



自動車軽量化の切り札ホットスタンピング

Hot Stamping : Break-through Technology for Lightening of Automotive Bodies

岡山大学 大学院自然科学研究科
産業創成工学専攻 教授
元新日本製鐵(株) 鉄鋼研究所
鋼材第一研究部長

瀬沼武秀 Takehide Senuma

新日本製鐵(株)
八幡技術研究部
薄鋼材研究グループ
主任研究員

楠見和久 Kazuhisa Kusumi

新日本製鐵(株) 鉄鋼研究所
マネジャー

末廣正芳 Masayoshi Suchiro

1 緒言

京都議定書に謳われた二酸化炭素の削減計画は、現在のところその達成が極めて困難と目されている。また、たとえ、議定書に調印した諸国がその目標を達成しても、非調印国、特に開発途上国の二酸化炭素の増加は避けられず、先進諸国には環境保護のためのブレークスルー技術の開発が問われている。

二酸化炭素の排出における自動車分野の占める割合は高く、その排出量の8~9割が走行中に排出されているため、燃費を向上させる技術開発は非常に重要であり、積極的に行われている¹⁾。燃費向上を可能にする代表的な材料開発が車体の軽量化を実現する高強度鋼板(ハイテン)の開発である^{2,3)}。

しかし、最近になってハイテン化の推進には限界が見え始めている。その理由を表1に示す。第一の障害は図1の鋼板の強度-延性バランスに見られるハイテン化に伴う成形性の劣化が挙げられる。図中に示した開発目標である軟鋼板の延性を有する超ハイテンの開発は差し当たりコストを考えると具体的なシーズもなく、材料開発面では開発が停滞している。

たとえ、このような画期的な超ハイテンが開発されたとしても、形状凍結性の問題は残される。図2に模式的に示すように形状凍結性不良の原因が高強度化に伴う弾性回復ひずみ量(スプリングバックの一因)の増大によるので、材料的には有効な対応策がなく、専らプレス技術の改善により、このスプリングバックを抑え込む試みがなされているが、超ハイテンに適用できる経済的な技術は未だ視界に見えてこない⁴⁾。

一方、成形能が低く、スプリングバック量が多い材料を

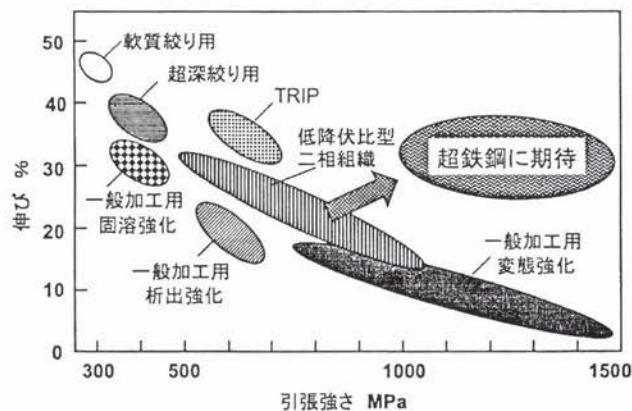


図1 鋼板の強度-延性バランス¹⁾

表1 ハイテン化推進を妨げる問題点

- ・ 成形可能領域の減少
- ・ 形状凍結性の劣化
- ・ 面ひずみの顕在化
- ・ 型かじりの増加
- ・ プレス設備の大型化
- ・ 溶接性の劣化
- ・ 精度不良、ばらつきの増大
- ・ 金型修正回数の増加
- ・ コスト

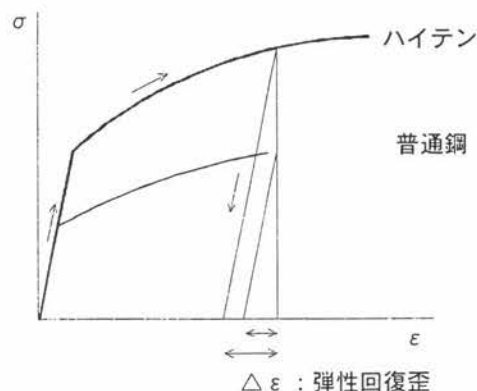


図2 高強度化に伴うスプリングバック量増加の説明図

所定の形状にプレス加工するには金型の修正頻度の増加は避けられず、それに伴う時間のロスは開発期間の短縮という自動車業界の現在のニーズに逆行している。その上、ハイテンのプレスには金型材料のコストアップのみならず、プレス荷重の増加を意味し、新たな大型プレスの導入というプレス会社にとっても大きな設備投資の負担を招いている。

