイス，水潤滑

チタン板の多段深絞り加工

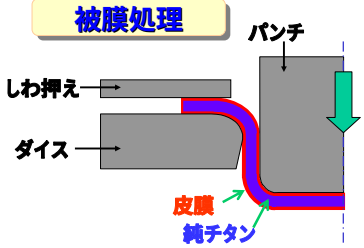
チタン

- 軽い
  - 密度が小さい
    軟鋼の約60%
    (密度：4.51g/cm³)
- 強い
  - 比強度 (強さ/密度) が大きい
    引張強さは軟鋼と同等
    (引張強さ：約300MPa)
- 高い耐食性
  - 耐食性がよい
    海水に強い
    (不動態皮膜が強い)
- r値が大きい
  深絞り加工に最適

純チタン板の多段深絞り加工



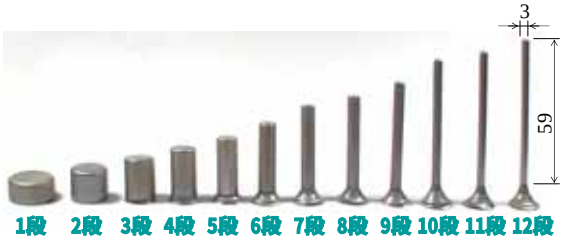
被膜処理



皮膜の種類

(1) 陽極酸化皮膜処理
(2) 大気酸化皮膜処理
(3) 市販材 (カラーチタン，窒化チタン)

陽極酸化皮膜処理と銅合金ダイスによる純チタン容器の成形



皮膜処理70V ＋ エッチング

深絞り加工されたβ型チタン合金容器

750℃-5min　大気酸化皮膜処理

10mm

マグネシウム合金板の冷間深絞り加工

	マグネシウム合金	アルミニウム合金	鋼
比強度　MPa	139	107	70

マグネシウム合金の
温間プレス成形品

ダイカスト，チクソフォーミング（90%以上）

⬇ 生産性向上

プレス成形

温間　200～300℃　装置複雑

冷間　常温　成形性低

⬇

冷間での成形性向上

マグネシウム合金板の冷間深絞り加工における割れ

(a) 焼なましなし
(r=1.32)

(b) 焼なましあり
(r=1.32)

冷間深絞り加工されたマグネシウム合金容器

(a) 割れ無
(Rp=2mm，r=1.70)

(b) 割れ有
(Rp=2mm，r=1.75)

(c) 割れ無
(Rp=5mm，r=1.70)

(d) 割れ有
(Rp=5mm，r=1.75)

塑性加工研究室

ー環境に優しい成形技術を目指してー

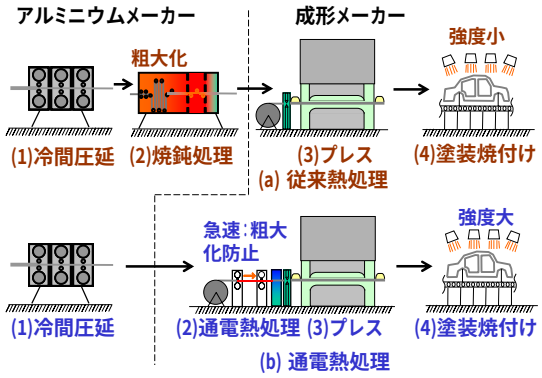
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板
- アルミニウム，チタン，マグネ
- 材質改善，接合

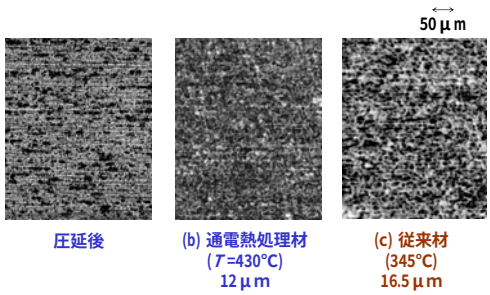
軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形

