

変形加工による変形状制御 - 薄鋼板の温間プレス成形 -

生産技術研究所 (産業機械工学)
柳本 潤



塑性加工の変形状制御

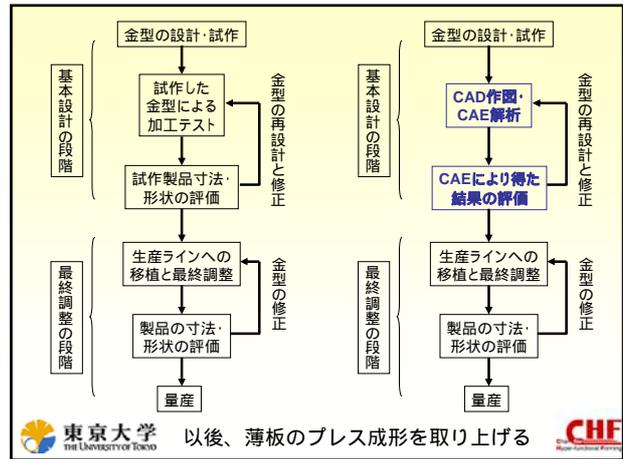
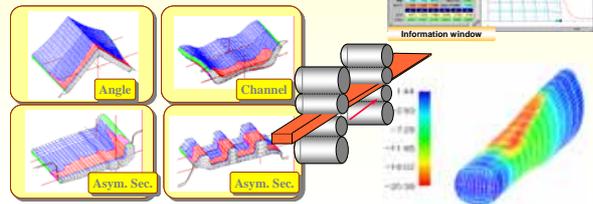
- 適正な金型の設計および製作
- 適正な工程の設計 (潤滑、温度、速度)
- 適正な剛性の機械および金型周辺機器の利用
- 何が適正か? 変形状の把握が極めて重要
- CAE導入によるデジタルデザインシステム化
- 暗黙知の形態知への変換



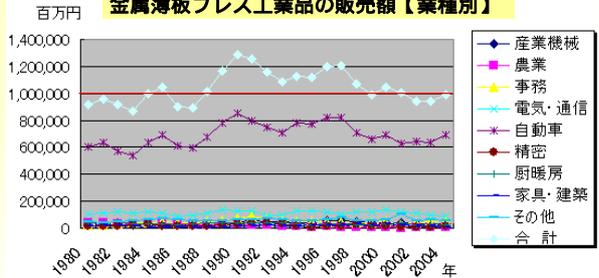
圧延変形解析システム (CORMILL System)

開発された解析システムは、奨励会TLOを通して民間企業に移転され、各種の圧延金型(圧延ロール)の設計や、圧延条件の設計に貢献している。

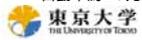
TLOを通じた技術移転先: 11社
鉄鋼協会を通じた頒布先: 15社以上
年間適用事例(解析条件数): 数万件



