

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動車板金部品に対応した熱処理技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中国経済産業局

委託先 財団法人岡山県産業振興財団

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
2-1 試作設備	9
2-2 材料	9
2-3 電極構造と通電特性	15
2-4 新ホットプレス技術の確立	19
2-4-1 板材からの成形・熱処理技術	19
2-4-2 成形品の加工・熱処理技術	24
第3章 全体総括	28
3-1 研究開発の成果	28
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	30

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

自動車は、鋼板材料の高強度化による軽量化が進み、高張力鋼板が多用されている。(図1)更に高強度化を図るため、ホットプレスも採用されている。

冷間加工を前提とする高張力鋼板は、材料の伸びが少なく、成形性に限界があり、塑性歪みが大きく加工精度が悪い。

ホットプレスは熱間加工で成形上の制約は少なく、焼入れが終了するまで金型で加工品を保持・拘束して焼き入れするため加工精度も良い。しかし、熱処理後は高強度となりプレス加工ができないため、トリムやピアス等の後加工はレーザーカット等に対応せざるを得ず、生産上のネックとなっている。また、材料の加熱には大規模な加熱炉が必要である。従って、ホットプレスは、強度、成形性、精度の点は理想的であるが、生産性とコストが普及拡大のネックとなっている。

本研究では、焼入れに適した材料を用いて、直接通電加熱による短時間加熱と多段プレス加工が可能な焼入れ技術を開発し、現行のホットプレス技術の課題を、高張力鋼板品以下のコストで解決する、世界に例のない革新的な技術(以下、新ホットプレスという)を目指す。(表1)

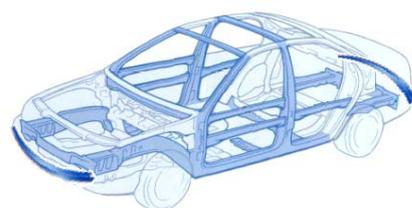


図1 車体の高強度化部品

表1 軽量化技術の比較と研究目標

評価項目	普通鋼板	軽金属	高張力鋼板	ホットプレス	研究開発目標
軽量化	×	◎	△	○	○
精度	○	○	△	○	○
コスト	○	×	○	×	○

◎：非常に良 ○：良 ×：悪い

この技術の実用化により、以下について期待できる。

①車体の軽量化に寄与する。

新ホットプレスは、高張力鋼板の成形性の問題と、現行ホットプレスの生産性と設備費の問題を打開する技術であり、新しい高強度部材を提供する。

②高生産性と低コスト化により、中小企業による国際競争力の強化が期待できる。

安価な投資で高い生産性が実現できる中小企業のモノづくりに適した技術であり、今後の海外展開も期待できる。

③車体以外の自動車部品及び他産業の部品への展開が期待できる。

軽量化・高強度化は自動車車体に限らず、薄板の鋼板部品であれば、新ホットプレス技術の適用対象となり得る。

(2) 研究目的および目標

新ホットプレス工法を従来のホットプレス工法と比較して、図2に示す。新ホットプレスの技術的ポイントは次のとおりである。

(a) 材料

新ホットプレスで用いる鋼板は、焼入れ性が高く、遅い冷却速度でも焼入れを可能とする。また、多段連続プレス加工後に材料が硬化(マルテンサイト変態)する必要があるため、マルテンサイト変態温度を低下させ、プレス加工時間に余裕を持たせる。

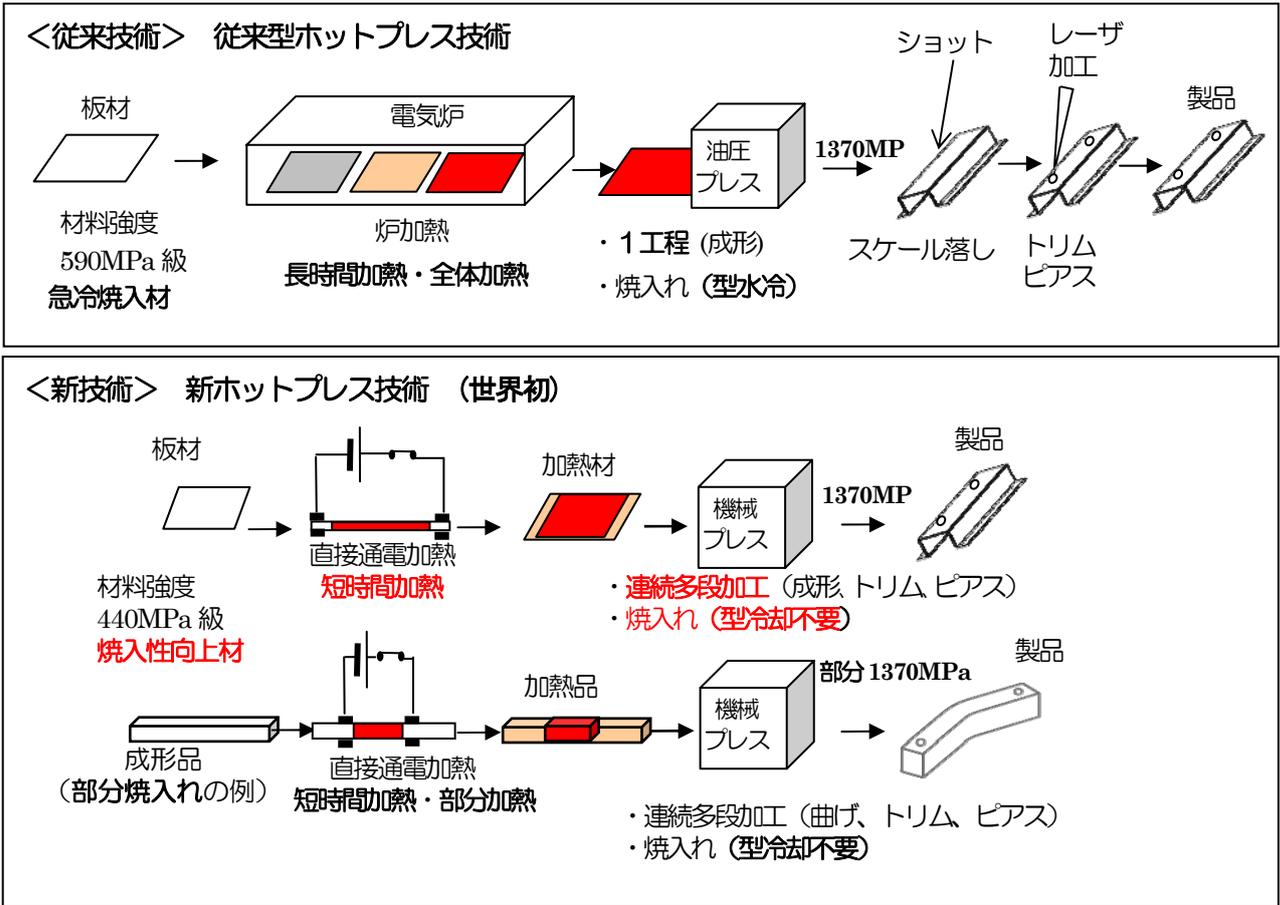


図2 新ホットプレス工法

(b) 加熱

生産性を上げるため、プレス加工のサイクルに同期できる加熱スピードが必要である。従来のホットプレスは加熱炉を用いるため、加熱時間が長い。新ホットプレスは、電極を材料に設置して電気を流す直接通電加熱を用いて加熱時間を短縮する。材料に直接通電して加熱するので加熱効率が非常に高い。

また、直接通電加熱は電極の位置を変えることで部分的な加熱焼入れが可能となる。

(c) プレス成形と焼入れ

新ホットプレスでは、生産性の良い機械式のプレスを用いる。従来のホットプレスは、1工程のプレスで成形し、成形品をそのまま型内で保持し、型を水冷して急速に冷却する必要があるため、油圧式のプレスを用いる。

新ホットプレスは、自然冷却でも焼入れができるという特徴を利用して、多段のプレス加工を行う。材料がマルテンサイト変態する前に加工を完了させる必要があるが、焼入れを行うための水冷は不要である。

従来ホットプレスは、型から成形品が出てきた後には、既に成形品が焼入れで高強度化されている。したがって、穴あけなどの加工は、レーザなどの後加工が必要で、生産性悪化の原因となっている。新ホットプレスでは多段工程のプレス加工が可能になることによって、穴あけなどの加工を連続した多段プレス工程内で実施できるようになる。

(a) ~ (c) 項を新ホットプレスで実現することによって、加熱とプレス加工を同期させた生産プロセスが可能となり、大幅に生産性が向上する。

以上のことから、新ホットプレスは図3に示すような効果が期待できる。また、新ホットプレス実現のための課題を表2にまとめる。

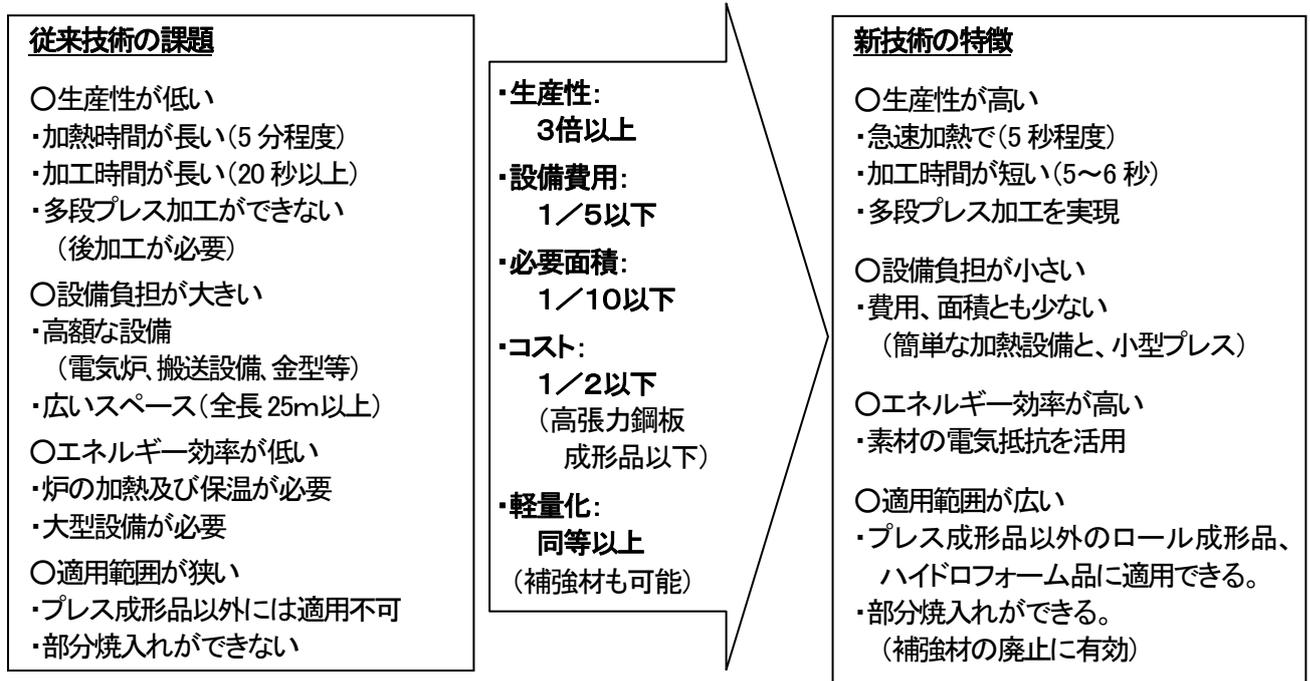


図3 新ホットプレスの効果

表2 新ホットプレス実現のための課題

材料の焼入れ性と加工性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・冷却速度と焼入れ強度の関係の調査と材料の選択 ・低温焼入れによる熱歪の抑制効果の把握 ・各温度域での加工性の評価
直接通電加熱による加熱時間の短縮	<ul style="list-style-type: none"> ・直接通電加熱に必要な設備の能力の明確化 ・短時間に均一に加熱するための電極と電流制御方法の開発
多段加工と熱処理を両立させる技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・温度低下を抑えるための材料搬送方法 ・工程内で温度と冷却速度を制御するための金型の研究と温度検知システム ・熱歪を抑えるためのワークの保持方法と金型構造 ・加工中に温度が低下し、材料が高強度化した状態でプレス加工されるのを防止するための検知システムの開発

以上の目的および課題を踏まえ、新ホットプレスの本研究の目標を次のように定めた。

- ① 試作設備の開発
 - 本技術を適用する部品の素材を5秒で加熱できる通電設備を試作し、改良する。
- ② 材料の選定
 - 焼き入れ性が良く、多段プレス加工に適し、目標強度を満足する安価な材料を選定する。
 - ・自然冷却による焼入れ強度1370MPa以上を満足する材料を選定
 - ・多段加工を実現するための熱処理条件の明確化
- ③ 電極構造と通電特性の検討
 - ・板材で5秒、成形品で10秒以内に加熱できる電極配置と電流制御の条件の明確化
- ④新ホットプレス技術の確立
 - ④-1 板材からの成形・熱処理技術
 - 板材を直接通電加熱し、プレス機械で成形、トリム、ピアス加工を行いながら、同時

に焼入れする技術を開発する。

- ・生産のサイクルタイム6秒以下を実現するための成形及び熱処理条件の設定
- ・熱処理歪み±0.5mm以下を実現するためのプレス型（または治具）の開発
- ・ホットプレスの成形性を予測できる解析法の確立