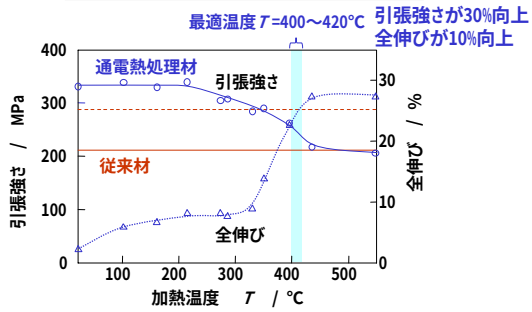
急速熱処理による高性能アルミニウム合金板の製造



A5052材の結晶粒径の変化

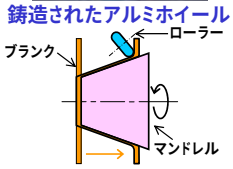


A5052材の引張強さと全伸び



アルミニウム合金鋳物の熱間しごきスピニング加工

鋳造されたアルミホイール



しごきスピニング加工

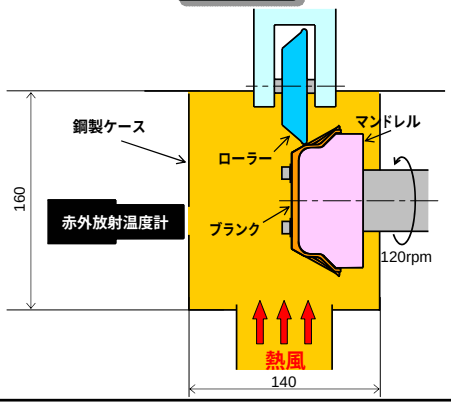
気孔

鋳造欠陥→強度 低

塑性加工

鋳造欠陥および
デンドライト組織の改善

実験方法

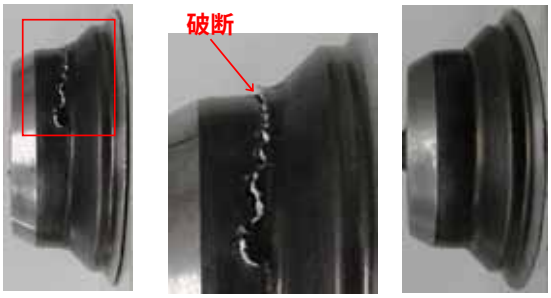


熱間しごきスピニング加工の映像

ρ_R=2mm, T=400°C, R=40%

加工温度上昇による加工性向上

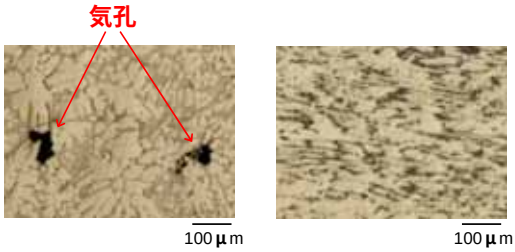
ρ_R=2mm, R=40%



(a) T=350℃　(b) 拡大図　(c) T=400℃

しごきによる鋳造欠陥の改善

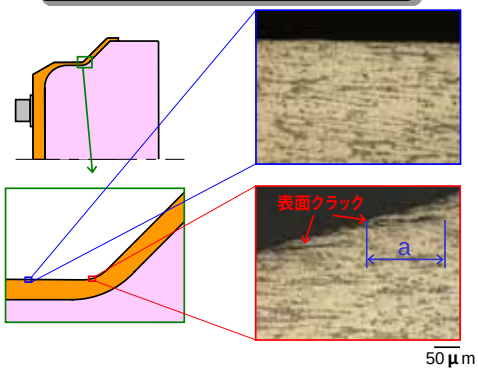
ρ_R=2mm, T=400℃, R=40%



(a) 成形前　(b) 成形後

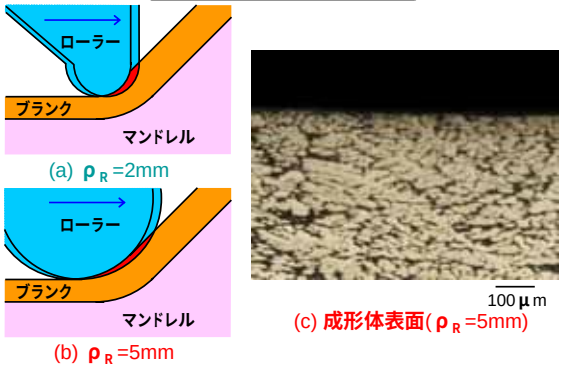
しごきによる表面クラックの発生

ρ_R=2mm, T=400℃, R=55%



クラック発生の防止法

ρ_R=5mm, T=400℃, R=30%