また、1000 MPa超の引張強度を有する超ハイテン材は張り出し成形性などが悪いため、バンパーやドアインパクトビームなど主に曲げ主体で成形できる部品への適用に限られていることも超ハイテン化の推進を阻んでいる。そのために組織制御技術を駆使して成形性に優れた超ハイテンの開発が国内では進められているが^{5, 6)}、素材の世界調達性の潮流を考えると問題がある。

すなわち、これらの問題点を整理するとスプリングバックの問題を解決し、張り出し成形性などの成形能を高め、かつ低荷重でプレスができる技術を開発することがさらなるハイテン化を実現するキーになることがわかる。

本報告ではそのキーテクノロジーの可能性を秘めたホットスタンピング技術について、その技術開発の現状を紹介し、将来性について展望する。

② ホットスタンピングとは

ホットスタンピングに馴染みのない読者のために、簡単にホットスタンピング技術について紹介する。ホットスタンピングとは図3に模式的に示すようにプレス成形素材をオーステナイト域に加熱し、高温でプレス成形し、金型内でマルテンサイト変態をさせることにより形状凍結性と高強度化を両立させた技術である⁷⁾。後段にあるデスケーリング装置は素材が酸素を含んだ雰囲気中で高温にさらされるため、通常はスケールの生成が避けられないため、それを除去するために設置されている。このデスケーリングには一般にショットピーニング技術が用いられている。しかし、部品によってはショットピーニングにより形状が崩れるケースもあるので注意を要する⁸⁾。

それゆえ、この後処理を省略し、かつ耐食性を向上する目

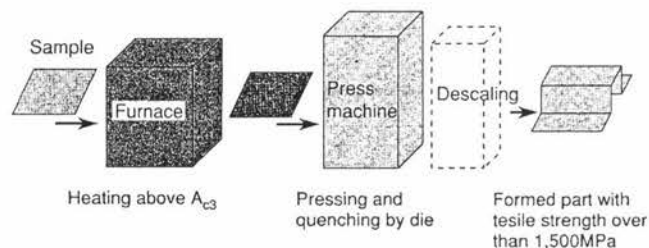


図3 ホットスタンピング設備の模式図⁷⁾

的でめっき鋼板がホットスタンピングに用いられるケースが増えてきた。詳細については後述する。材料組成に関しては成形性を高温変形で担保しているため、常温でのプレス成形のように成形性を向上するために高価な合金を使用した成分設計は行われておらず、今のところ低合金炭素鋼が用いられている。そして、強度レベルはマルテンサイトの強度が炭素量に大きく依存することから炭素量で調整されている。現在のところホットスタンピングが補強部材の製造に適用されるケースが多いため、1500 MPa級の強度レベルが目標とされ、炭素量は0.20%～0.23%に調整されることが多い。

表2にハイテンの成形、特に1000 MPa超の超ハイテンの成形における通常プレスに比較したホットスタンピングの利点欠点を示す。利点は前章で述べた更なるハイテン化を可能にするキーとなる技術を満足していることがわかる。一方、ホットスタンピングには明らかな短所もあり、この欠点を是正することが本技術の将来性の鍵になる。

③ ホットスタンピング部品の市場動向

ホットスタンピングはヨーロッパ中心に発達し、1990年代前半から適用が開始され、現在では多くの自動車部品の製造に適用されている⁹⁻¹⁴⁾。正確な統計数字は出ていないがヨーロッパでは年間50～100万トン近い鋼板がホットスタンピング用素材として使用されていると推測される。国内のプレスならびに自動車メーカーは欧米に比べてプレス技術が高いため、通常プレスを用いた超ハイテン部品の製造技術の開発に注力したため、ホットスタンピング技術の開発は最近ま

表2 ハイテンの成形、特に1000MPa超の超ハイテンの成形における通常プレスに比較したホットスタンピングの利点欠点

利点

- ・形状凍結性に優れる。優れた寸法精度
- ・成形荷重が小さい。プレスの小型化
- ・大型部品の一体成形化(パッチ数の低減)
- ・優れた成形性を有する。
- ・金型修正が不要。開発期間の短縮
- ・素材調達性
- ・TB溶接部の不均一変形を回避