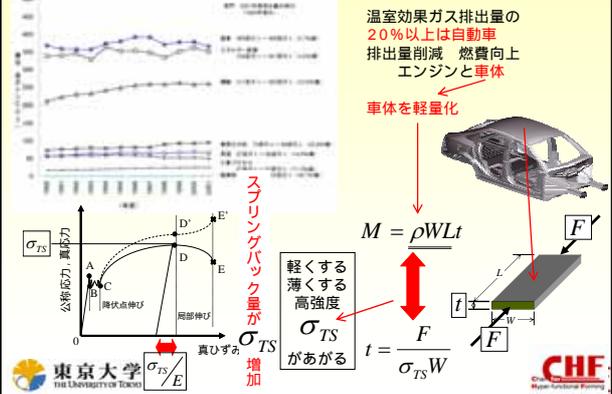
金属薄板プレス工業品の販売額【業種別】

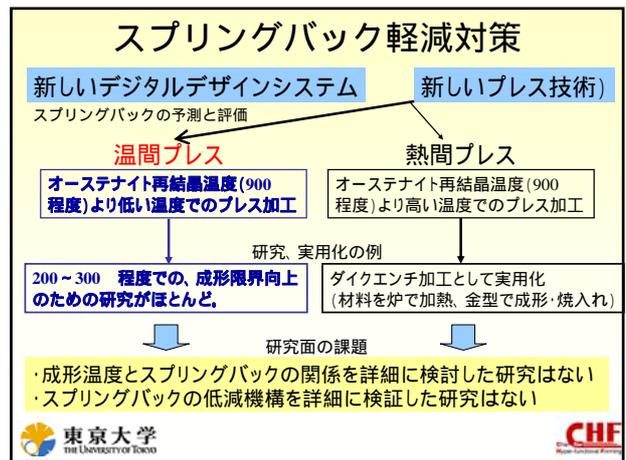
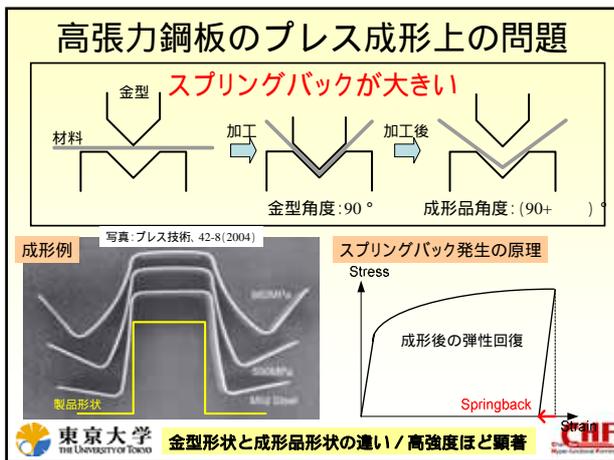
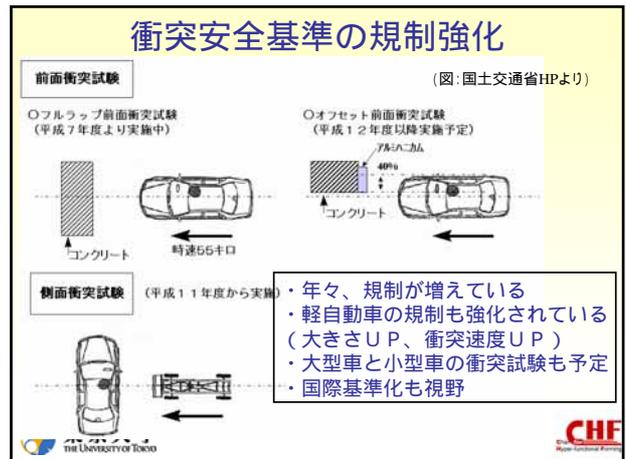
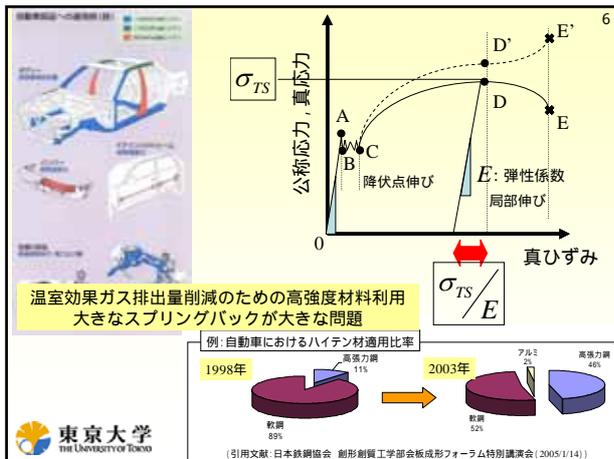


金属薄板プレス工業は1兆円(9864億円)産業で、基幹産業の一つ(常に需要がある。あらゆるところに利用されている。)
スプリングバックは、この1兆円産業に100%密接に関わっている大きな課題
裾野は広い。電気・通信でも10%、自動車は最大で70%のシェア
自動車約20兆円、大手鉄鋼約6兆円、PC1兆7336億円、液晶TV4796億円