(a) ρ_R=2mm

(b) ρ_R=5mm

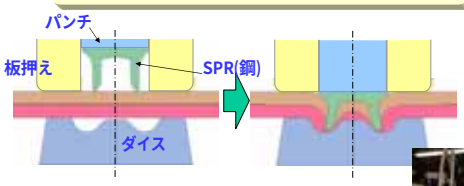
(c) 成形体表面(ρ_R=5mm)

アルミニウム板の接合

アルミニウム：溶接性が低い

Audi_A2

セルフピアッシングリベット



＜工法のメリット＞

- 板にSPRを打込み，機械的に結合
- 穴あけ不要
- 溶接の難しい材料の締結
- 異種材料の締結

アルミニウム板と高張力鋼板の接合

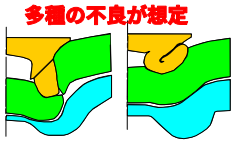
高張力鋼板

・高強度，高硬度 → リベット硬度に近い

・延性小

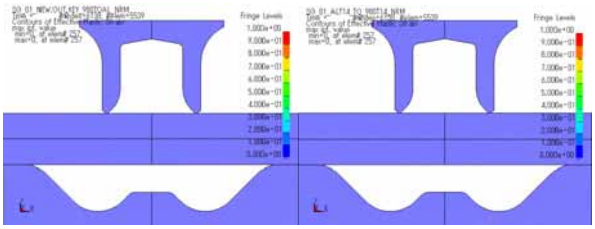
多種の不良が想定

・ダイ形状の最適化
(ダイ径，深さ)



リベット割れ　リベット折れ

シミュレーションによる打ち込み

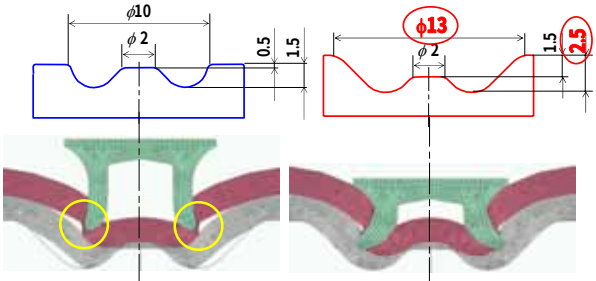


(a) 上板 SPFC980 t1.4,
下板 A5052 t1.5

(b) 上板 A5052 t1.5,
下板 SPFC980 t1.4

テーパーダイによる変形挙動の予測

(上板：SPFC980，t1.4，下板：A5052，t1.5)



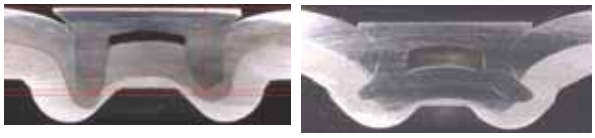
ストローク 3.5mm　　ストローク 5.7mm

曲面ダイ　　テーパーダイ

テーパーダイを使用した実験断面

(上板：SPFC980，t1.4，下板：A5052，t1.5)