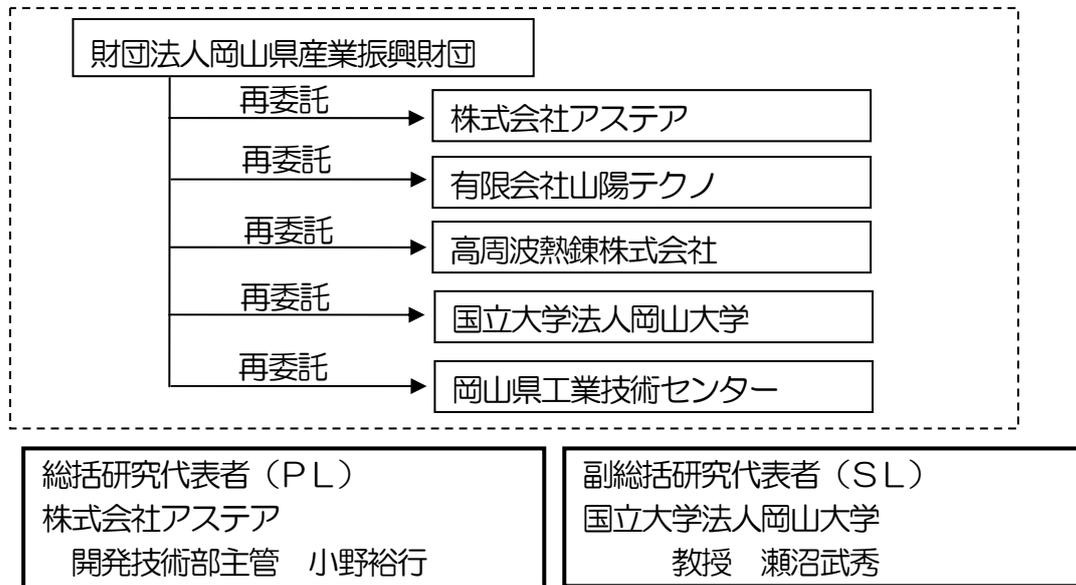
④-2 成形品の加工・熱処理技術

塑性加工（プレス、ロール）した部品を加熱し、プレス機械で後加工を行いながら、強制冷却なしで焼入れする技術を開発する。

- ・生産のサイクルタイム10秒以下を実現するための加工及び熱処理条件の設定
- ・熱処理歪み±0.5mm以下を実現

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

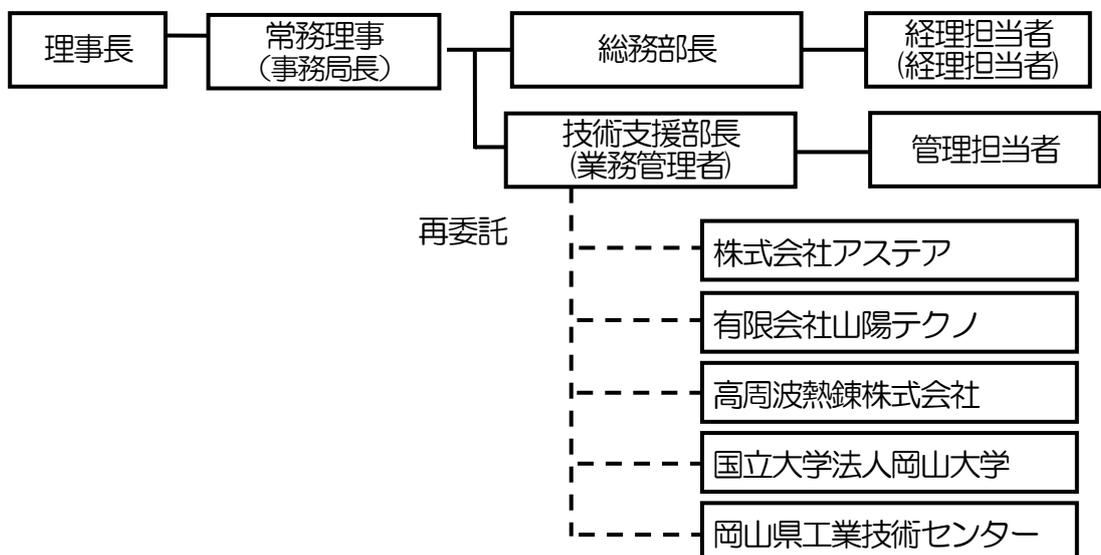
(1) 研究組織



(2) 管理体制

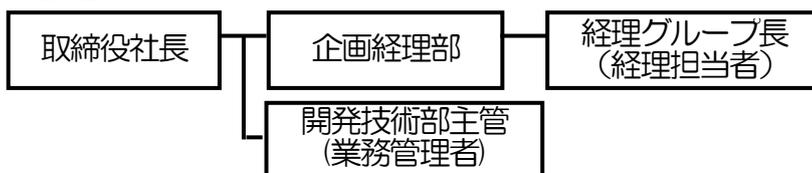
① 事業管理者

[財団法人岡山県産業振興財団]

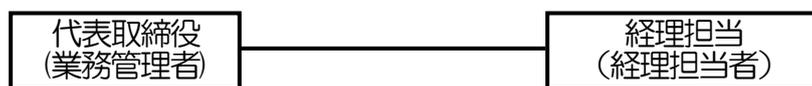


② (再委託先)

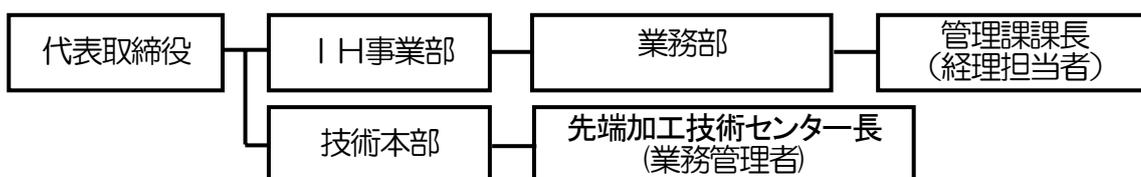
株式会社アステア



有限会社山陽テクノ



高周波熱錬株式会社



国立大学法人岡山大学



岡山県工業技術センター



(3) 研究者氏名

① 管理員氏名

氏名	所属・役職
三島 佳洋	技術支援部 部長
深井 康光	技術支援部 次長
横田 尚之	技術支援部 研究開発支援課 課長
宮内 隼	技術支援部 研究開発支援課 主事
綱澤 知則	技術支援部 研究開発支援課 主事

② 補助員

岡山県産業振興財団

氏名	所属・役職
吉田 寛	技術支援部 研究開発支援課

③研究者氏名

株式会社アステア

氏名	所属・役職
小野 裕行	開発技術部 主管
後藤 宏	開発技術部 特別嘱託
下津 晃治	開発技術部 機能開発グループ 主査
若林 真史	開発技術部 機能開発グループ
次田 幸弘	開発技術部 機能開発グループ
木村 達也	開発技術部 機能開発グループ

有限会社山陽テクノ

氏名	所属・役職
松井 修	代表取締役
松井 智彰	主任

高周波熱錬株式会社

氏名	所属・役職
生田 文昭	技術本部 副本部長兼先端加工技術センター長
奥浦 茂	技術本部 先端加工技術センター 機械加工課 課長
小林 国博	技術本部 開発部 部長付
大山 弘義	技術本部 開発部 機械システム課 課長

国立大学法人 岡山大学

氏名	所属・役職
瀬沼 武秀	大学院 自然科学研究科 教授

岡山県工業技術センター

氏名	所属・役職
日野 実	研究開発部 専門研究員
村岡 賢	研究開発部 研究員
村上 浩二	研究開発部 研究員

③協力者(アドバイザー)

氏名	所属・役職
井上 靖浩	三菱自動車工業株式会社 第一車両設計部 エキスパート
大橋 吉明	三菱自動車工業株式会社 先行車両開発部 エキスパート

1-3 成果概要

新ホットプレスを成立させるために必要な、

- ・設備の問題点改良
- ・自然冷却で焼入れ可能な材料の開発
- ・板材の新ホットプレス
- ・成形品の加工・熱処理

をテストピースおよび実部品で試作、試験評価を行い、下記の成果を得た。

(1) 設備

- ・直接通電加熱で、所定の温度まで加熱するために必要な電流密度と時間の関係を明確にし、加熱設備に必要な能力を明確にした。
- ・大電流によって装置周辺に海外の法規制値を越える磁界が発生するので、磁界の遮

蔽を行う必要がある。

- ・ロボットで問題なく加熱材を搬送できることを確認した。

(2) 材料

- ・自然冷却で 1370MPa 以上の焼入れ強度を確保できるマンガンを主成分とする新材料の開発ができた。この新材料成分よりマンガンを増やすと溶接性が低下し、少なくすると目標の強度が達成できないことが分かった
- ・開発した新材料は 850℃以上に加熱すれば、材料がオーステナイト化し、自然冷却でマルテンサイト化して焼き入れ強度 1370MPa 以上が得られることが分かった。
- ・高温で酸化スケールの発生を防止する各種表面処理の効果を明確にした。
- ・結晶粒の粗大化によって強度低下が生じることはわかっていたが、低温の脆性が大きく低下することが新しく判明した。

(3) 加熱

- ・板材は5秒、成形品は10秒以内で材料がオーステナイト変態する温度まで加熱できることをブランク材、および加工品で確認した。
- ・直接通電加熱によって発生する材料の伸びを吸収する加熱方法を明確にした。
- ・直接通電加熱で得られる発熱エネルギーの分布を解析する方法を明確にした。

(4) 板材からの成形・熱処理技術

- ・ドアインパクトバーで材料の搬送ロボットを使ったサイクルタイムの検討を行い、油圧プレスで7.5秒、機械プレスで6秒の新ホットプレスが実現可能なことが分かった。
- ・ドアインパクトバーでフォーム成形、バンパービームでドロウ成形の新ホットプレスが可能であることを確認し、目標の材料強度、部品精度が得られ、軽量化が可能であることを検証した。
- ・材料の搬送に伴う温度低下を少なくする方法を明確にした。
- ・放射温度計で加工中の温度をモニターすることで、過冷却された材料のプレス加工を防止できることが分かった。
- ・プレス加工中の温度低下を予測する解析手法が得られた。ただし、マルテンサイト変態の発熱やプレス型内の微小すきまの扱いが検討課題として残った。

(5) 成形品の加工・熱処理技術

- ・閉断面部品の新ホットプレスは、断面内部の温度が下がらず自然冷却より遅い冷却速度になるため、目標の強度が得られなかった。水冷を併用すれば強度は確保できる。曲げ加工によるスプリングバックはほとんど発生しない。
なお、断面を曲げる際には、局部的に板が座屈するのを防止する治具構造とする必要がある。
- ・開断面部品の新ホットプレスは、部品精度が高く、目標強度 1370MPa 以上の強度が得られることを確認した。
- ・スケールガードのためにアルミめっきした材料は電極部の防錆力が低い。このため、部分焼き入れは表面処理なし材で加熱し、後でスケールを落とす必要がある。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

管理法人：財団法人岡山県産業振興財団

〒701-1221 岡山市北区芳賀 5301 テクノサポート岡山3F

連絡担当者名・所属役職：技術支援部 研究開発支援課 課長 横田 尚之

TEL: 086-286-9651 FAX: 086-286-9676

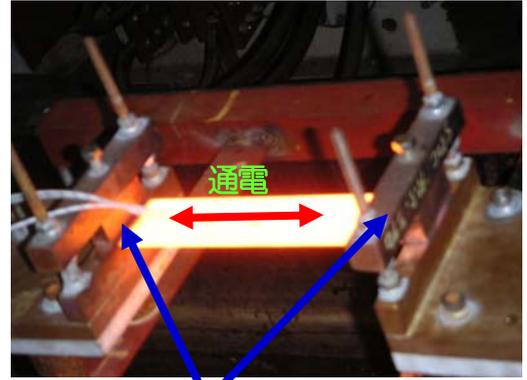
E-mail: nyokota@optic.or.jp

第2章 本論

2-1 試作設備

新ホットプレスで使用する直接通電加熱に必要な設備能力を明確にするため、テストピースの加熱試験(図4)を行い、所定の温度まで加熱するために必要な単位断面積あたりの電流(電流密度)と加熱時間の関係を明確にした。(図5)

図5の関係より、加熱するワークのサイズから加熱に必要な電流値を求め、試作する直接通電加熱設備の仕様を決めた。図6に試作した直接通電加熱設備の外観を示す。直接通電による加熱エネルギーは電流の自乗と材料の電気抵抗の積となるので、制御は電流制御方式とした。



電極

図4 テストピースの加熱試験

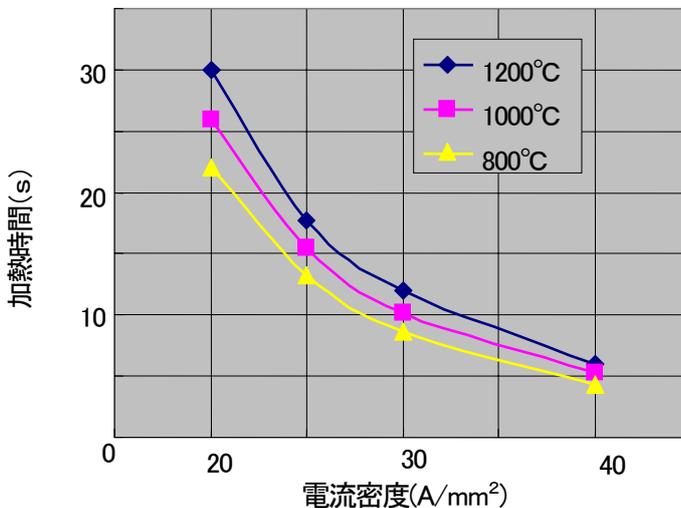
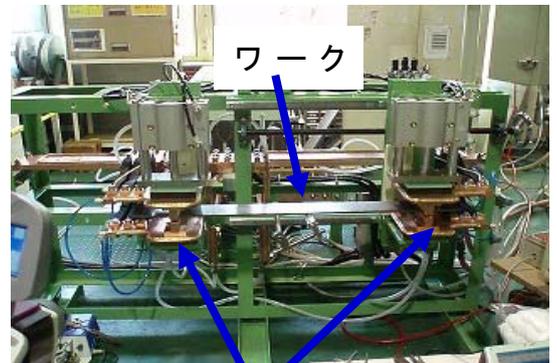


図5 直接通電加熱の必要能力



電極

図6 試作直接通電加熱設備

直接通電加熱で断面積 250mm²の板を 5 秒で 1000°Cまで昇温するためには 1 万 A の電流が必要になる。高電流が流れると海外で法規制されている磁束密度よりも高い磁界が発生するので、設備の近くの作業者に対する安全上の配慮が必要となる。

2-2 材料

新ホットプレスで使用する材料には

- ・焼入れ性 : 多段プレス成形が終了するまで高強度化(マルテンサイト化)しない。
- ・焼入れ強度: 自然冷却で1370MPa以上
- ・熱処理性 : 材料をオーステナイト変態以上に加熱し、プレス成形しても、スケールが発生しない。
- ・成形性 : 加熱後の冷却過程で多段のプレス加工が可能でスプリングバック・ねじれが少ない。

ことが要求される。

表3に示すマンガンを主成分とする新材料を製作し、これらの特性を調査した。

表3 ホットプレス材主成分
(重量%)

	C	Mn
材料成分	0.22%	3.00%

(1) 焼き入れ性

図7に新材料の自然冷却特性を従来ホットプレス材と比較して示す。材料は 900℃まで加熱している。表4に材料の顕微鏡組織写真を示す。

図7で温度変化の勾配が変わる部分は、材料が変態する際の発熱による。新材料の変態温度は約 315℃であり、表4を見るとマルテンサイト化している。900℃から自然冷却でマルテンサイト化するまでに 100 秒程度の時間を要しており、マルテンサイト変態までの加工時間には十分な余裕があり、焼き入れ性が良い材料であることが確認できた。