金属薄板プレス工業品への社会からの要求 - 温室効果ガス排出量削減





内容

高張力鋼板の温間、熱間プレス成形におけるスプリングバックの基礎特性、**温間スプリングバックフリー成形**について、以下の観点から検討する。

- (1) 成形温度とスプリングバックの関係の検討
- (2) スプリングバック低減機構の解明
- (3) 温間プレス成形の工業レベルへの応用

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

スプリングバックフリー成形

- (1) 成形温度とスプリングバックの関係の検討
- (2) スプリングバック低減機構の解明
- (3) 温間プレス成形の工業レベルへの応用

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

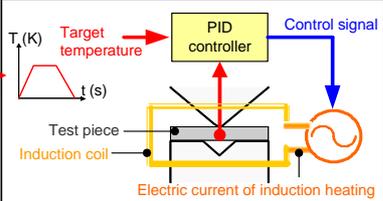
実験



試験機

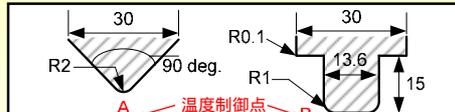
・高温圧縮試験装置内での恒温プレス成形試験

・誘導加熱方式で試験片温度を試験中、目標温度に恒温制御

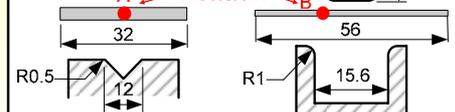


金型形状、試験片温度制御点

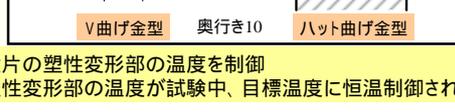
パンチ



試験片



ダイ



V曲げ金型 奥行き10 ハット曲げ金型

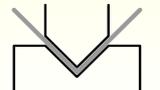
試験片の塑性変形部の温度を制御
塑性変形部の温度が試験中、目標温度に恒温制御される。

実験条件

材料

金型材料	タングステンカーバイト
試験片材料	析出強化型高張力鋼板 HSS-1 (540MPa, t1.6, 0.08C-0.26Si-1.09Mn)
	固溶強化型高張力鋼板 HSS-2 (340MPa, t0.75, 0.015C-0.01Si-0.3Mn)
	TRIP型高張力鋼板 TRIP (780MPa, t1.2)
	DP型高張力鋼板 DP600 (600MPa, t1.0)
	冷間圧延鋼板 SPCC (270MPa, t1.6)

高張力鋼板4種類
普通鋼板1種類

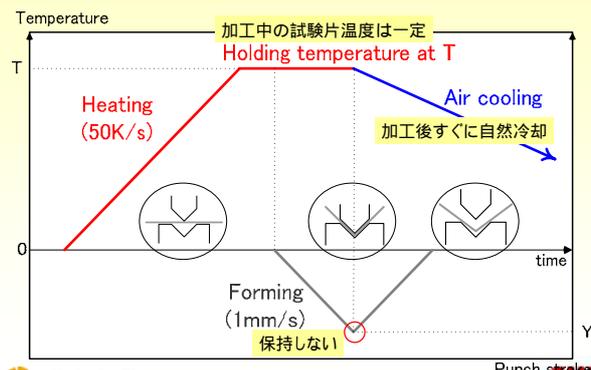


パンチ斜面、試験片フランジ部、ダイ斜面が幾何学的に接するように、ストローク量を設定。(加圧はされない)

加工条件

Heating rate	50K/s
Punch speed	1mm/s
Punch stroke	4.5mm (V-bending, t1.6)
	4.67mm (V-bending, t1.2)
	4.757 (V-bending, t1.0)
	14mm (Hat bending)

試験パターン



加工中の試験片温度は一定
Holding temperature at T

Heating (50K/s)

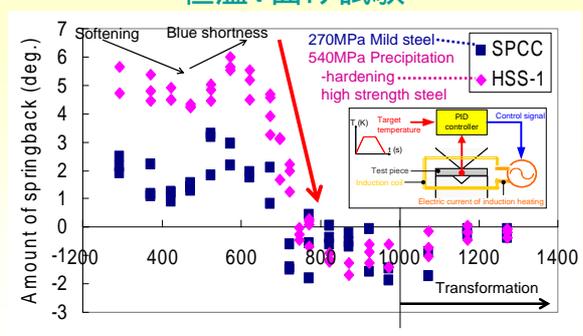
Air cooling

加工後すぐに自然冷却

Forming (1mm/s)

保持しない

恒温V曲げ試験



Amount of springback (deg.)