曲面ダイ → テーパーダイ形状



塑性加工研究室

ー環境に優しい成形技術を目指してー

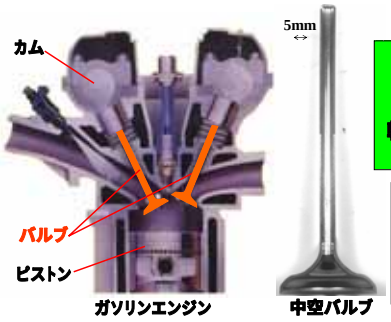
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板
- アルミニウム，チタン，マグネ
- 材質改善，接合

軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形

自動車用中空エンジン弁のプレス成形

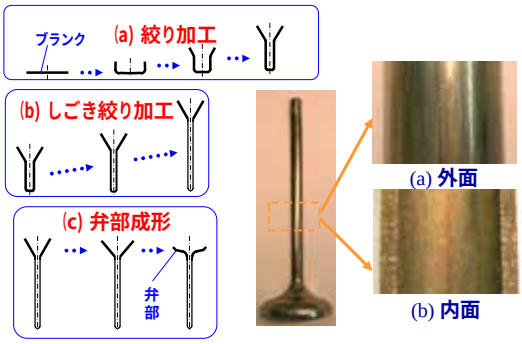


ガソリンエンジン　　中空バルブ

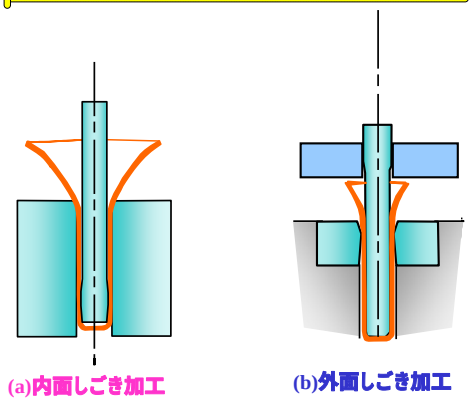
中空バルブ
↓
軽量化：エンジンの高出力化，低燃費化

多段深絞り加工
↓
内面性状の悪化

プレス成形法と内面粗さ



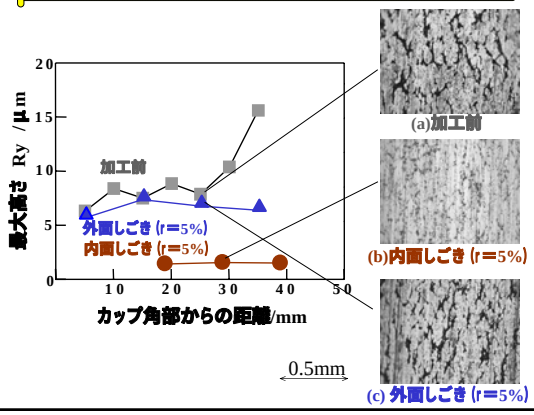
しごき加工の概略図



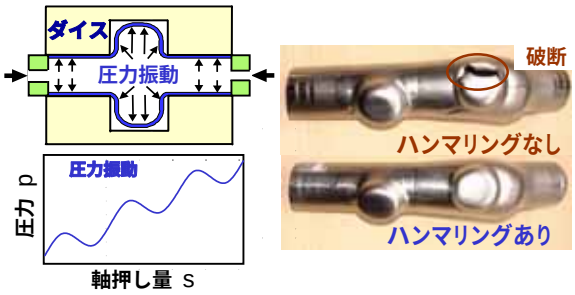
しごき率=5%における内面と外面しごき加工後断面写真

(a) 内面しごき (b) 外面しごき

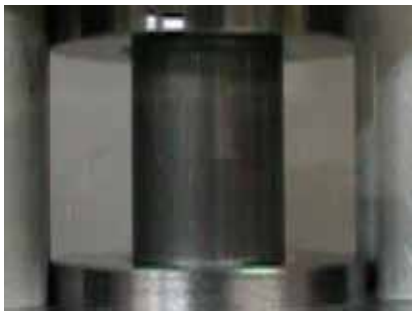
加工後の内面粗さと内面顕微鏡写真



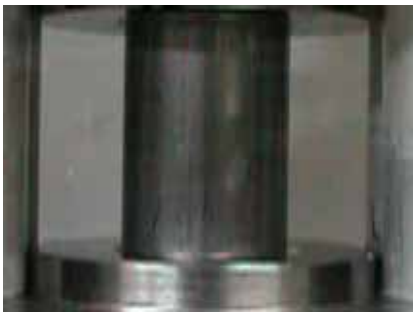
管材のハンマリングハイドロフォーミング



一定圧力におけるハイドロフォーミング



ハンマリングハイドロフォーミング



ハンマリングより得られた台形の張出し

台形張出し　円形張出し　しわ