従来ホットプレス材は 480℃で変態しているが、これはベイナイト変態であり、自然冷却では冷却速度が遅いので、マルテンサイト化しない。

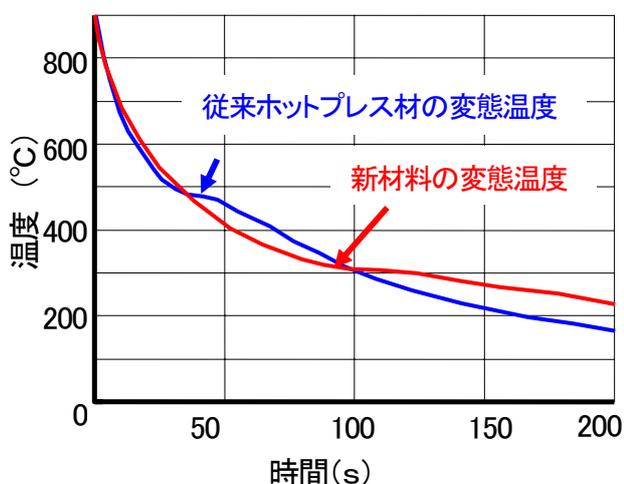
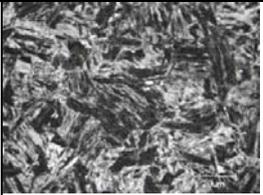
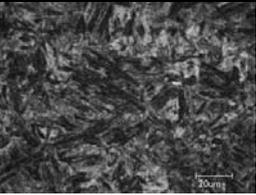
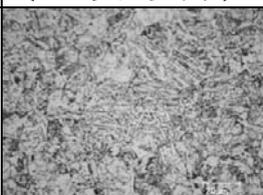
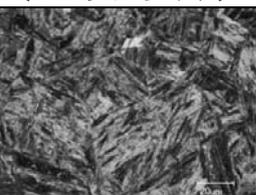


図7 新材料の自然冷却特性

表4 冷却時の材料組織

	自然冷却	プレス型で冷却
新材料	 (マルテンサイト)	 (マルテンサイト)
従来ホットプレス材	 (ベイナイト)	 (マルテンサイト)

(2) 焼き入れ強度

図8に新材料の加熱温度と硬度の関係を示す。昇温速度の影響は少なく、炉加熱と短時間に加熱できる直接通電加熱の差は少ない。770℃以上に加熱すると硬度が高くなるので、材料はオーステナイト化していると考えられる。

700℃から 800℃の加熱温度範囲は冷却速度によって硬度差が非常に大きい。自然冷却で目標強度 1370MPa (Hv420) を確保するためには、加熱温度を 770℃以上とする必要があることが分かる。多段でプレス加工する新ホットプレスは、自然冷却状態と成形時の急速冷却の状態があることを考えると、加熱温度は急冷と自然冷却で差が少ない 830℃以上とするのが良い。

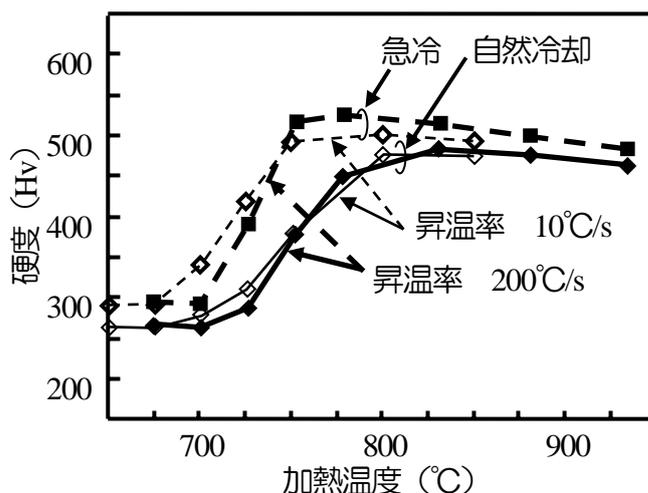


図8 新材料の加熱温度と硬度

(3) 熱処理性

鉄鋼材料を高温に加熱すると酸化スケールが発生する。プレス加工時にスケールを除去しながら加工しなければならないことを考えると、オーステナイト変態する温度以上に加熱し、プレス成形しても、スケールを発生させないことが必要となる。

新材料を加熱した時のスケールの発生状況を図9に示す。700℃付近まで加熱するとスケールの発生が見られ、加熱温度の上昇とともに増加していく。

スケール発生を抑えるためには表面をめっきなどで覆い、鉄が酸化しないようにすることが必要であり、各種表面処理の検討を行った。

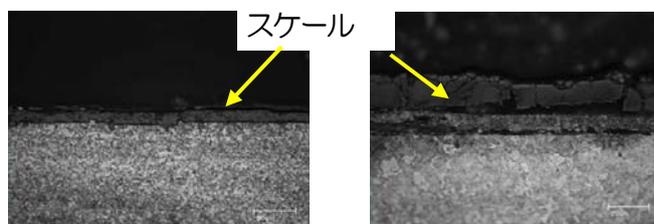
加熱によるスケール発生が防止できた表面処理について各種特性を比較した結果を表5に示す。主な結果は次のとおりである。

- ・ニッケルめっきは高価で、板厚 1mm 以上のめっき量産設備がなく、実用的ではない。
- ・量産中のアルミめっきを加熱するとめっきが中央に集まり、プレス加工に支障をきたす。鉄鋼メーカーの協力を得て、この現象がおきないように改良しためっきでスケール防止が可能となった。
- ・亜鉛の燃焼温度は約 900℃であり、それ以上の急速加熱はできない。加熱時間を少し犠牲にして合金化を行えば 980℃程度まで昇温は可能である。また、特許の制約でめっきできるメーカーがない。
- ・樹脂コーティングは通電性が無く、電極部のコーティング除去が必要である。またスポット溶接ができないため、加工後にコーティングを剥がす必要がある。

以上の結果をまとめると、スケールガードにはアルミめっきが最も効果的で、次は亜鉛めっきである。



(a)加熱温度 924℃の表



(b)加熱温度 770℃の断面

(c)加熱温度 924℃の断面

図9 加熱時のスケール発生状況

表5 酸化スケール防止方法

表面処理	加熱	プレス	溶接	量産	コスト	総合	備考
ニッケルめっき	○	未調査	○	×	×	×	板厚 1mm 以上のめっきの量産ができない
アルミめっき	○ (改良めっき)	○	○	○	○	○	量産中のめっき方法では、めっきが中央に集まる。 
亜鉛めっき	○ (加熱温度は 900℃以下)	○	○	△	○	△	900℃以上でめっきが燃焼 
樹脂コーティング	○	○	×	○	未定	×	フォルクスワーゲンのパサート採用品 溶接はコーティングの除去要

アルミニウムめっき材を900℃まで5秒の直接通電で加熱し、多段の連続プレスで成形・冷却した材料を用いて、表面近傍の断面の状況をEPMA分析した結果を図10に示す。

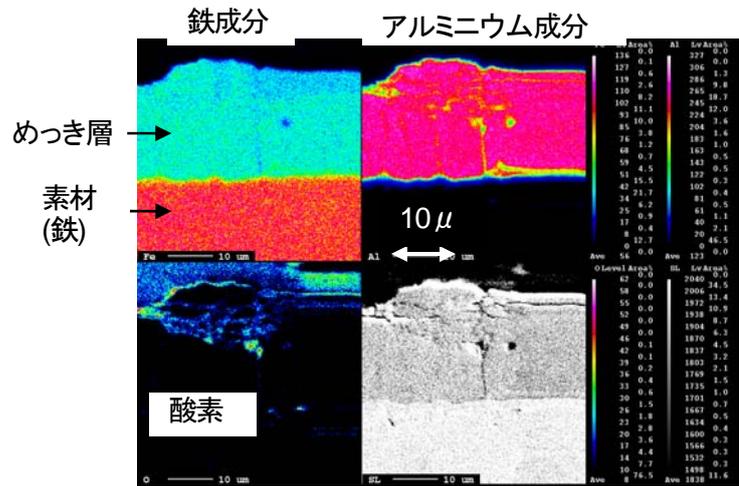


図10 加熱後のアルミめっきの状況

アルミニウムめっき層には鉄元素が固溶しており、合金化しているのが分かる。したがって、直接通電による短時間加熱でもめっき層が合金化され、酸化が防止できることが確認できた。

(4) 成形性

新材料の多段プレス成形性を検討した。検討した部品形状はハット型断面で、3工程を機械プレスで成形した。(表6参照)

900℃まで加熱した新材料をプレスに投入し、3工程の連続加工を行った時の温度変化を図11に、温度分布を表6に示す。

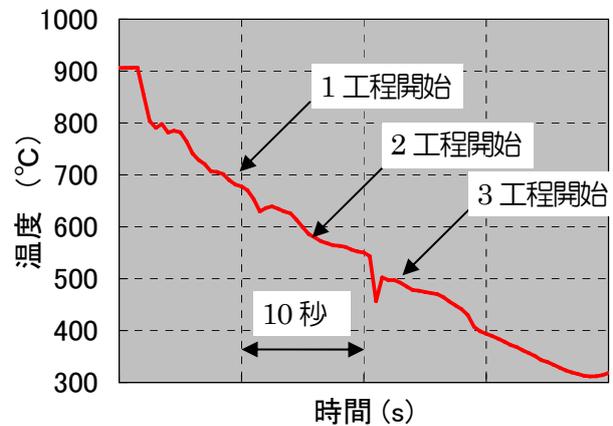


図11 プレス時の温度変化

3工程終了時の温度は300℃以上であり、機械プレスを用いた新ホットプレスが可能であることが確認できた。

表6 テストピースを用いた新ホットプレス加工

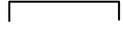
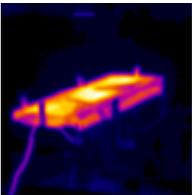
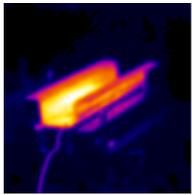
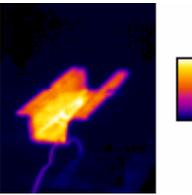
	1工程	2工程	3工程
成形形状	 フォーム加工	 フォーム加工	 ピアス加工
プレス型			
温度分布	 674℃ 500 <184.46℃ Ir 7	 542.69℃ 500 <184.46℃ Ir 9	 415.35℃ 400 200 <184.46℃ Ir 10

図12に成形後の断面形状の計測結果を示す。新材料を用いた新ホットプレスはスプリングバックが小さく、成形性が非常に良いことが確認できた。

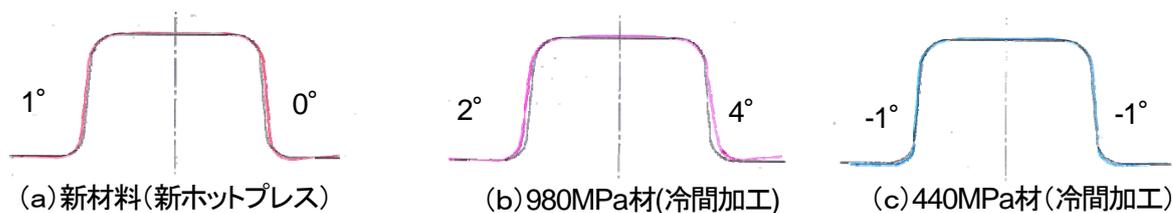
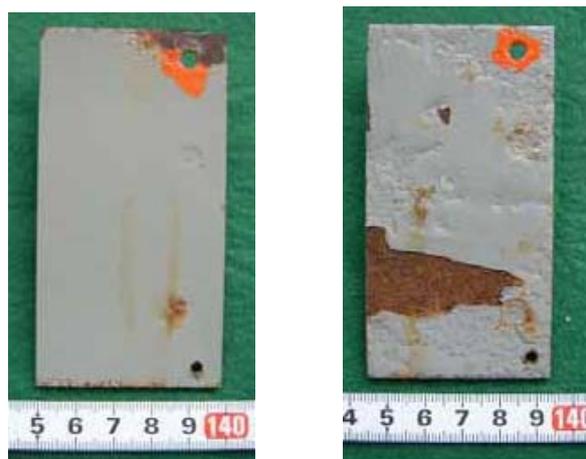


図12 断面の形状比較（スプリングバック）

(5) その他の特性

図13にスケールガードのためにアルミめっきした鋼板の防錆力を調査した結果を示す。普通鋼板とスポット溶接し、電着塗装した試験片を用いて、塩水噴霧による防錆試験（CCT サイクル試験）を実施した。

(a) は 900℃まで加熱し、焼入れした鋼板の試験結果である。端末およびスポット溶接部に若干腐食があるが、問題ないレベルである。



(a) 焼入部 (b) 母材

図13 CCTサイクル試験結果（180サイクル後の状況）

(b) は焼き入れしていない母材の試験結果である。全面に錆が発生しており、アルミめっきの生材は防錆力が非常に低い。電極部や、部分焼き入れて加熱しない部分は防錆力が低いことを考慮した設計が必要となる。

図13に溶接性を検討した結果を示す。スポット溶接は 980MPa 材以上の溶接強度があり、問題なく溶接できることを確認した。

表7 スポット溶接強度

	母材	焼入	
新材料	21.7	18.3	いずれもナゲットで破断
980MPa 材	15.6	—	

材料はコイル材として供給される。コイル材の製造工程や、ロール成形ではコイル材どうしをつないで(図13)連続生産できるようにする必要がある。新材料をロール成形で成形するために溶接したところ、溶接性が悪く、改良を要することが分かった。

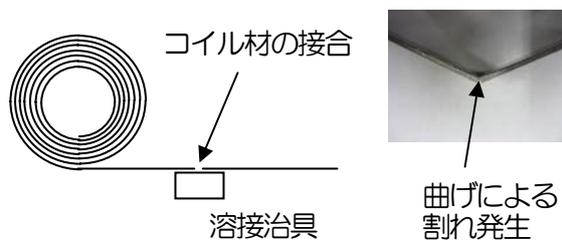


図13 コイル材の接合

なお、溶接のためにあて板を用いない一般のアーク溶接などの溶接性には問題がなかった。

(6) 材料の改良

溶接性を改良するため、溶接や材料強度、焼き入れ性評価に用いられている実験式で添加元素の寄与度を調査した。実験式は次の通りで、各成分は重量%をインプットする。

- ・溶接割れ（低温割れ）感受性

$$CE(IW)=C+Mn/6+(Cu+Ni)/15+(Cr+Mo+V)/5$$

- ・溶接割れ感受性組織（%）

$$P_{cm}=C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B$$

$$C_{En}=C+f(C)\{Si/24+Mn/6+Cu/15+Ni/20+(Cr+Mo+Nb+V)/5\}$$

$$\text{ここで, } f(C)=0.75+0.25\tanh\{20(C-0.12)\}$$

- ・炭素当量（%）

$$CE(WES)=C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14$$

- ・Ac3 変態温度

$$=937.2-436.5C+56Si-19.7Mn-16.3Cu-26.6Ni-4.9Cr+38.1Mo+124.8V+136.3Ti-19.1Nb+198.4Al+3315B$$

- ・Ac1 変態温度

$$=750.8-26.6C+17.6Si-11.6Mn-22.9Cu-23Ni+24.1Cr+22.5Mo-39.7V-5.7Ti+232.4Nb-169.4Al-894.7B$$

- ・Ms 変態温度

$$=521-353C-22Si-24.3Mn-7.7Cu-17.3Ni-17.7Cr-25.8Mo$$

今回用いた材料はマンガンが 3%と非常に多いため、各特性に与える影響はマンガンと炭素が支配的であった。したがって、マンガンの量を変えた場合の効果を調査した。試験に用いた主な元素成分を表8に示す