Temperature of bending zone (K)

softening Blue shortness

270MPa Mild steel SPCC

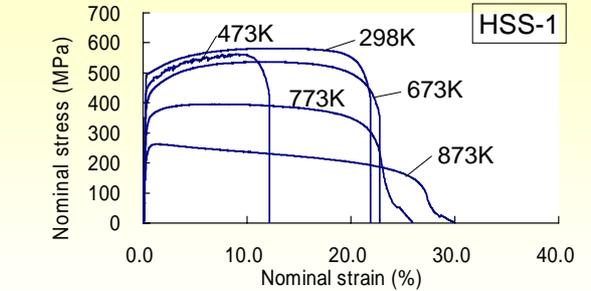
540MPa Precipitation HSS-1

-hardening high strength steel

Transformation

成形温度500 でスプリングバックが0にまで減少することを発見 (スプリングバックフリー現象と命名)

HSS-1の高温引張り試験結果



Nominal stress (MPa)

Nominal strain (%)

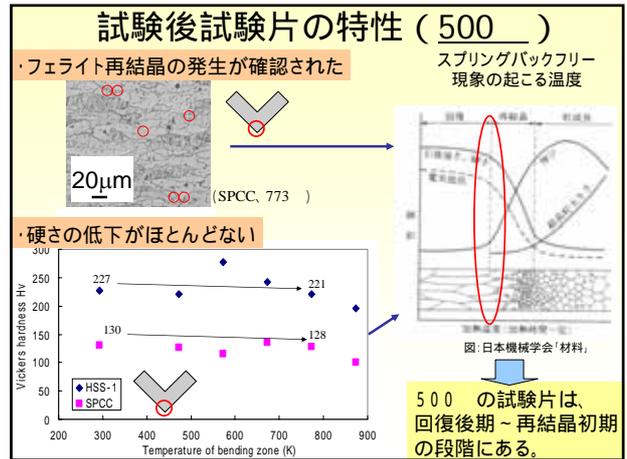
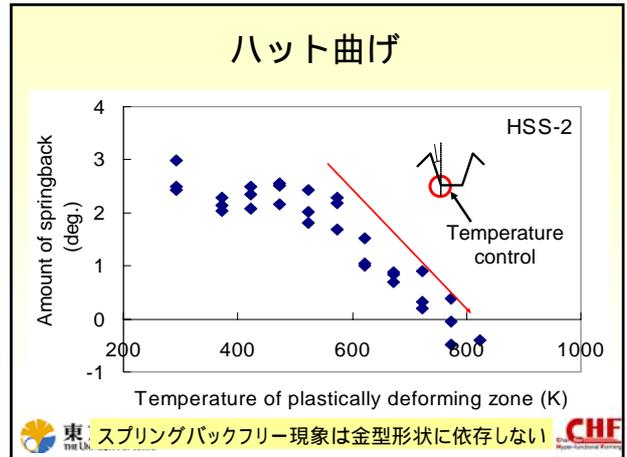
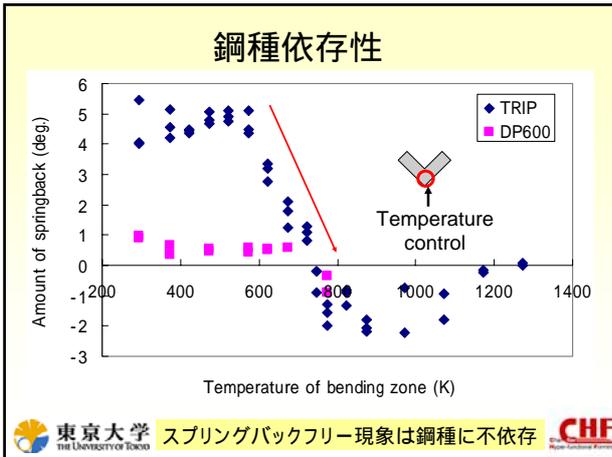
473K 298K

773K 673K

873K

HSS-1

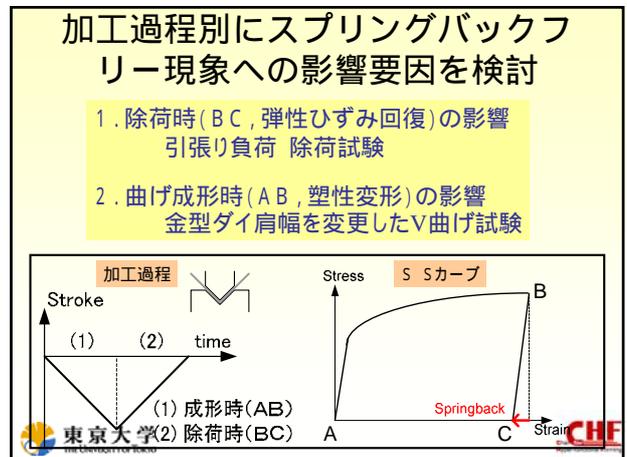
スプリングバックフリー現象は、変形抵抗の減少だけでは説明できない
他の要因が影響を及ぼしていると考えられる(後述)。