欠点

- ・加熱炉などの付帯設備が必要。比較的場所を取る。
- ・生産性が低い。
- ・熱を使うため生産環境が悪い。
- ・酸化防止対策あるいはデスケ設備

で必ずしも積極的に取り組んでこなかった。しかし、自動車業界のグローバル化の流れもあり、国内でも最近ホットスタンピングを用いた超ハイテン自動車部品の製造が報告され始めている¹⁵⁾。たとえば、2003年にプリウス（トヨタ自動車）のセンターピラーの補強材（レインフォース）に使用されたとの報告がある¹⁶⁾。

ホットスタンピング技術を用いて製造されている自動車部品を表3に示す。現状では補強部材の製造に適用されているが、将来はメンバーやシャーシー部品などにも展開される可能性はある。

4 ホットスタンピング技術の動向

4.1 強度特性

ホットスタンピングの大きな利点の一つがプレス加工時の変形抵抗が低いことである。同じ強度の部品に供せられる超ハイテンの冷間変形抵抗値に比べてホットスタンピング時の熱間変形抵抗値は約20分の1の大きさである。このことはプレス荷重の顕著な低減を意味し、設備費ならびに変動費の低減につながる。

部品に要請されている所定の強度を安定して出すには金型内の冷却速度がばらついても強度に大きな影響が及ばない材料の成分設計が必要となる。すなわち、金型と鋼板との接触が不十分で冷却速度が比較的小さい場合にもマルテンサイトが生じる焼入れ性が要求される。この焼入れ性向上のためにホットスタンピング素材にはCの他にMn、Cr、微量のBが添加されることが多い。

表4にホットスタンピング素材の代表的な成分を示す。この成分系の再結晶処理を施したホットスタンピング素材の強度は600 MPa程度である。図4に、この鋼板のCCT曲線（連続冷却変態曲線）を示す。この図が示すように冷却速度

が30℃/秒以上であればマルテンサイトが生成することがわかる。また、1.5 mm厚の鋼板が大気放冷されると冷却速度は10℃/秒程度なので、放冷中に比較的強度の低い変態相を生成させないためには炉より抽出されてから40秒以内に成形されなければならないことが示唆される。図5は冷却速度と硬度の関係を示すが、硬度から換算した強度は冷却速度が30℃/秒以上になると1500 MPa以上になることがわかる。

4.2 成形性

図6はハット型成形部品の形状凍結性に及ぼす強度の影響を示す。この図が示すように形状凍結性は強度の上昇に従って顕著に劣化していくが、ホットスタンピングによって製造された部品はほとんどスプリングバックがなく優れた形状凍結性を示す。図7はオーステナイト域まで加熱した後に空冷し、成形開始温度を変化させて、形状凍結性の変化を調べた結果である。0.2% Cのホットスタンピング用鋼板の場合、 γ 域で成形し、その後マルテンサイト変態する場合は優れた形状凍結性を示すが、ベイナイト変態が開始する500℃以下で成形した場合ではスプリングバック量が著しく大きくなった