表8 改良材の成分（Wt%）

材料成分	C	Mn
初期材(新材料)	0.22	3.0
改良材A	0.22	2.5
改良材B	0.20	2.0

改良材 B の自然冷却特性を図14に、焼き入れ後の材料組織を表9に示す。

改良材 B はマンガンと炭素を減らしており、実験式での予測どおりマルテンサイト変態温度（Ms 点）は 315℃から 355℃に上昇した。

これに伴ってマルテンサイト化するまでの時間も短くなるが、900℃から Ms 点までの時間は 1 分以上あり、新ホットプレスの時間余裕は十分であると判断できる。

改良材 B の焼き入れ後の材料組織を示す。加熱温度 810℃ではマルテンサイト化しておらず、オーステナイト化する温度に達していないことが分かる。860℃以上に加熱するとオーステナイト化するので、自然冷却でマルテンサイト化していると判断できる。

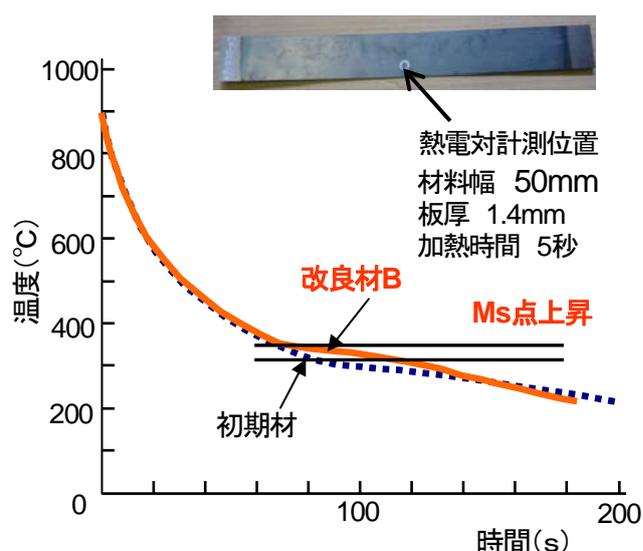
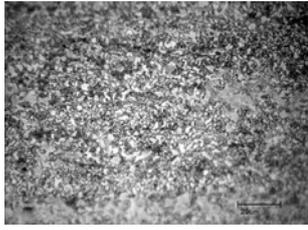
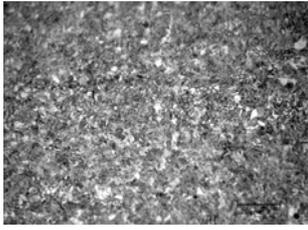
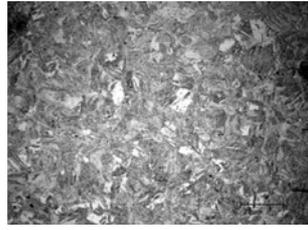


図14 自然冷却特性

表9 自然冷却後の材料組織

加熱温度と顕微鏡写真		材料組織の名称
加熱温度：810℃ 	加熱温度：862℃ 	加熱温度：904℃ 
フェライト+パーライト	マルテンサイト	(針状) マルテンサイト

焼き入れ硬度に及ぼす影響を調査した結果を図15に示す。マンガンは2%まで低下させると自然冷却による硬度が目標を満足しないため、2.5%が目標硬度を確保するための限界であることが分かった

また、改良材 A,B ともに、焼き入れで材料組織がマルテンサイト化するためには 850℃以上に加熱することが必要であることがわかった。

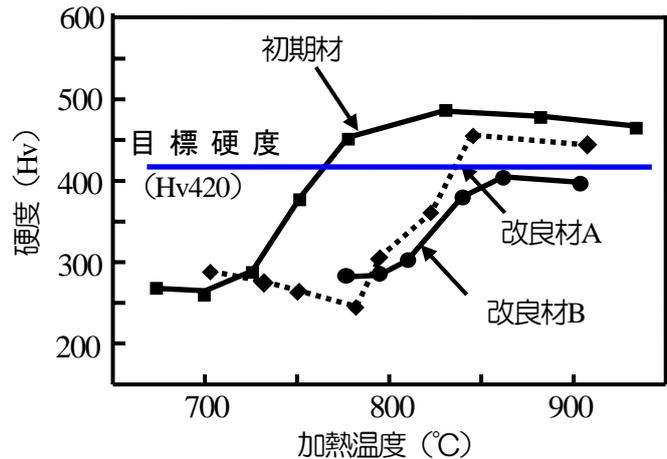


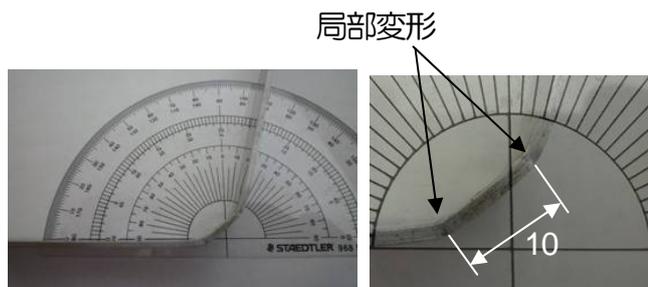
図15 マンガンの影響 (加熱200°C/s、自然冷却)

図16に目標強度が得られた改良材 A の溶接部の強度を評価した結果を示す。引張り強度は母材破断しており、

また、曲げ負荷を与えても溶接部近傍で局所的な変形が見られるが、割れは発生していない。



(a) 引張り強度



(a) 曲げ強度

図16 改良材Aの溶接部の強度評価

(7) 材料のまとめ

したがって、改良材 A は十分な溶接強度を有しており、自然冷却で 1370MPa 以上の強度が得られる材料として使用できることが分かった。

2-3 電極構造と通電特性

直接通電加熱を用いて板材を 5 秒、成形品を 10 秒以内で加熱するために必要な加熱制御の条件と電極について検討した結果をまとめる。

(1) 加熱制御条件の適正化

後述するドアインパクトバーのブランク材として使用した平板（幅 118mm、長さ 1000mm、板厚 1.4mm）の加熱方法を検討した。図 17 に加熱状況を示す。材料は新材料を用いている。

直接通電加熱で鉄鋼材料を加熱する場合、図 17 に示すように材料の電気抵抗は温度上昇とともに増加する。そのため、電流一定で直接通電加熱すると、図 18 の実線で示すように、低温では温度上昇率が低く、高温になるほど早く温度が上昇する。

高温域で温度の上昇が早いと最高温度のばらつきが大きくなる。従って、高温域では加熱時間を犠牲にしても温度上昇を抑える必要がある。また、低温域では高電流で早く温度を上昇させるのが良い。従って、材料をオーステナイト化させるため 900°C まで加熱する場合、図 18 の破線で示すように、低温域は高電流を流して早く加熱し、600°C 付近からは電流密度を下げる制御を行い、安定した加熱温度が得られる方法を採用した。

この方法を用いて、900°C まで 4.5 秒で加熱できており、平板の加熱時間の目標 5 秒を達成できた。なお、高温域で温度を一定に保つ制御も可能であることも確認した。



図 17 平板の加熱状況

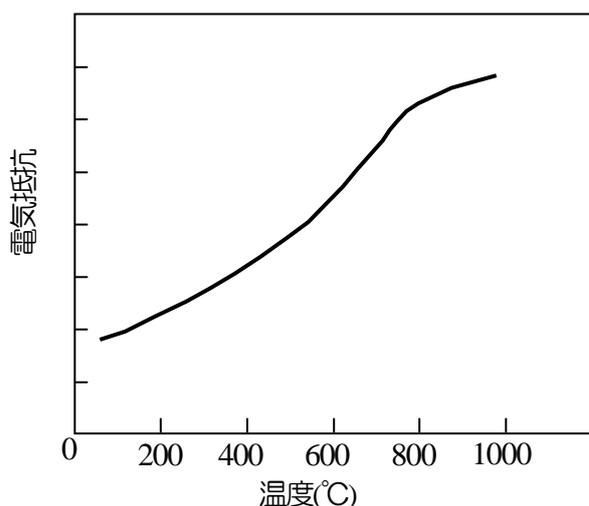


図 18 温度と電気抵抗

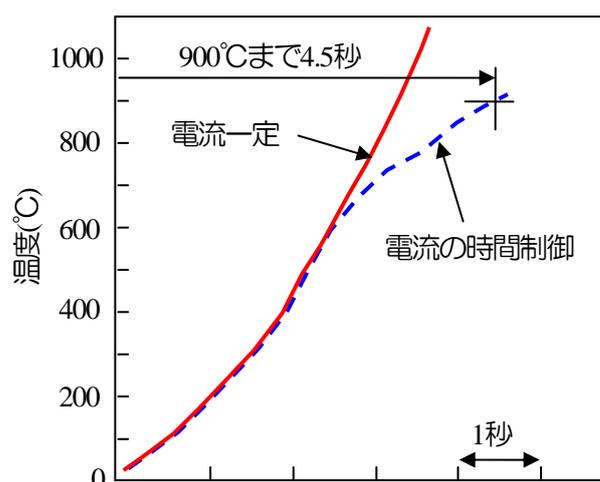


図 19 加熱による温度上昇

次に成形品の加熱方法を検討するため、内部に縦壁がある株アステア製の日の字バンパービームの加熱方法を検討した。加熱の状況を図 20 に示す。

日の字バンパービームの加熱は上下面のみ電極を設置する方法でも 900°C まで 20 秒で加熱が可能であった。更に加熱時間を短縮するためには、電極とバンパービームの接触面積を増加して、電極付近の局所的な温度上昇を避けることが必要である。

図 21 に電極とバンパービームの接触面



日の字バンパービーム

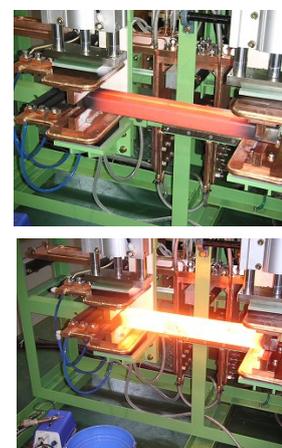


図 20 日の字バンパーの加熱状況

積を増大させた電極を作製し、日の字バンパービームの加熱試験を行った結果を示す。電極とバンパービームが安定した接触状態が確保できるようにするため、バンパービームを傾けた状態で電極に取り付ける構造とした。新材料がオーステナイト変態する 860°C までの加熱は目標時間の 10 秒で加熱できた。

図 22 にサーモビューアで計測した温度の分布を示す。断面の外部、内部ともほぼ一様に加熱できていることを確認した。

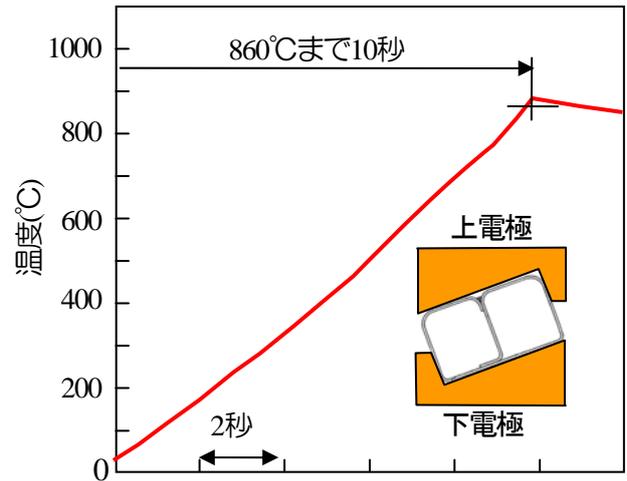


図 21 加熱による温度上昇 (成形品)

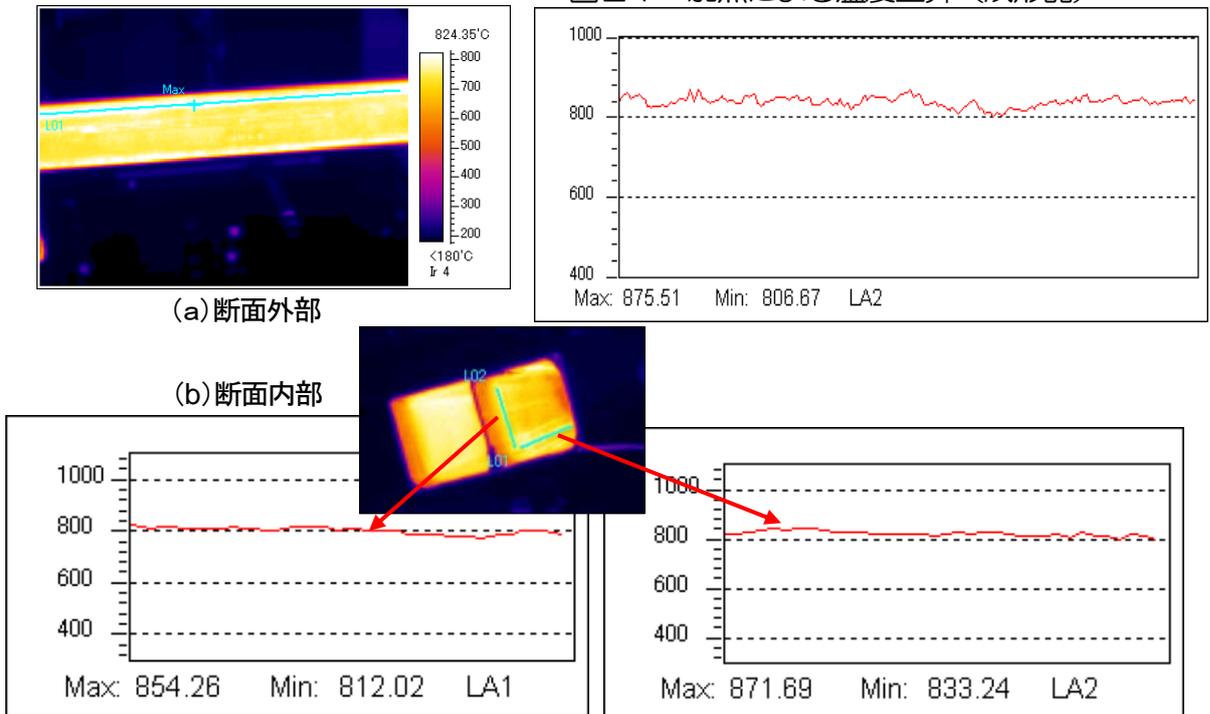


図 22 日の字バンパービームの温度分布

次にドアインパクトバーを用いて開断面を有する成形品の加熱方法を検討した。成形品の加熱は電極との接触面積を大きくするのがよいので、インパクトバーの断面にあわせた形状の電極を作製して加熱試験を実施した。(図 23)