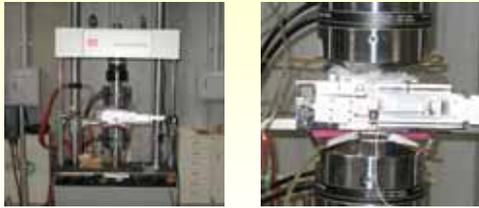
スプリングバックフリー成形

- (1) 成形温度とスプリングバックの関係の検討
- (2) スプリングバック低減機構の解明
- (3) 温間プレス成形の工業レベルへの応用

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO CHE



引張り負荷 除荷試験：実験装置



試験機全体

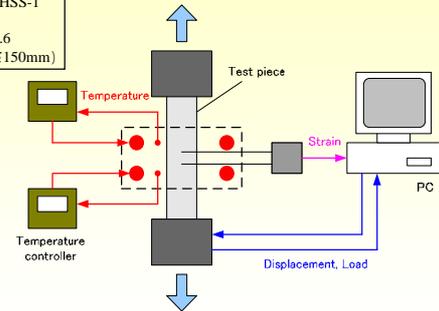
加熱炉付近

加熱炉付き100kN油圧疲労試験機



試験装置の構成

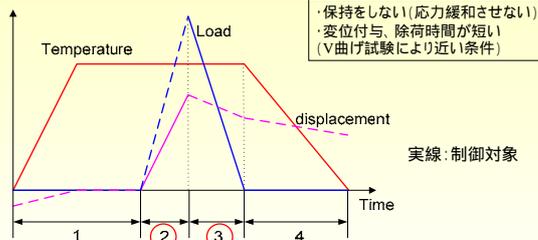
試験片材料:
高張力鋼板HSS-1
(540MPa)
20 × 200 × 1.6
(平行部長さ150mm)



目的: 温間V曲げ試験を1軸方向のみで再現する
高温変形中の応力、ひずみデータを取得できる。



試験パターン

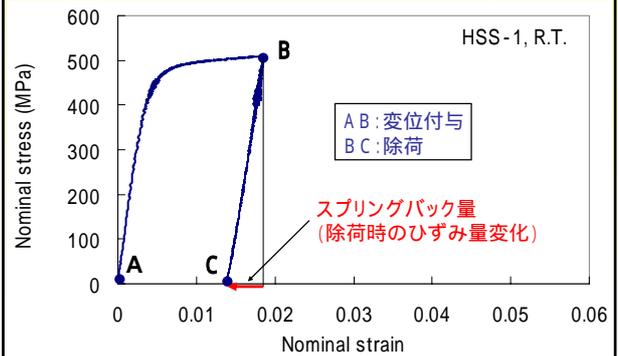


1. 試験温度に加熱、10分間保持 (荷重制御)
2. 5秒で1.5mmの変位付与 (変位制御)
3. 引張りによる負荷荷重を5秒で除荷 (荷重制御)
4. 自然冷却 (荷重制御)

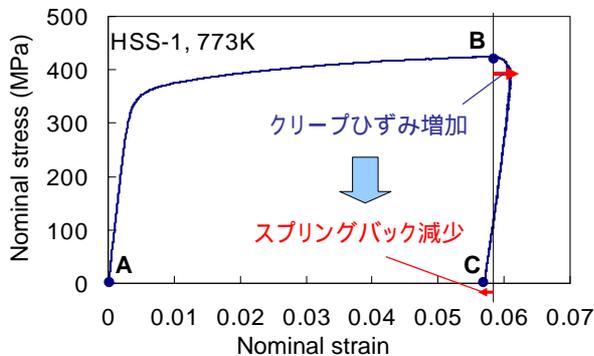
温度ごとの応力 ひずみ関係を調べる



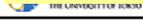
実験結果：応力 ひずみ曲線 (常温)