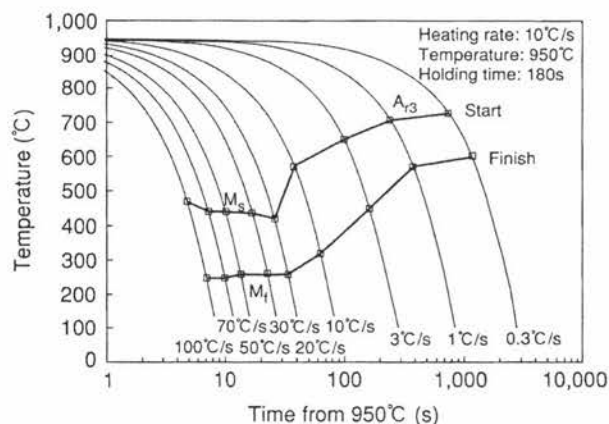


図4 0.22% C-1.2% Mn-0.15% Cr-0.008% B鋼のCCTカーブ⁷⁾

表3 ホットスタンピング技術を用いて製造されている自動車部品

バンパーレインフォース
センターピラーレインフォース
フロントピラーレインフォース
ルーフレインフォース
ドアインパクトビーム
レールアウターレインフォース

表4 ホットスタンピング素材の代表的な成分

C	Mn	Cr	B
0.22	1.2	0.15	0.002

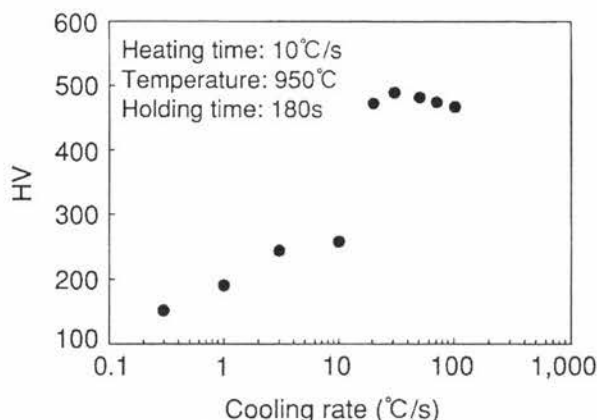


図5 冷却速度と硬度の関係⁷⁾

た。また、変態を起こさないSUS304の結果も示すが、この場合は成形温度の上昇に伴い形状凍結性は改善されるが、変態を伴うホットスタンピングのような改善効果は示していない。すなわち、これらの結果は変態による結晶構造の変化が形状凍結性の改善に特別な効果を示していることを示唆する¹⁷⁾。

また、小山田らはV曲げおよびハット型成形において形状凍結性に及ぼす加工温度の影響を調べ、曲げ部で再結晶が進行する場合は形状凍結性が顕著に改善されると報告している¹⁸⁾。

ホットスタンピングはオーステナイト域で成形を行うためにフェライト組織のように深絞り性に好ましい集合組織が発達しないので優れた深絞り性は期待できない。また、工具接触部と非接触部で温度分布が存在し、高温の部位にひずみが集中し破断しやすい。その上、熱間での成形のため潤滑による鋼板と金型の間の摩擦係数を低くすることは容易でないため、通常のプレス成形条件ではホットスタンピングによる深絞り成形は難しい¹⁹⁾。

そこで、工程は増えるものの厳しい深絞り成形を要する部品については、冷間で一度プレス成形を行い、それをホット

スタンピングで更なる加工と焼入れによる高強度化を付加する手法が提案されている¹⁴⁾。しかし、この方法は工程が増えるだけでなく、部品形状のものを加熱するので、板に比べると容量をとり、ハンドリングの煩雑さや炉の大型化を招くなどの点でデメリットがある。

これらのデメリットを克服するにはホットスタンピング時に低摩擦係数を実現する低廉な潤滑剤の開発ならびに熱間においても深絞り加工が可能なホットスタンピング独自の成形技術の開発を今後進める必要があると思われる。

4.3 部材の延性、靱性

同じ強度を持つ超ハイテンによって製造された部品に比較してホットスタンピング部品は延性に優れている。なぜならば超ハイテンが部品加工により加工硬化を起こし、延性を落とすのに対して、ホットスタンピング部品はこの加工硬化による延性の劣化がないためである。1500 MPa級のホットスタンピング部品が8%程度の伸びを有するのに対して、成形後の1500 MPa級超ハイテンは伸びが2%を下回る箇所が観察される。

靱性においても加工ひずみや残留応力が小さいことからホットスタンピング部品の方が同じ強度を持つ超ハイテンによって製造された部品より有利なことが推測される。ただし、ホットスタンピング部品は焼き戻し処理がなされないため靱性を確認しておく必要はある。図8、9は表4の成分の焼入れ材を用いたシャルピー衝撃試験で得られた衝撃値並びに脆性破面率と試験温度の関係を示す⁷⁾。衝撃値の温度依存性は比較的小さく -100°C 以下でも $100\text{J}/\text{cm}^2$ の値を示す。一方、脆性破面率は -40°C 以下で増加し始め、遷移温度 Tr_{50} は約 -60°C である。この実験結果は2.5 mm厚の試験片で行ったが、ホットスタンピング部品の板厚は一般にそれより薄いことが多いので、遷移温度はさらに低温側にシフトするものと思われる。すなわち、ホットスタンピング部品においては