加熱時間は図 19 の平板の加熱とほぼ同じ時間で加熱でき目標加熱時間 10 秒を満足できている。

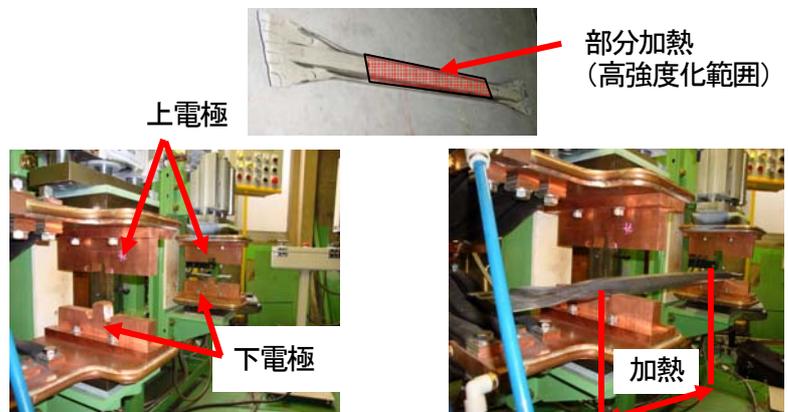


図 23 ドアインパクトバー成形品の部分加熱

(2) 信頼性の高い電極構造

加熱部品と電極は接触面積を大きくする必要があるので前節に示した。それ以外の電極に対する留意点を次に示す。

a) 加熱による部品の伸びの吸収方法

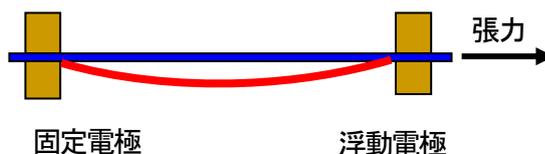
加熱すると部品は膨張して伸びる。電極間距離はこの伸びを吸収できる構造とする必要がある。

- ・ 平板を加熱する場合、加熱で板が伸びると剛性が低いため、鋼板が座屈し、垂れ下がり状態となる。従って、この伸びを吸収する張力を電極間にかけることが必要である。
- ・ 成形品を加熱する場合、張力をかけると断面形状が変形する。成形品は剛性が高いので部品の垂れ下がりはなく、張力をかけないで伸びを吸収する必要がある。

b) 電極の回転自由度

成形品には形状にばらつきがある。このばらつきを吸収するため、電極には回転自由度を持たせて部品と均一な接触が得られるようにするのが良い。

平板：剛性が低く、垂れ防止が必要



成形品：剛性が高く、張力は不要
張力をかけると断面が変形



図23 加熱による伸びの吸収

(3) 加熱の解析法

直接通電による加熱は、電流に対する材料の抵抗で発熱する。各部の加熱温度を評価するためには、通電による電流密度分布の解析が必要となる。電場を解析するプログラムを保有していないため、解析方法を調査したところ、電場と熱伝導は下式で示すように支配方程式に類似性があることが分かった。

$$\text{電場の支配方程式} : \nabla \cdot (\varepsilon \nabla V) + q = 0$$

$$\text{熱伝達の支配方程式} : \nabla \cdot (\kappa \nabla T) + Q = 0$$

V : 静電ポテンシャル (電位分布) ε : 導電率 q : 電荷

T : 温度ポテンシャル (温度分布) κ : 熱伝導率 Q : 発熱量

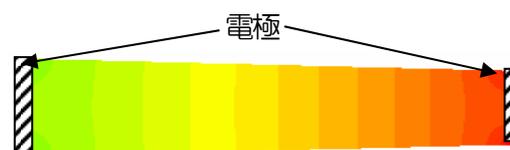
∇ : ベクトル微分演算子 = $(\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$

すなわち、温度分布を電圧分布、熱伝導率を導電率、発熱量を電荷と見なせば、温度解析のプログラムを用いて静電場の解析ができることを意味している。アステアが保有している有限要素法解析プログラム NASTRAN は静的熱伝導を解析する機能を持っており、電場を熱伝導に置き換えた解析を実施した。

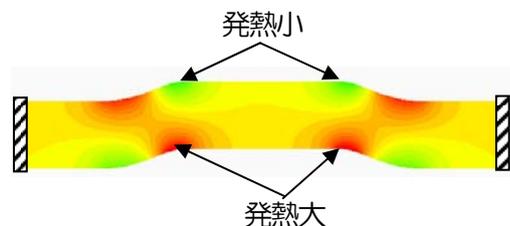
電極間に電位差を与えて電極間の電圧分布を求め、各部の電流密度を解析する。単位面積あたりの発熱は電流密度の自乗と電気抵抗率の積で評価できる。解析結果の例を図24に示す。

(a) はブランクが直線形状で断面積が変化する場合の解析結果である。断面積が小さい部分の発熱が大きい。各断面の発熱量は一定である。

(b) は断面積が一定でブランク形状が直線でない場



(a) ブランク直線、断面積変化



(b) ブランク曲線、断面積一定

図24 電流による発熱解析

合の解析結果である。凹形状部の発熱が大きく、凸形状部の発熱が小さいことがわかる。実験ではこの部分が溶け落ちた。

したがって、直接通電で急速加熱できるブランク形状は長方形に近い形状に限定される。

今後、この解析法を用いて、個々の部品形状に対して均一な発熱状態を得るため、詳細な形状の検討を行う。

2-4 新ホットプレス技術の確立

2-4-1 板材からの成形・熱処理技術

加熱板材の搬送、成形、ピアス、焼入れの新ホットプレスをドアインパクトバーとバンパービームで検討した。

(1) ドアインパクトバーでの検討

図25にドアインパクトバーの加工工程を図25に示す。

加熱は図19で示したように4.5秒でオーステナイト化する900℃まで昇温可能である。

プレス成形は1工程でハット形状にフォーム成形し、2工程目でフランジの曲げ加工、3工程目がピアス穴と両端のトリム加工である。

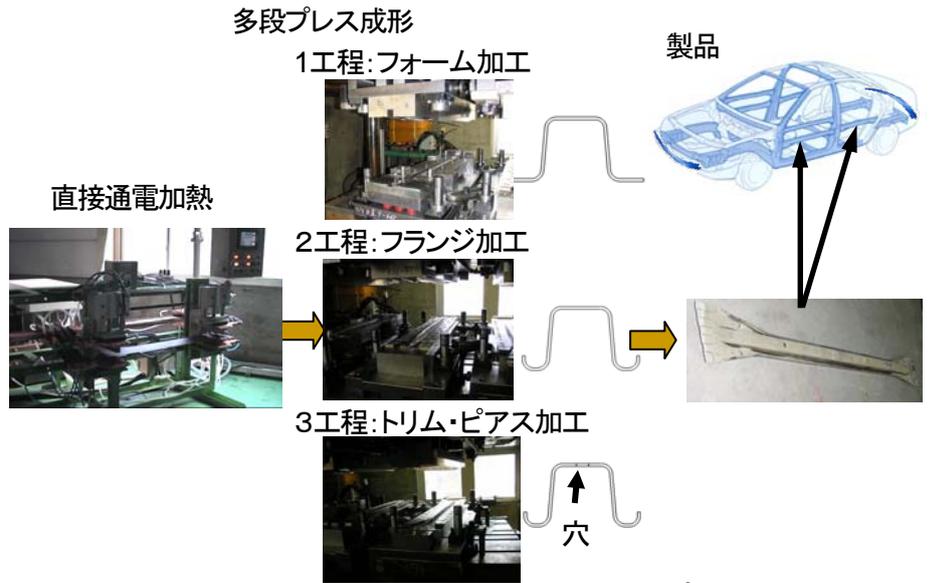


図25 加ドアインパクトバーの新ホットプレス工程

900℃に加熱後、プレス機に搬送し、プレスするまでの温度変化を図26に示す。

加熱後、加工品を搬送する時の温度低下は自然冷却とほぼ同じ温度低下率である。

プレスに搬送後、加工品を金型と直接接触させると大きな温度低下が生じる。このため、加工品はプレス型上で浮かす必要があり、数箇所に設置したピンで局部的な支え、温度低下を抑えるようにした。

900℃まで加熱後、3工程の多段加工を油圧プレスで

行った時の温度低下の状況を図27に示す。加工中の温度計測点は図26と同じ位置で、220℃以上が計測可能な放射温度計を用いている。

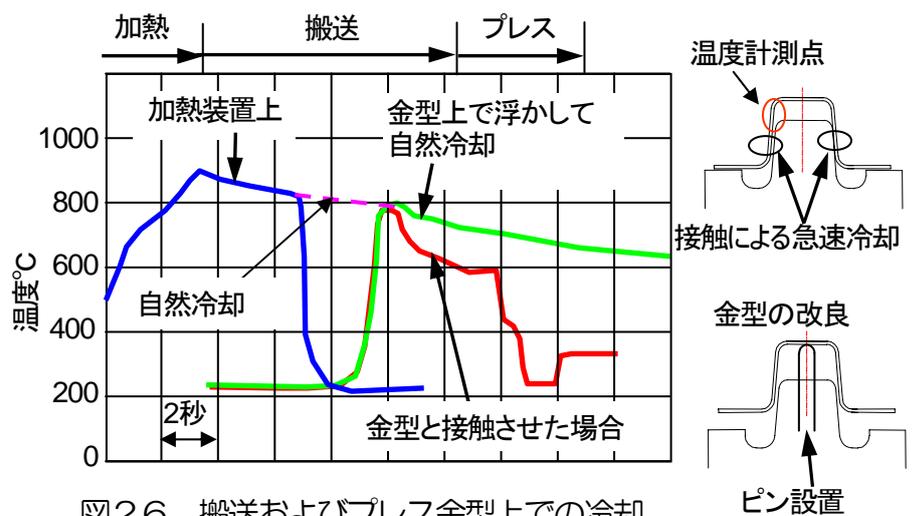


図26 搬送およびプレス金型上での冷却

700°Cで1工程のプレス加工を開始し、520度で2工程、330度で3工程目のプレスが開始している。形状加工が終わる2工程まではマルテンサイト変態する温度以上であり、加工中に割れなどは発生していない。

図27の温度計測は放射温度計を用いている。詳細は割愛するが、亜鉛めっき、アルミめっきともに900°Cから220°Cまでの冷却中の温度は精度良く計測できている。従って、各成形工程で材料の温度が異常に低下して加工割れが発生するのを防止する検出器として使える目処が得られた。

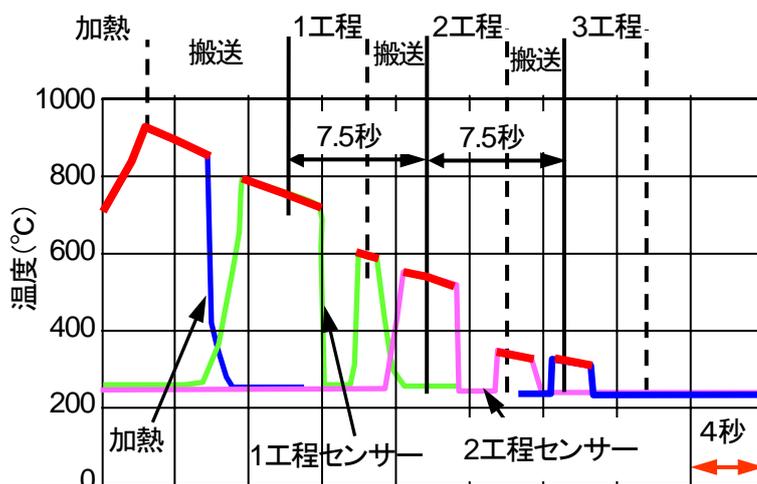


図27 プレス工程での冷却（油圧プレス使用）

各部の成形形状を図28に示す。穴の加工精度は0.1mm以下であり、全体の寸法は型設定に対して0.09~0.18%程度収縮している。従って、トリム&ピース工程は若干の寸法見込みを付けることが必要である。部品のねじれ量は0.4mm以下で目標を満足している。

表10に新材料を加工したときの各部の硬度と組織を示す。各部ともマルテンサイト化しており、高い硬度が得られていることを確認した。

図29に加熱電極付近の硬度と組織を示す。硬度は3mm程度の非常に狭い範囲で硬度が上昇している。この部分はオーステナイト化する温度まで加熱された部分とそうでない部分の境界である。

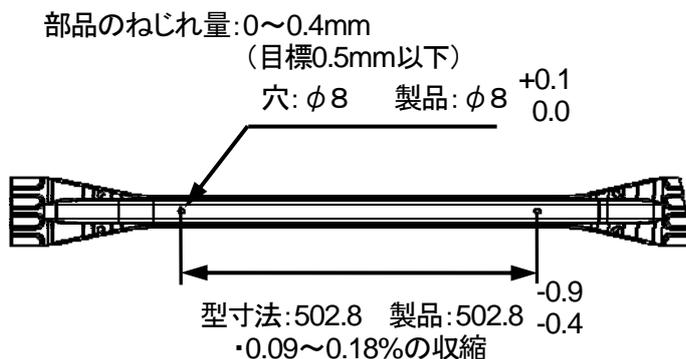
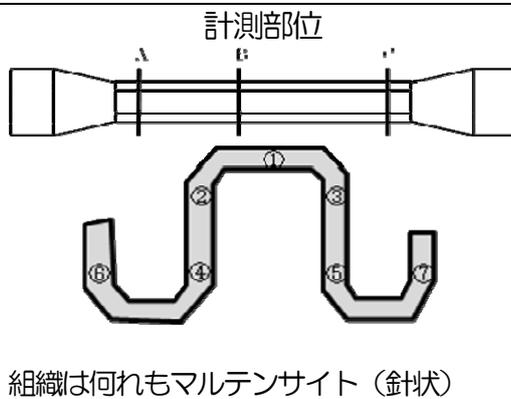


図28 成形形状

表10 各部の硬度分布と組織 (Hv)

	A	B	C
①	472	465	463
②	450	476	464
③	464	484	473
④	493	509	495
⑤	472	496	478
⑥	500	508	495
⑦	488	504	492
組織			



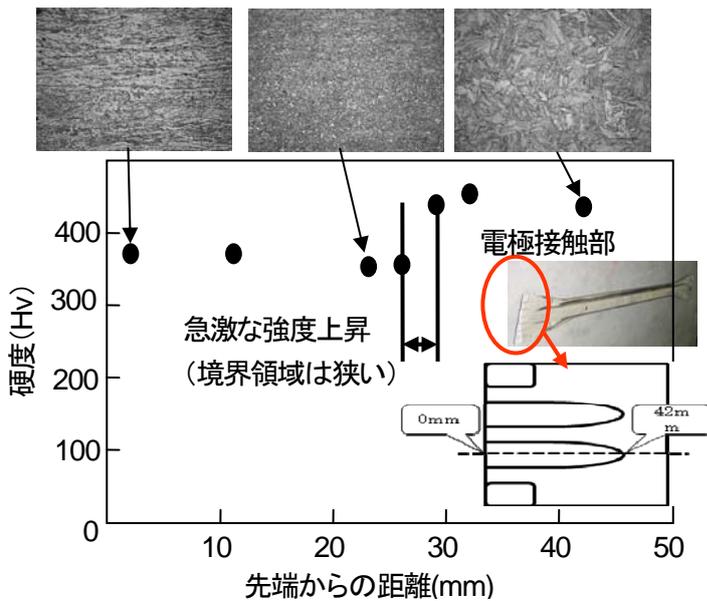


図29 電極近傍の硬度と組織 (新材料)