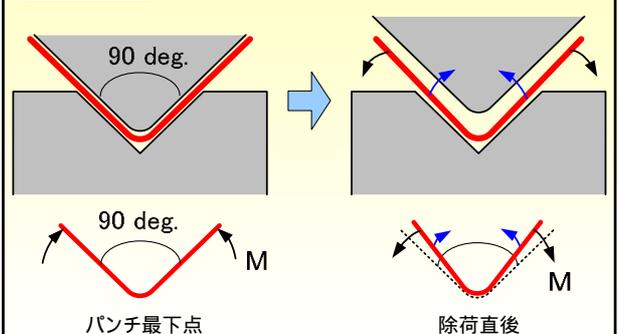
実験結果：応力 ひずみ曲線 (T=773K)



除荷直後の高温クリープひずみの発生で、スプリングバックが減少。



除荷過程のスプリングバック低減効果



除荷直後でも、クリープの影響で、試験片は僅かに曲がる。その結果、パンチ角度に対するスプリングバック量が減少する。

500 以上で曲げ変形挙動が変化

500 以上のV曲げ試験のみで、曲げ戻し変形が観察された。
これがスプリングバック低減へ影響を及ぼしていると考えられる。

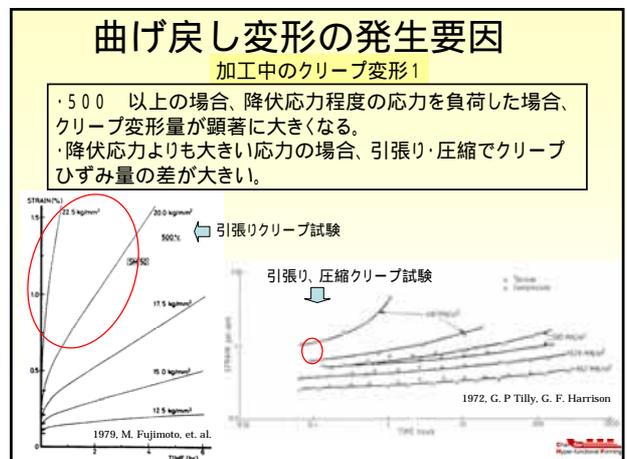
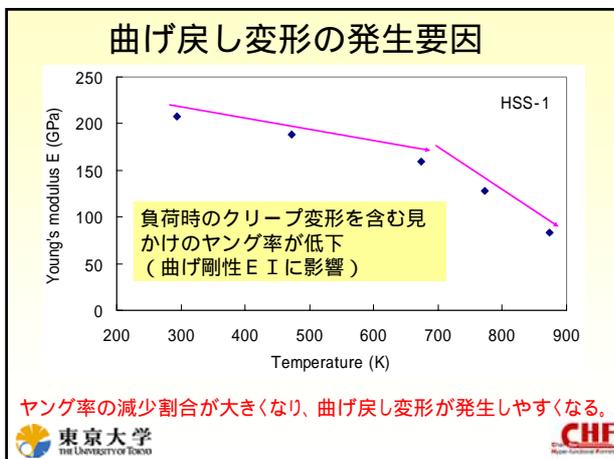
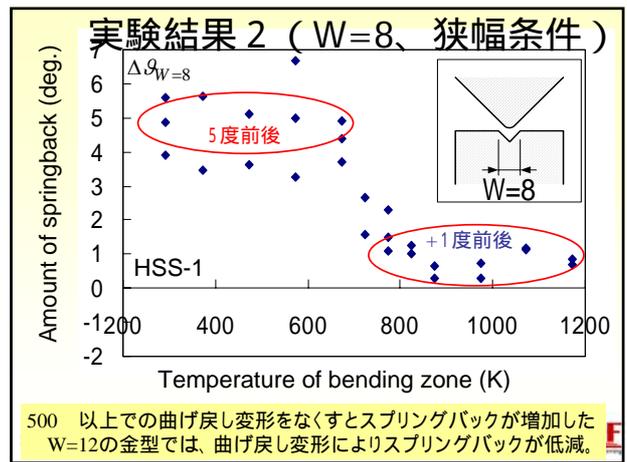
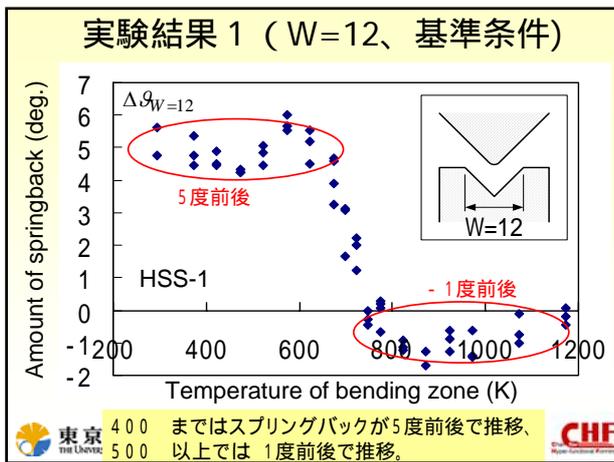
曲げ変形のみ (~400) (ダイと試験片の接点は常に肩部)
曲げ 曲げ戻し変形 (500 ~) (接点が肩部から徐々に金型斜面になる)