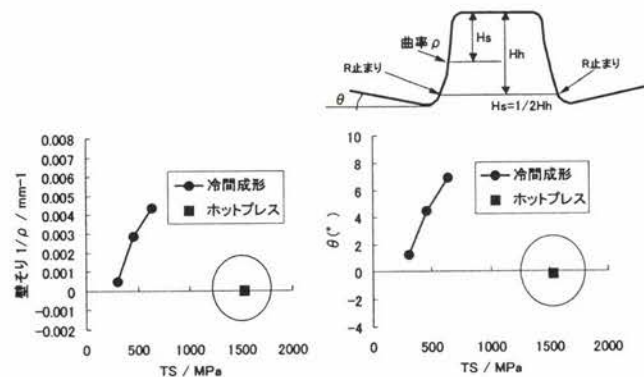


図6 ハット型成形部品の形状凍結性に及ぼす強度の影響とホットスタンピングの効果⁷⁾

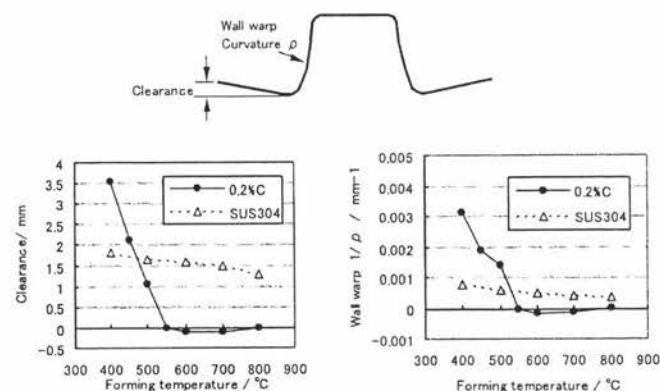


図7 ハット型成形部品の形状凍結性に及ぼす加工温度の影響¹⁷⁾

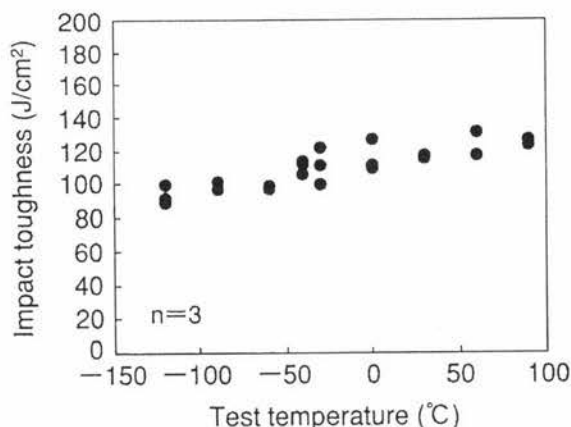


図8 ホットスタンピング材の衝撃値に及ぼす試験温度の影響⁷⁾

自動車の使用環境では脆性破壊が起こる可能性は低い。

4.4 遅れ破壊特性

一般に強度が1200 MPaを超えると遅れ破壊の危険性が高まることが報告されている²⁰⁾。しかし、大半のデータが高張力ボルトのような厚みの厚い試料での結果であり、薄板の遅れ破壊に関するデータは少ない。小嶋は板厚1.6 mm、強度1500 MPaの焼入れ材を表面応力が1100 MPaとなるように試験片を曲げた状態で、30℃、pH=1のHCl水溶液に100時間浸漬した結果、遅れ破壊が起こらなかったことを報告している⁸⁾。そして、ホットスタンピング部品は今のところ主にレインフォース類に使用されており、つまりボルトのように常時大きな応力が作用しない部位に適用されているため、遅れ破壊は実用上問題がないと結論づけている。実際、ホットスタンピング部品はヨーロッパではすでに5年以上前より使用されているが、著者らの知る限りでは遅れ破壊による部品の破断の報告は皆無である。