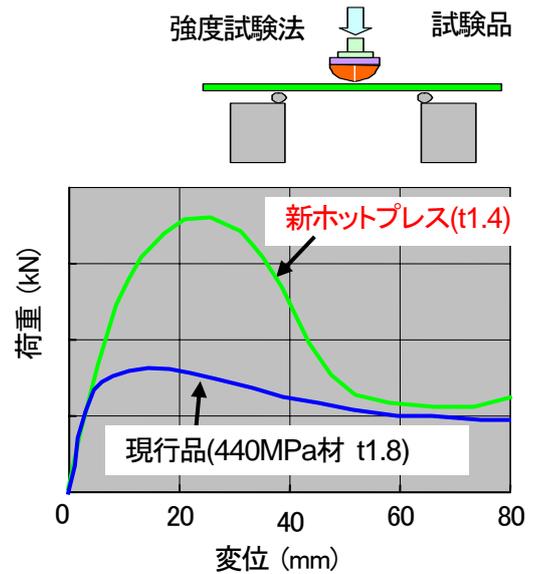


図30 強度評価

図30に新ホットプレス成形品の強度試験結果を示す。新ホットプレスによる高強度化で440MPa材に比べて0.4mm板厚を下げても2倍以上の強度が確保できていることが確認できた。

図27に示したように油圧プレスでの新ホットプレスはサイクルタイム7.5秒、加熱は4~4.5秒で実施可能なことを前提として求めた各工程のフローを図31、32に示す。油圧プレスはサイクルタイム7.5秒、機械プレスは6秒が可能であり、目標のサイクルタイム6秒を達成できる目処が得られた。

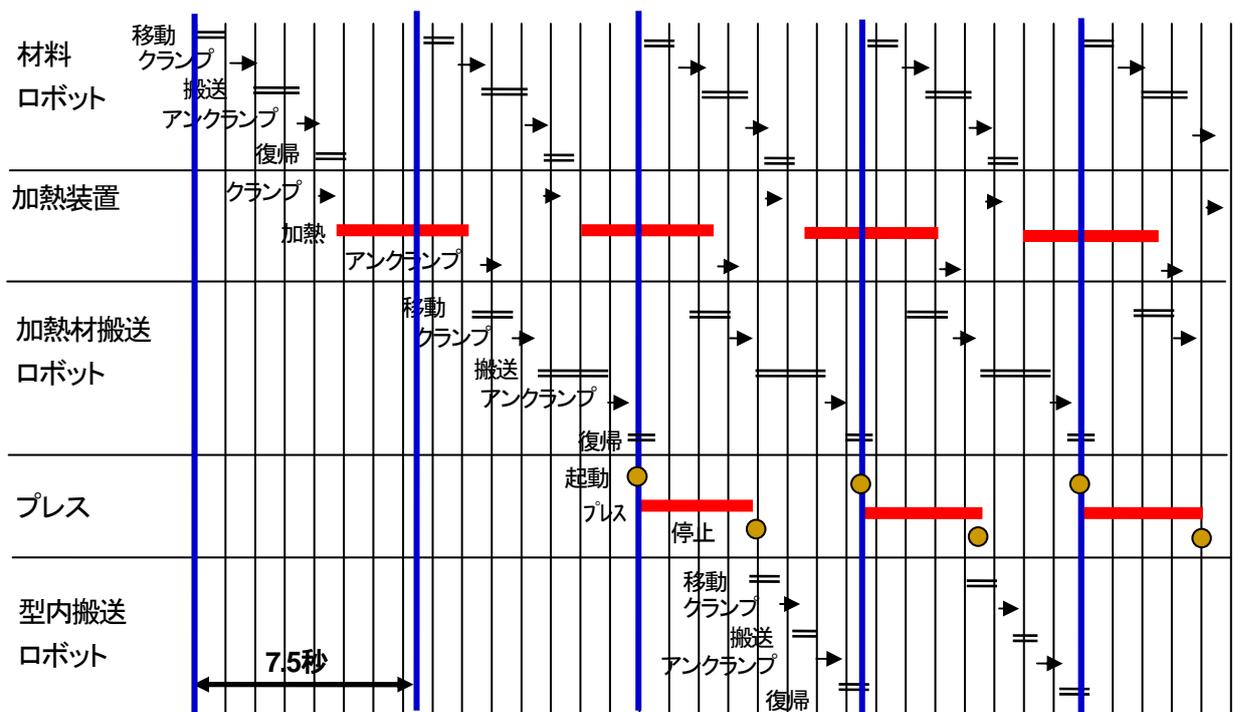


図31 インパクトバーのサイクルタイム (油圧プレス)

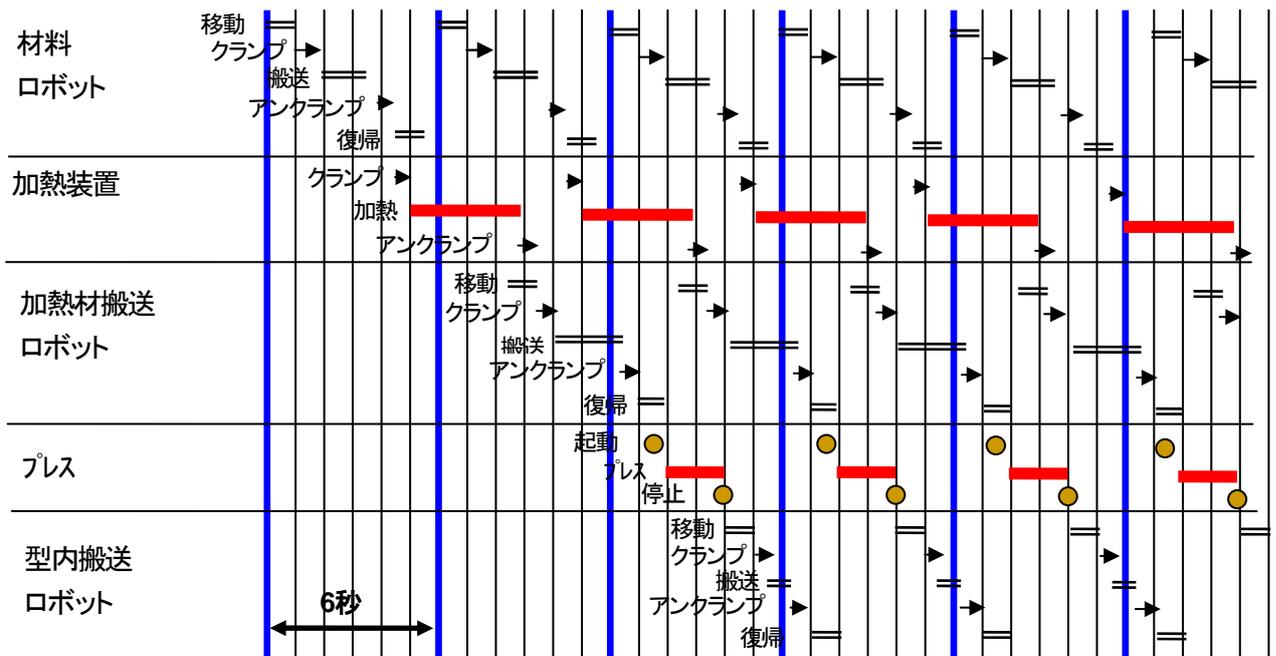


図32 インパクトバーのサイクルタイム（機械プレス）

(2) バンパービームでの検討

インパクトバーは、フォーム成形の部品であり、ドロ成形部品の検討ができていない。このため、バンパービームでドロ成形の検討を実施することとし、金型を製作して、新ホットプレスの検討を実施した。

図33にバンパービームの形状、加熱およびプレス型を示す。バンパービームのブランク材は幅 280mm、長さ 1220mm、板厚 1.4mm である。プレス工程はドロ成形とトリム&ピアスの 2 工程である。加熱は設備の電圧許容値を超えるため、900℃まで 11 秒を要した。設備の許容電圧を上げれば、加熱時間の短縮が可能である。

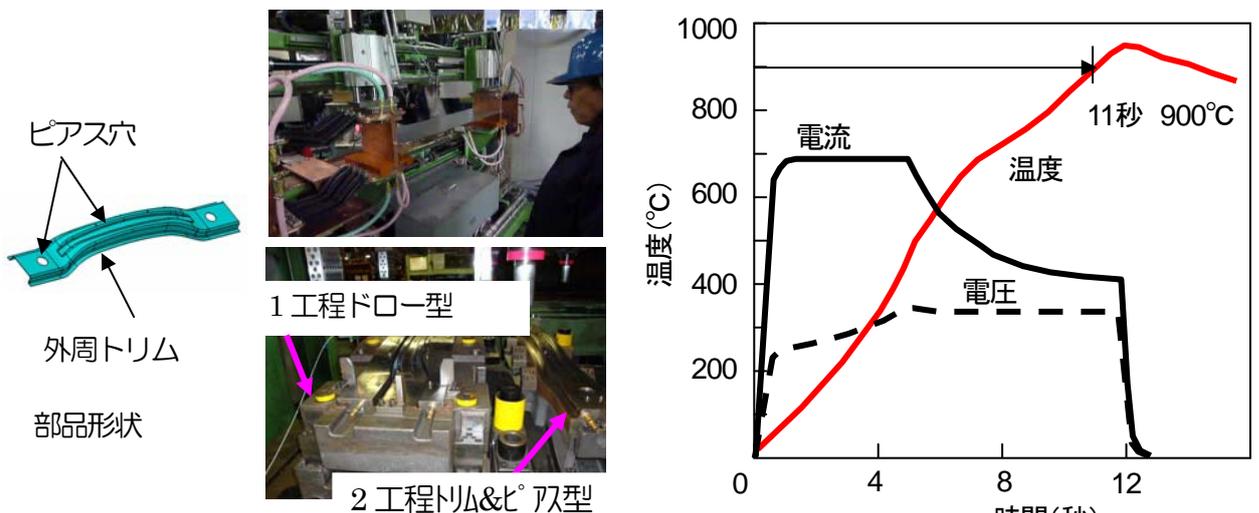


図33 バンパービームの新ホットプレス

図34に各工程の温度分布を示す。1工程のプレスに搬送した時の温度は約 700 度である。1 工程終了時は、部分的に温度が下がっている箇所はあるが、部品強度に対する寄与が大きい中央付近の温度は約 500 度である。2 工程への搬送ではあまり温度変化が見られない。2 工程終了後はマルテンサイト変態温度より低い 300 度以下の温度となっている。

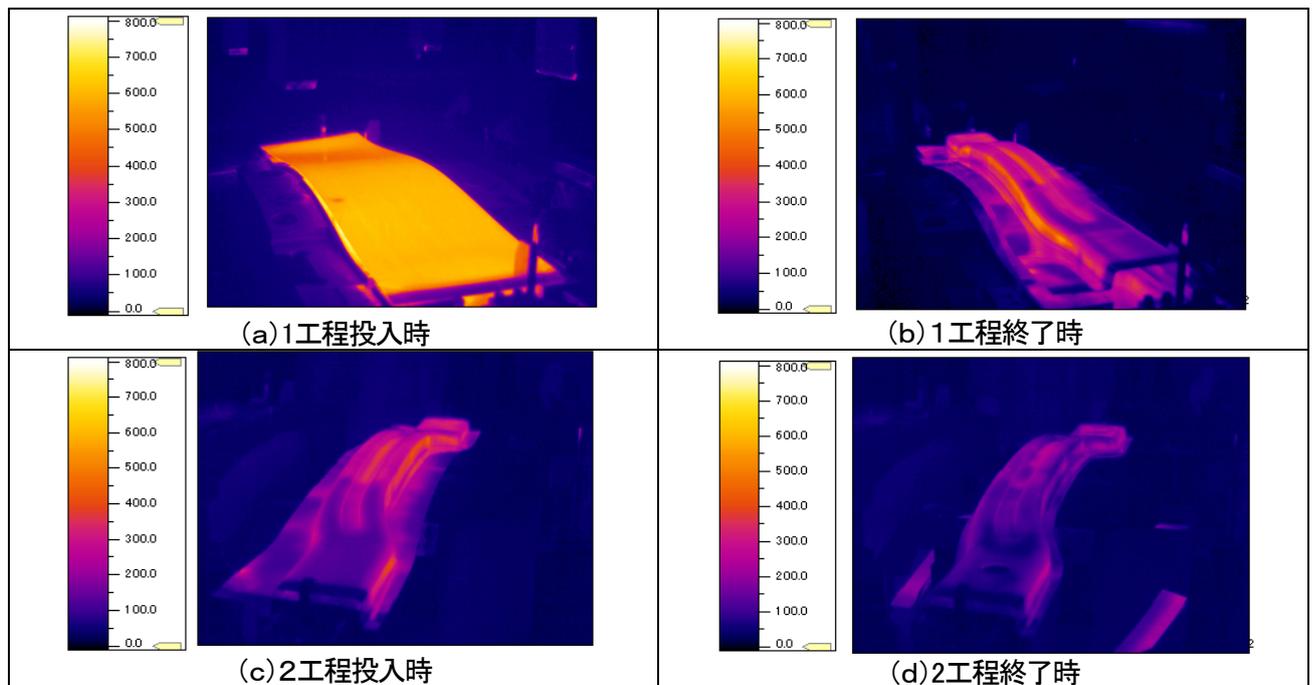


図34 バンパーの各工程での温度分布

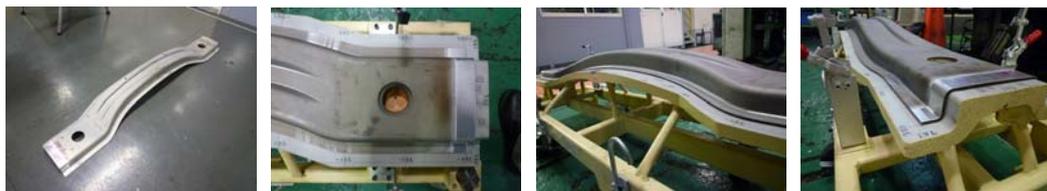


図35 検査治具による部品の精度確認

図35に検査治具での部品の精度確認状況を示す。スプリングバックやねじれはなく、良好な精度であることが確認できた。

図36にバンパービームの強度試験結果を示す。980MPa 材に対して板厚を 0.2mm 下げても同等の強度を確保していることが確認できた。

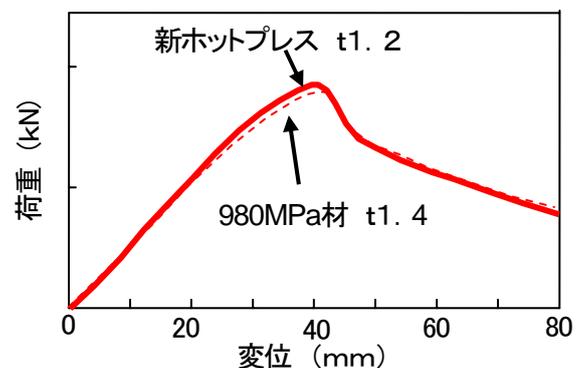


図36 バンパービームの強度評価

(3) 成形解析方法

搬送時の冷却やプレスの動きなどを分析して、プレス時の冷却特性が実験と解析で一致するように解析の各種パラメータ決めた。その条件で平板のプレス解析した結果を図37に示す。解析プログラムはJSTAMPを使用した。