曲げ戻し変形の有無によるスプリングバック量の変化を検討する。
ダイ肩幅を変更したV曲げ試験

金型ダイ肩幅を変更したV曲げ試験

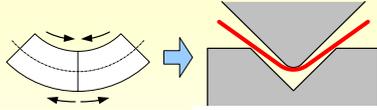
ダイ肩幅 $W = 12\text{ mm}$ (従来) ダイ肩幅 $W = 8\text{ mm}$ (新規)

500 以上で曲げ戻し変形が起こらないようにするため

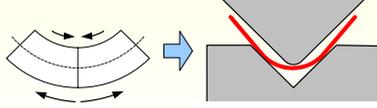


曲げ戻し変形の発生要因

加工中のクリープ変形2



(a) 引張りクリープひずみ = 圧縮クリープひずみ



(b) 引張りクリープひずみ > 圧縮クリープひずみ

加工中: 降伏応力よりも大きな荷重がかかる
引張り・圧縮ひずみに差
曲げ半径大・曲げ戻し変形の発生



スプリングバックフリー成形

- (1) 成形温度とスプリングバックの関係の検討
- (2) スプリングバック低減機構の解明
- (3) 温間プレス成形の工業レベルへの応用



実験装置概要



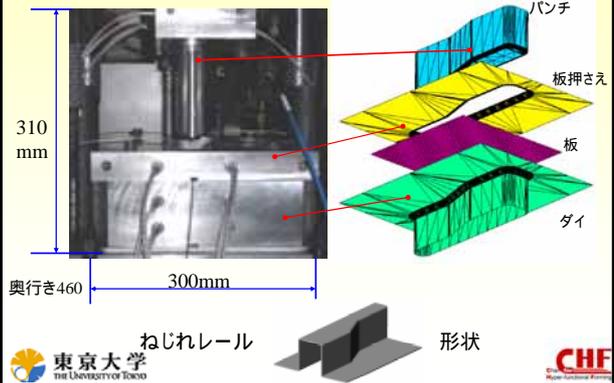
< 名称 >
2500/500kN複動式油圧プレス

< 加圧能力 >
インナ : 1000 ~ 2500kN
アウト : 100 ~ 500kN

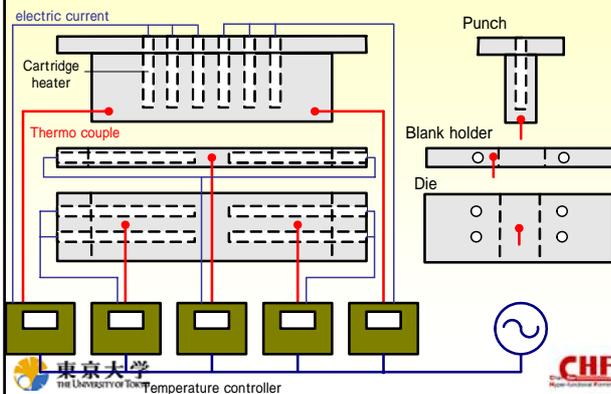
< 最大ストローク >
300mm



金型概要



金型加熱による加工温度制御



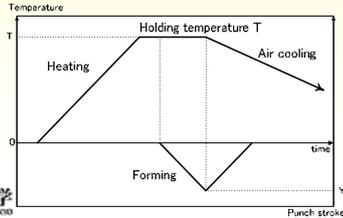
実験条件

Blank material	DP600
Blank size	300*300*1mm
Heating rate	About 200K/h
Punch speed	78mm/s
Punch stroke	60mm
Clearance between dies at flange portion	1.0mm
Holding time at the end of stroke	5sec.
Cooling	Natural cooling