4.5 脱スケール性

鋼板を大気中で加熱すれば酸化スケールが形成される。スケールの存在は溶接性、塗装性に悪影響を及ぼすので除去する必要がある。一般にはショットブラストによってスケールは除去される。スケールの除去状態はショット強度や時間に依存するが、ショット強度を高くしすぎると部品の形状に悪影響を及ぼす可能性があり、またショット時間の増加は生産性を落とすので、最適なショット条件を設定する必要がある⁸⁾。材料に関してはスケール生成量が少なく、かつ脱スケール性がよい鋼板が開発ターゲットになる。

一方、表面処理をすることによりスケールの形成を阻止し、ショット工程を省略すると共に耐食性を向上させようとする試みもなされている。次節にそのような表面処理を施したホットスタンピング材について詳細に述べる。

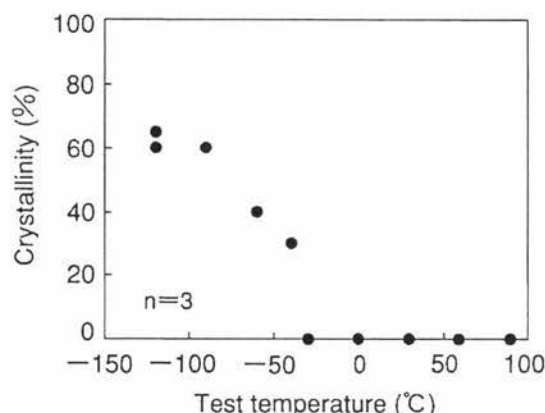


図9 脆性破面率と試験温度の関係⁷⁾

4.6 スケール形成防止と耐食性向上のための表面処理

4.6.1 アルミめっき

4.6.1.1 めっき層の合金化

純アルミの融点は660℃なので、オーステナイト温度域に加熱するホットスタンピングにはアルミめっき鋼板を使用するのは不可能と推測されがちである。しかし、加熱速度を調節してアルミめっきと母材の鉄を相互拡散させて融点の高いFe-Al合金層をめっき層に速やかに形成させることにより、めっき層溶解を極力抑えて、加熱中にめっきが流れ落ちたり、炉材などに付着堆積するのを防ぐことが出来る。

図10は950℃で30秒保持したときのSEM-EDSで測定した合金層のFe, Al, Siの濃度分布を表面からの距離を横軸に示す。ここで、Siが現れるのは汎用のアルミめっき鋼板にはドロスの生成を抑えるために通常10%程度のSiがアルミ浴中に添加されているためである。この加熱条件では合金層は図中に番号を付けたように5層を示す。この合金化挙動を理解するために図11に950℃におけるFe-Al-Siの3元系平衡状態図を示す。この図中に図10で求められた合金組成をプロットすると表層からFe₂Al₅、BCC規則相、FeAl₂、

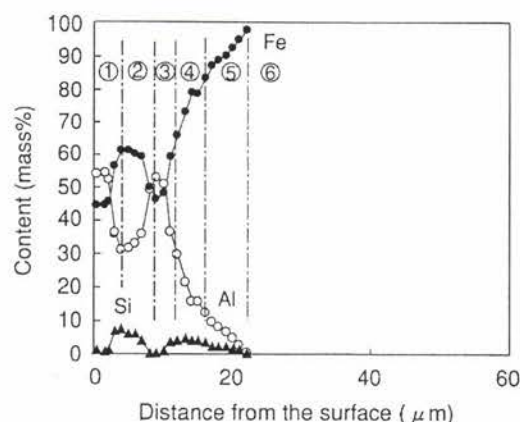


図10 950℃で30秒保持したときのSEM-EDSで測定した合金層のFe, Al, Siの濃度分布⁷⁾

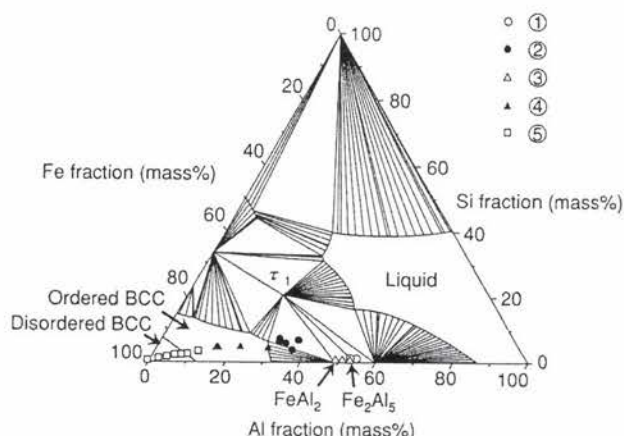


図11 950℃におけるFe-Al-Siの3元系平衡状態図⁷⁾

BCC規則相、BCC不規則相が形成されたと推測される。加熱保持時間を長くするとアルミが内部に拡散し、めっき合金層の組成は平衡状態図の鉄側に移動し、5分の保持では合金層はBCC規則相とBCC不規則相の2層構造になる。