(a) ハンマリング
p_0=17.6MPa
Δp = 3MPa
ω=0.66 c/mm

(b)一定圧力
p_0=20.5MPa

(c)一定圧力
p_0=17.5MPa

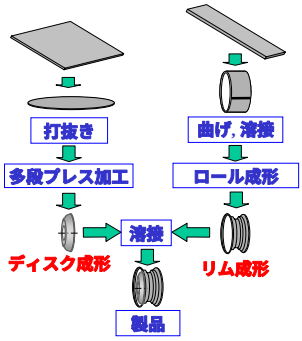
塑性加工研究室

ー環境に優しい成形技術を目指してー

軽量材料の成形
- 超高張力鋼板
- アルミニウム，チタン，マグネ
- 材質改善，接合

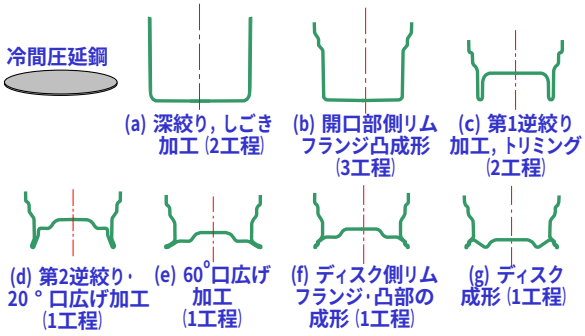
軽量化部品の成形
- 中空部品
- 一体化成形

乗用車用ホイールの一体成形



一体成形の利点
溶接工程省略
溶接検査不要
連続プレス成形
生産性向上

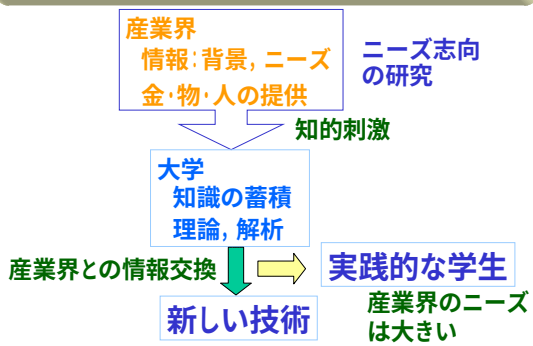
乗用車用ホイールの一体成形



各工程後の断面写真

一体プレス成形製品

塑性加工研究室
http://plast.pse.tut.ac.jp/
ー環境に優しい成形技術を目指してー

- サーボプレスを用いた超高張力鋼板の高精度成形
- 超高張力鋼板の温･熱間プレス成形
- プラスチックダイスを用いた深絞り加工
- 純チタン･チタン合金板の冷間多段深絞り加工
- マグネシウム合金板の冷間深絞り加工
- 急速熱処理による高性能アルミニウム合金板の製造
- アルミニウム合金鋳物の熱間しごきスピニング加工
- セルフピアシングリベットによる板材の塑性接合
- 自動車用軽量中空エンジン弁のプレス成形
- 軽量中空部品のハンマリングハイドロフォーミング
- 自動車用スチールホイールの一体プレス成形

産学連携による技術開発
サイエンスとテクノロジーのシナジー効果