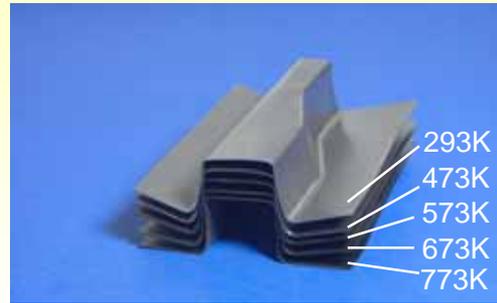


実験手順

1. 鋼板をダイに載せ、板押さえで押さえた状態で加熱
2. 目標温度到達後、パンチを下降させ、加工
3. パンチを上昇させた状態で、自然冷却
4. 冷却後、成形品取り出し



結果：試験温度別の成形品



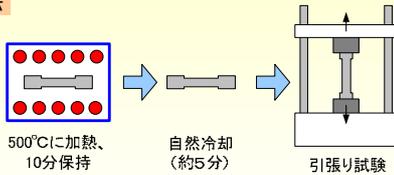
500 の温間温度域でスプリングバックが0 V曲げ試験と同じ傾向

工業レベルでの応用が可能

温間プレス成形後の材料特性

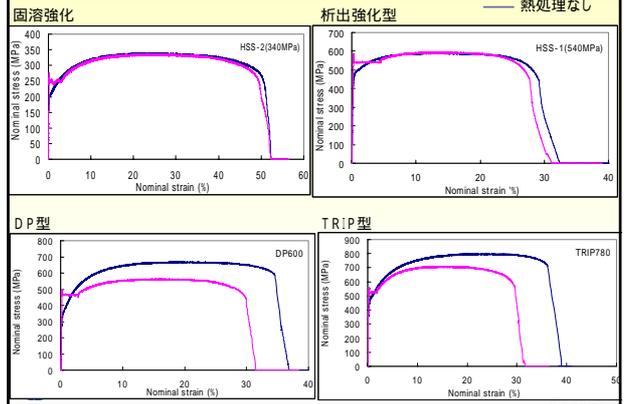
500 熱処理した試験片を常温で引張り試験

実験方法



- 本研究で用いた全ての鋼板について実験した。
(固溶強化型、析出強化型、DP、TRIP、SPCC)
- 試験片形状はJIS規格準拠
- 熱処理しない鋼板についても引張り試験を行い、比較した。

< 引張り試験結果 >



< 材料定数の比較 >

熱処理なし
熱処理あり

すべての材料で降伏点が上昇

	SPCC	HSS-2	HSS-1	DP600	TRIP
降伏点 (MPa)	179.6 236	201.6 238.9	474.4 542.8	347.6 453.1	471.3 522.4
引張り強さ (MPa)	301.3 310.6	340.5 338.2	592.5 596.1	669.9 564.5	801.1 711.4
伸び (%)	25.1 26.6	24.8 23.2	13.1 12.8	17.7 15.4	25 14.8

伸びは、公称応力最大時の公称ひずみを表す

強度、伸びがほぼ同じ

強度、伸びがやや減少

- 伸びの低下が少ない 衝撃エネルギー吸収能力(降伏点と強度の平均×伸び)が高い
- 変形しない骨格部だけでなく、幅広い部位への適用が可能
- 熱間プレス(成形+焼入れ)に対する優位性
- 降伏点大きい 冷間加工よりも変形しにくい部品成形が可能 (冷間プレス)

まとめ

- 恒温V曲げ試験を行い、500 程度の温間温度域でスプリングバックが0にまで減少することを発見した。
(スプリングバックフリー現象)
- 変位制御応力緩和試験を行うことで、スプリングバックフリー現象の発現は、主に高温クリープに起因することを解明した。
- 実金型にヒーターを挿入することで、工業レベルを想定した温間スプリングバックフリー成形を行い、工業レベルでの成形が可能であることを実証した