この条件を用いて、ドアインパクトバーの解析を行った。プレス型の板厚設定 1.4mm に対して 1.2mm の板をプレスした時の解析結果を図38と39に示す。

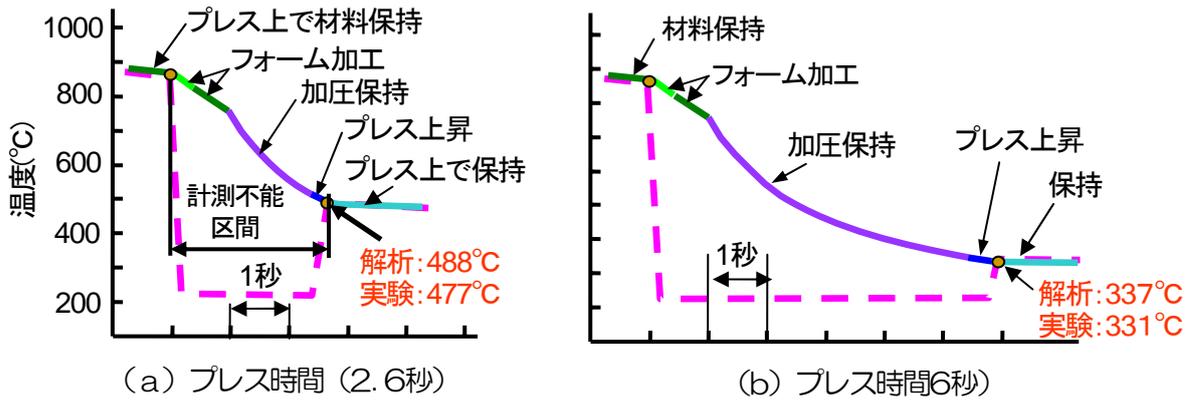


図37 平板のプレス解析

ワークと型が接触しにくい③の側面縦壁部分は全体的に温度が高い。③部はワークと型に微小な隙間があり、型接触しないため、型とワークの間で熱伝達がないという解析条件になっている。実際には部分接触や対流による熱伝達があるので実験との温度差が大きい。今後、微小隙間がある場合の熱伝達を考慮した解析法を検討する必要がある。

③以外の点での温度低下の傾向は実験と解析でおおむね一致している。

ただし、マルテンサイト変態を開始する温度（Ms点）以下まで冷却されると、解析の温度が実験より低めになる傾向が見られる。これは、材料がオーステナイトからマルテンサイトに変態する際に放出するエネルギーが解析で考慮できないためである。現在の解析プログラムは、この発熱を考慮できないため、本解析法の適用範囲はマルテンサイト変態を開始する温度以上の温度域とすることが必要である。

評価部位

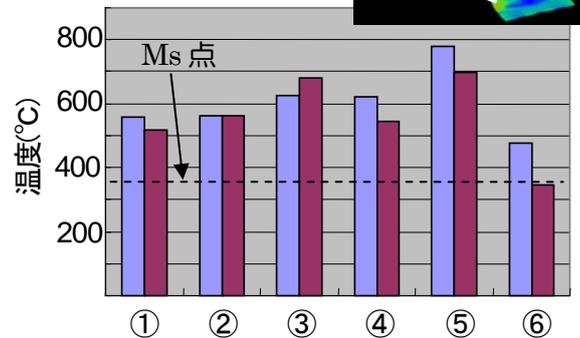
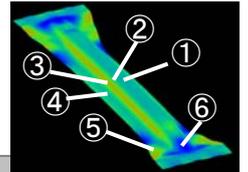


図38 1工程終了時の温度

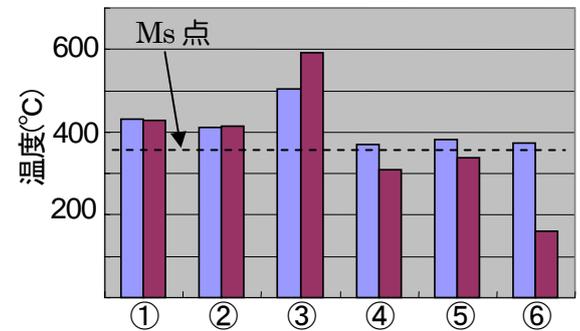


図39 2工程終了時の温度

2-4-2 成形品の加工・熱処理技術

閉断面や開断面部品を部分加熱し、加熱した部分を後加工して部分焼入れする方法を検討した。



断面



(a) 加熱

(1) 日の字バンパーでの検討
閉断面部品であるロール成形した日の字バンパービームの中央部を加熱し、加熱部を曲げ加工して焼き入れを行う工法を検討した。(図40)



(b) 曲げ加工

図40 日の字バンパーの局部焼き入れ

前述の図2 1に示すように目標加熱時間の 10 秒で加熱可能である。

加熱品を現行品と同様な加工法で曲げると図4 1に示すような局部的なしわが発生した。このしわは曲げ加工治具の押さえ範囲が狭いため、加熱で剛性が低くなった板が座屈して発生している。曲げ加工する範囲全体を治具で抑える改良を加えると、局部的なしわが発生していない。

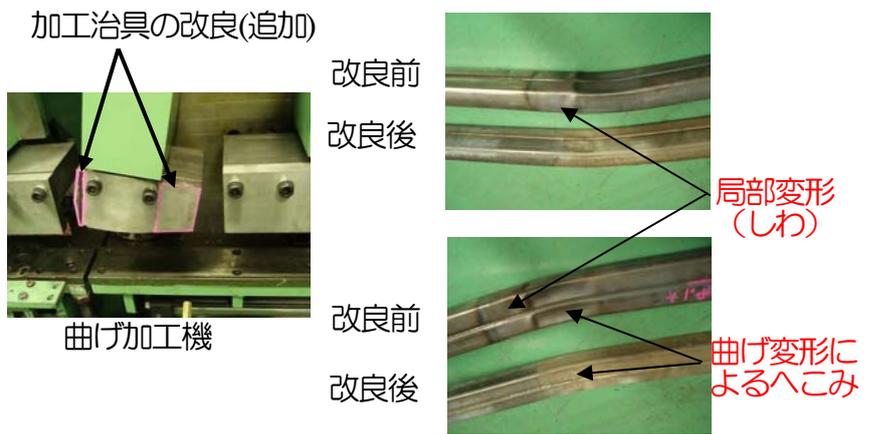


図4 1 曲げ加工によるしわ防止

従って、閉断面部品の曲げ加工は曲げ部全体を治具で抑える必要があることが分かった。

しわ発生対策を行った治具を用いて成形した結果を図4 2に示す。同じ曲げ角で加工すると曲げ角は現行品 16° に対して新ホットプレス品は 20° であった。冷間加工する現行品は4° のスプリングバックがあることを示している。



図4 2 同じ曲げ角度による成形差



図4 3 ホットプレス成形品

図4 3に曲げ角を 16° に設定して新ホットプレスを行った成形品を図4 3に示す。曲げ角は設定どおり 16° でスプリングバックは発生していない。

図4 4に 3 点曲げ強度試験を行った結果を示す。新ホットプレス品は現行品よりも強度は上昇しているが、CAE で期待した程の効果を得られていない。この原因は閉断面内部の温度が下がりにくく、縦壁の温度低下速度が自然冷却よりも遅いため、自然冷却でマルテンサイト化しないためであることが分かった。なお、水冷却で冷却速度を高めると CAE で予測したとおりの強度が得られている。

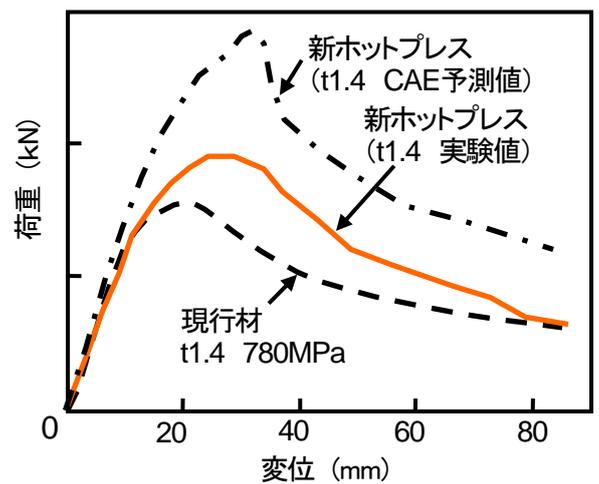


図4 4 3点曲げ試験結果

従って、閉断面の新ホットプレスは断面内部の温度低下を促進させる対策が必要であることがわかった。

(2) インパクトバーでの検討
 予め成形したドアインパクトバーの高強度化が必要な部分のみを新ホットプレスで高強度化する方法を検討した。(図23を参照) 使用したインパクトバーは2-4-1項で検討したものと同一形状である。材料は改良材Bを用いている。

加熱時間は図45に示すように目標を十分に満足できている。

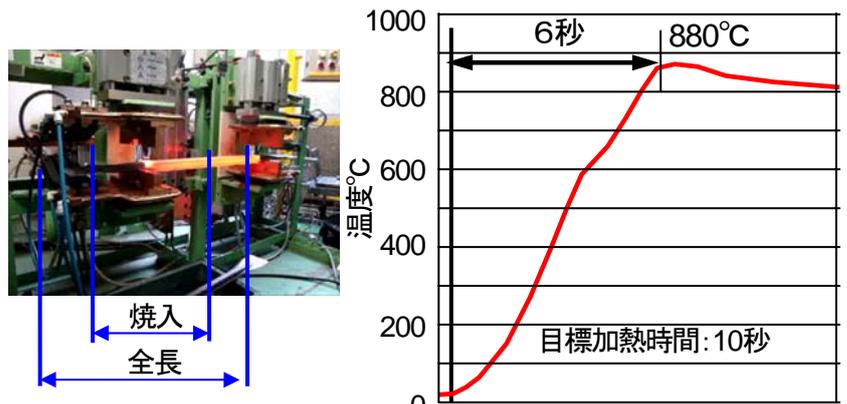


図45 インパクトバーの部分加熱

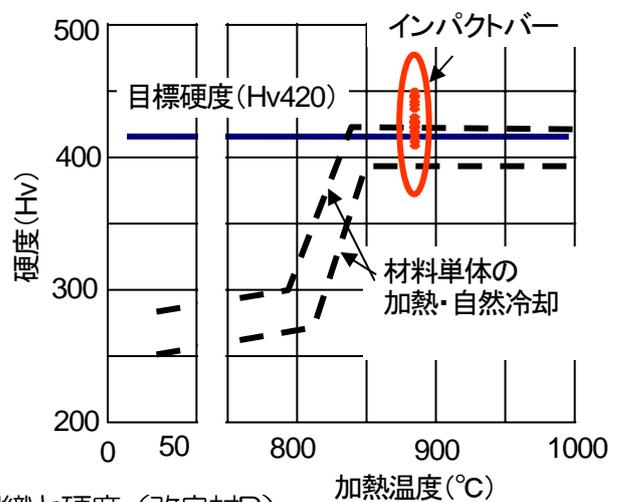
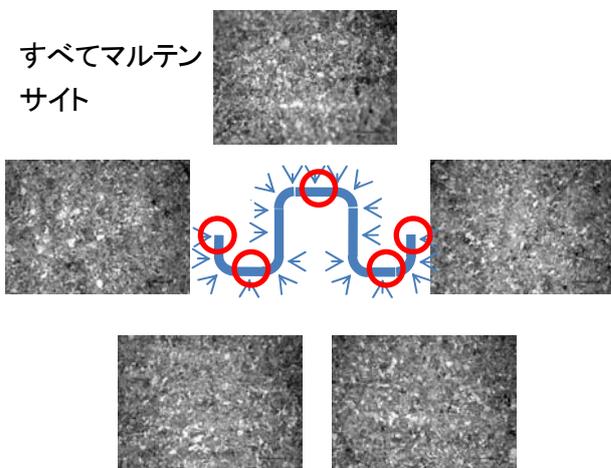


図46 成形後の材料組織と硬度 (改良材B)

加熱後にピアスとトリム加工を行い、焼き入れを行った。図46に焼き入れ後の材料組織の写真を示す。材料組織はマルテンサイト化している。また、硬度は若干目標の Hv420 を下回っている所がある。4-2で示したように改良材 A を使えば目標硬度を満足できる見込みである。

(3) 開断面バンパー
 ビームでの検討

検討した部品形状、および、工程を図47に示す。

加熱材料は断面をあらかじめロール成形した成形品を用いる。成形品に沿わせた断面形状の電極を用いて直接通電加熱を行い、プレスで曲げ成形して焼入れする。

加熱時間は図48に示

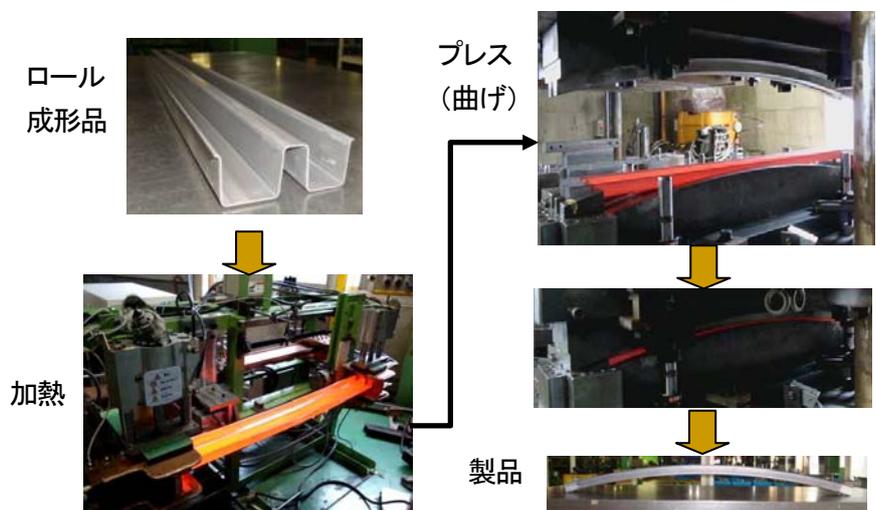


図47 ロール成形バンパーの部分焼入

すように 9 秒で加熱できており、目標を満足している。また、成形品は板厚を 0.2mm 下げても 980 材と同等の性能が得られている。(図49)

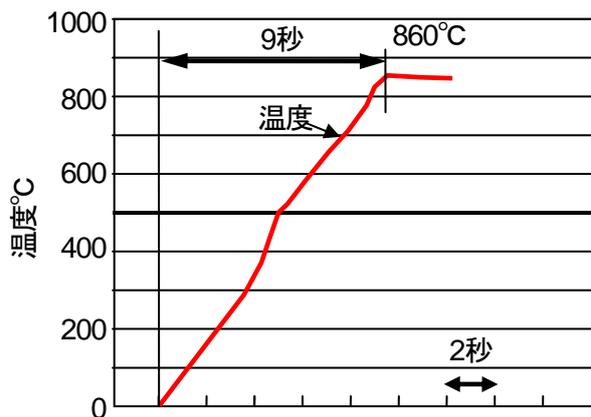


図48 加熱特性 (ロール成形バンパー)

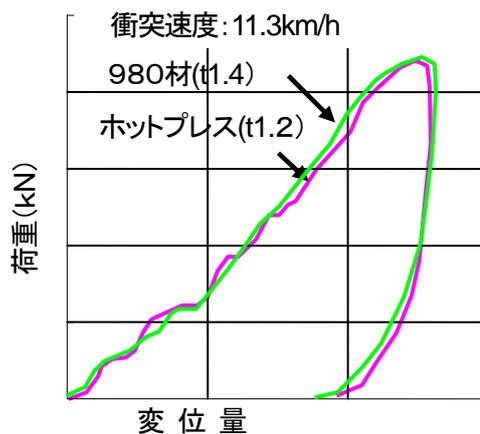


図49 衝突試験結果 (IHHSフルラップ)

加工した部品をアセンブリーし、電着塗装した状態で防錆試験を行った結果を図50に示す。材料にはアルミめっきを使用している。材料試験の結果と同様に加熱できている部分の防錆性能は問題ないが、加熱できない電極部分の防錆性能が非常に低いことが確認できた。

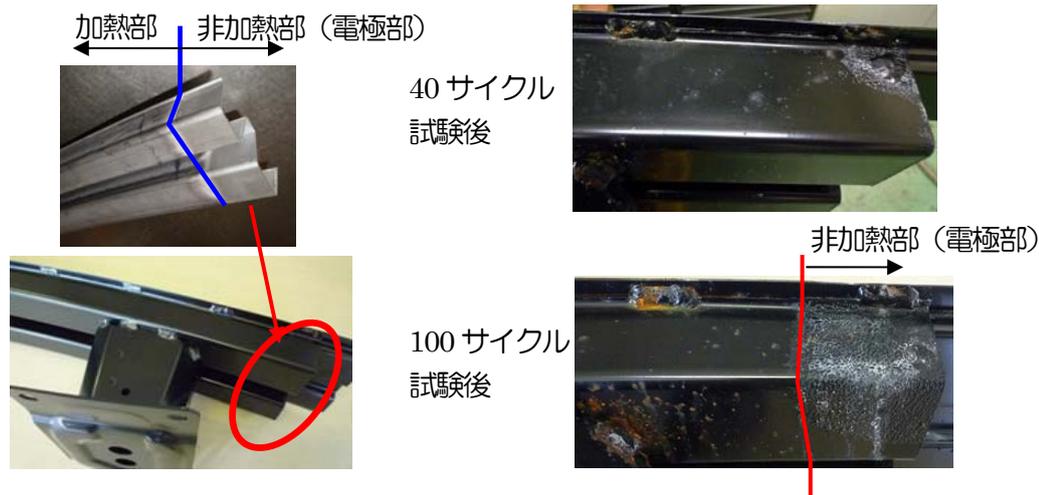


図50 アルミめっきの防錆試験 (塩水噴霧 (CCT))

3章 全体総括

3-1 研究開発の成果

戦略的基盤技術高度化支援事業提案書でかけた目標とその達成状況をまとめる。

(1) 設備の開発

本技術を適用する部品（バンパービーム、ドアインパクトバー等）の素材を加熱できる通電設備の能力を検討し、所要設備を導入・改良した。

目標	結果
5秒で1100℃まで加熱する通電設備の能力	・800℃～1200℃まで加熱するために必要な電流密度と時間の関係を調査し、加熱設備に必要な設備能力を明確にした。
その他	・大電流によって装置周辺には海外の規制値を越える磁界が発生するので、磁界の遮蔽を行う必要がある。

(2) 材料の選定

焼き入れ性が良く、多段プレス加工に適し、目標とする強度を満足する安価な材料を選定し、テストピースで冷却速度、焼入れ温度、焼入れ後の材料硬さ（強度）の関係を調査した。この結果と加工のサイクルタイムを考慮して、最も焼入れに適した熱処理条件を明確にした。

目標	結果
焼入れ時の材料強度 1370MPa以上	・自然冷却でも組織がマルテンサイト化し、1370MPa以上の焼入れ強度が得られ、溶接性等の性能を満足するマンガンを主成分とする材料を開発した。 ・急速加熱と炉加熱の強度差は少ないが、高温での保持時間が長いと結晶が成長し、強度が低下する傾向となる。 ・結晶が成長すると焼き入れ後の低温脆性が低下する。
多段加工を実現するための熱処理条件の明確化	・材料を850℃以上に加熱後、多段連続プレス加工で冷却することで目標焼き入れ強度が得られることを確認。
テストピースによる加工性の検証	・新ホットプレスはスプリングバックがほとんどなく、加工精度が良いことを試験研究型で確認
高温での成形性解析法の確立	・材料搬送、プレスと加工品の接触などによる温度低下を計測し、実験が再現できる解析のパラメータを選定した。
その他の成果	・アルミめっきあるいは亜鉛めっきでスケールガードができることを確認

ただし、アルミめっきは加熱できない電極部の防錆性能が低いので、電極部はプレス工程でトリムして使う必要がある。加熱した部分は合金化され、防錆性能は確保できる。

(3) 加熱処理技術

急速加熱で均一な温度分布を得るため、通電による温度分布を計測し、温度分布にムラが少ない適正な電極の配置や電流の制御方法を研究し明確にした。

板材で5秒、成成品で10秒以内に加熱できる電極配置と電流制御の条件の明確化	・ドアインパクトバーの寸法で900℃まで4.5秒で加熱できる電流の制御条件を明確にした。 寸法が大きいバンパービームは11秒で900℃まで加熱できた。時間短縮は設備能力を上げることで対応できる。 ・バンパービーム成成品で900℃まで10秒で加熱できる電流制御条件を明確にした。 ・加熱すると材料が伸びて垂れ下がるので、張力を加えて垂
---------------------------------------	---

	<p>れ下がりを防止する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・均一な接触を得るため、電極の一方は回転自由度を持たせておくのが良い。
平面以外の多様な面を有する成形品を対象にした信頼性の高い電極構造	<ul style="list-style-type: none"> ・電極形状は部品の断面形状に極力沿わせた形状とし、接触面積を広く取り、局所的な温度上昇を少なくする。 ・張力を加えて加熱すると部品形状の変化が発生するので、張力は加えない。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・直接通電加熱による材料の発熱分布を解析する方法を明確にした。

(4) 板材からの熱処理

板材を直接通電加熱し、プレス機械で成形、トリム、ピアス加工を行いながら、同時に焼入れする技術を開発した。

目標	結果
焼入れ強度： 1370MPa 以上	<ul style="list-style-type: none"> ・ドアインパクトバーを用いて、3工程（フォーム・フォーム・トリム&ピアス）の連続多段プレスで目標の焼き入れ強度が確保できることを確認した。 ・バンパービームを用いて、2工程（ドロー・トリム&ピアス）の連続多段プレスで目標の焼き入れ強度が確保できることを確認した。
サイクルタイム 6 秒以下を実現するための成形及び熱処理条件	<ul style="list-style-type: none"> ・機械プレスを用いるとドアインパクトバーでサイクルタイム 6 秒が実現できる目処が得られた。 油圧プレスの場合、サイクルタイムは 7.5 秒が必要。
加熱板材・ワークの搬送で温度低下最小化・変形防止	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボットを用いて加熱材の搬送、加工品の型内搬送が可能であることを確認した。 ・搬送による温度低下は自然冷却とほぼ同じであることを確認した。 ・加熱材をプレスに搬送後の温度低下を避けるため、プレス開始までピンで浮かしておくことが必要である。
熱処理歪み ±0.5mm 以下	<ul style="list-style-type: none"> ・ドアインパクトバーとバンパービームの部品精度は ±0.5 mm 以下で、スプリングバックがほとんどないことを確認した。 ただし、熱収縮を見込んだ型設計が必要。
焼入れ終了を検知できるシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・温度が低下して焼きが入った材料をプレスすると割れが発生し、型損傷の原因となる。これを防止するための温度モニターは放射温度計が使用できることを確認。
成形性を予測できる解析法	<ul style="list-style-type: none"> ・材料選定の項で設定したパラメータを用いてンパクトバーのプレス加工中の温度低下を解析し、解析手法の有効性を確認した。 ただし、マルテンサイト変態の発熱やプレス型内の微小すきまの扱いが検討課題として残った。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・加熱されない電極部から 4mm 程度離れば必要な強度が得られる。 ・アルミめっきの電極部は防錆能力が低いため、トリムする必要がある。

(5) 成形品の熱処理

「日の字」形状の閉断面をした断面積一定のロール成形バンパービームおよび閉断面を有するドアインパクトバー成形品を加熱し、加工（曲げ、ピアス）、部分焼入れする技術を開発した。

目標	結果
焼入れ強度： 1370MPa 以上	・開断面形状部品は、1370MPa 以上の焼き入れ強度が得られることを確認した。 ・閉断面構造の日の字バンパーは断面内部の温度が下がりにくく、加工品の冷却速度が自然冷却より遅くなるため、目標強度が得られなかった。 水冷を併用すれば目標強度が得られることを確認した。
サイクルタイム 10 秒以下を実現するための成形及び熱処理条件	・900℃まで日の字バンパービームは 10 秒、インパクトバーは 5 秒で加熱できた。 バンパービームの加熱時間短縮は設備の許容電圧を上げることで対応できる。
熱処理歪み±0.5mm以下	・断面の成形でもスプリングバックはなく、精度は目標値以下で非常に良い。 ・加熱によって板の剛性が下がるため、曲げ加工時に局所的な座屈が発生しやすくなる。このため、曲げ加工する領域全体を治具で抑えて加工することが必要
その他	・スケールガードのためにアルミめっきした材料は電極部の防錆力が低い。このため、部分焼き入れは表面処理なしで加熱し、後でスケールを落とす必要がある。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 研究開発後の課題

戦略的基盤技術高度化支援事業の成果として新ホットプレス実用化の目処付けができた。今後の研究開発の課題として次の内容がある。

a) 量産性の検討

本研究は試作設備を用いており、長時間の量産性検討ができなかった。

このため、アステアは平成21年度に量産可能な直接通電加熱設備と材料の搬送ロボットを導入した。今後、この設備を用いて新ホットプレスの量産試行を行い、量産化に伴う問題点の抽出と改良を行っていく。これにより、受注後、円滑な生産立ち上がりが可能となる。

b) 材料

従来の量産ホットプレス材を用いて直接通電加熱、連続多段プレスによる焼き入れのトライを行った結果、目標の強度が得られた。量産ホットプレス材は自然冷却での焼き入れ強度低いので加工条件は厳しくなるが、量産ホットプレス材を用いた新ホットプレス工法は可能である。

今回開発した材料は量産実績がない材料であり、大量に発注しないと鉄鋼メーカーが生産できない。このため、当面は量産ホットプレス材を用いて量産に伴う問題点を解決し、受注獲得を目指すことにする。受注量が増加した時点で今回開発した材料の量産化を行い、新ホットプレス材として適用する。

c) 適用部品の拡大

本研究ではドアインパクトバーとバンパービームでの検討を行った。適用部品拡大のため

には、高強度化が必要な車体部品への適用についての検討を行う。

車体部品は材料の歩留まりをよくするため、複雑で長方形形状でないものが多い。長方形以外のブランク材を加熱すると一様な加熱温度とならないため、適切な加熱方法について検討を行っていく。

(2) 事業化展開

新ホットプレスは図51に示すように従来ホットプレスおよび高張力鋼板に対してコスト・重量面で有利な工法である。
(株)アステア試算) この優位性をPRし、受注獲得を目指した活動を開始している。

下表に今後の展開計画を示す。

平成22年度は(1)項の量産化に伴う課題を解決するとともに受注活動を展開し、平成24年度に車体部品での量産開始を目指す。その後、車体部品の適用範囲を拡大し、足回り部品への適用も検討する。

設備は受注量に応じて製造販売を行っていく。1号機は平成21年度末にアステアに導入した。他社への技術供与および開発受注は平成26年度から開始する。生産拠点は当面アステア内とするが、量産開始後、アステア以外への展開を行う。

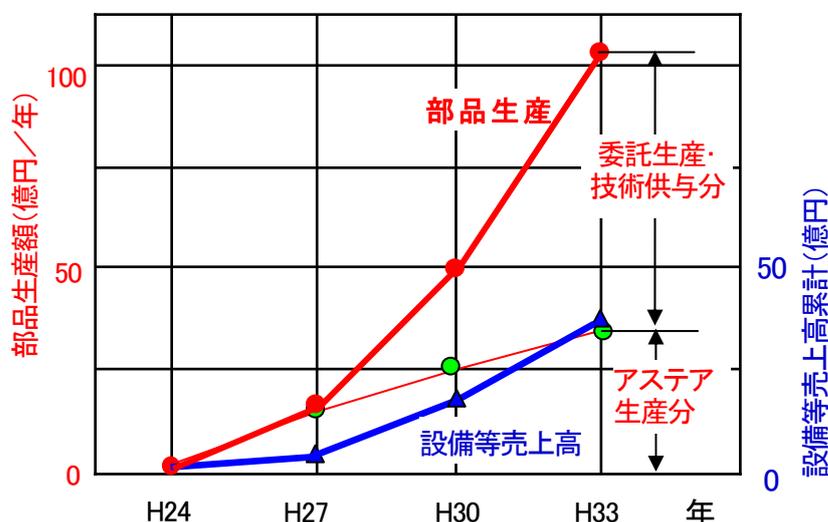


図51 事業化の展開計画

表 今後の新ホットプレスの展開計画

年度		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		
研究開発	開発研究			● (受注活動開始)													
	量産試行			●													
事業内容	① 部品の製造・販売				車体部品	—————										足回り部品	—————
	② 設備等の製造・販売				—————												
	③ 他社への技術供与								—————								
	④ 開発受注								—————								
生産拠点展開					アステア	—————										アステア以外	—————

上表の展開計画に基づいた販売計画を図52に示す。

平成24年度からバンパー、ビームやインパクトバーの製造、販売を開始し、販売開始から3年後の平成27年度には車体骨格部品を含めて生産を軌道に乗せる。

平成30年度には200万台、平成33年度には全世界で450万台の車両への展開を図る。

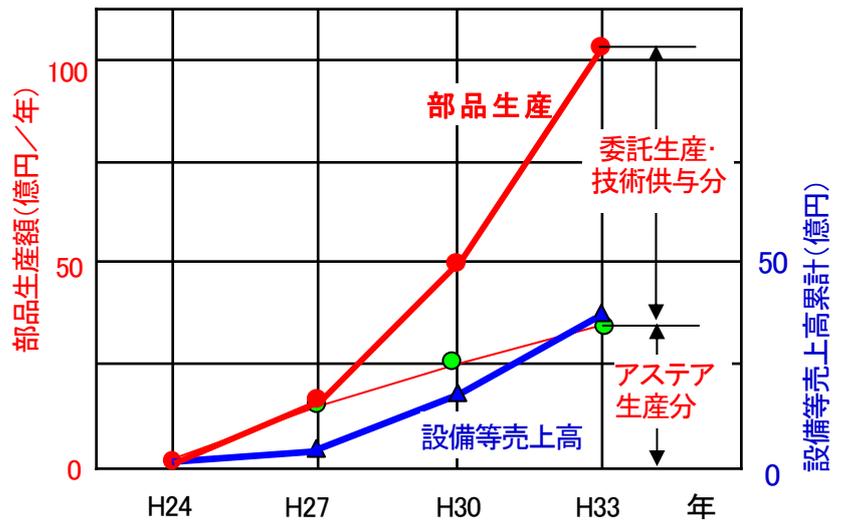


図52 事業化の展開計画