また、母材においても裸材で見られる脱炭層が観察されないで、疲労強度の低下などの懸念も払拭される。

4.6.1.2 耐食性

ホットスタンピング材の耐食性は多くの場合、塗装後耐食性を意味する。それゆえ、耐食性は塗料密着性と大いに関連する。塗料密着性の良否は一般には化成処理による磷酸塩皮膜の形成状態に依存し、全面に緻密な結晶が形成されることが好ましい。しかし、Fe-Al合金層は酸に対して安定なため、磷酸塩皮膜がほとんど形成されない。それにもかかわらずホットスタンピング温度に加熱されたアルミめっき鋼板は優れた塗料密着性を示すことが報告されている⁷⁾。その理由は加熱処理により表面に凸凹が生じ、それがアンカー効果となって塗膜を固着するためと考えられている。すなわち、ホットスタンピングされたアルミめっき部品は化成処理の有無にかかわらず塗料密着性が確保できる。

図12に塗装後耐食性試験の結果を示す。試料は900℃で2分間加熱された片面160 g/m²めっき付着量のアルミめっき鋼板、汎用の自動車用鋼板として用いられている片面45 g/m²めっき付着量の合金化溶融亜鉛めっき鋼板(GA45)、それに表面処理を施さない冷延鋼板 (SPC) である。これらの試料は化成処理後に約25 μmの電着塗装が施され、JASOM610に定めた複合腐食試験に供された⁷⁾。図13は150サイクルの腐食試験後の腐食深さを示す。このようにホットスタンピングの加熱条件に供されたアルミめっき鋼板は自動車用鋼板として広く使用されている合金化溶融亜鉛めっきと同等の耐食性を示すことが明らかにされた。

4.6.1.3 スポット溶接性

末廣らは片面120 g/m²の付着量を持つ板厚1.2 mmのア

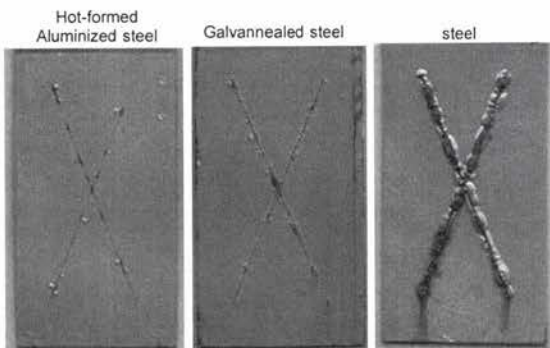


図12 塗装後耐食性試験の結果⁷⁾

ルミめっき鋼板を950℃で5分加熱した後に金型冷却で焼き入れた試料と板厚1.8 mmの440 MPa級の冷延鋼板を接合するスポット溶接実験を行い、DR6 φ型のアルミナ分散銅電極で通電サイクルを17、加圧を400 kgfの条件でナゲット径が板厚tに対して $4t^{1/2}$ を確保できる最低電流値とちりが発生する電流値の間が約3kAあることを示し、スポット溶接に大きな問題がないことを明示した⁷⁾。

図14に7.3kAの適正電流値で溶接したときのスポット溶接部の硬さ分布を示す。このようにホットスタンピング材はHAZ部で軟化を示すが、本例に示すように板組の相手が大半の場合は低強度鋼になるので、溶接強度がホットスタンピング材のHAZ強度で決まることは少ない。

また、通常のアルミめっき鋼板で問題となる連続打点性であるが、ホットスタンピングの加熱に供されたアルミめっき層は表面が融点の高いFe-Alの合金になるため優れた連続打点性を示し、3000打点後もナゲット径はほとんど変化しないことが報告されている。

アーク溶接に関してもブローホールの発生がないことが報告されている。その理由としてFe-Al合金の沸点の高さが挙げられている。

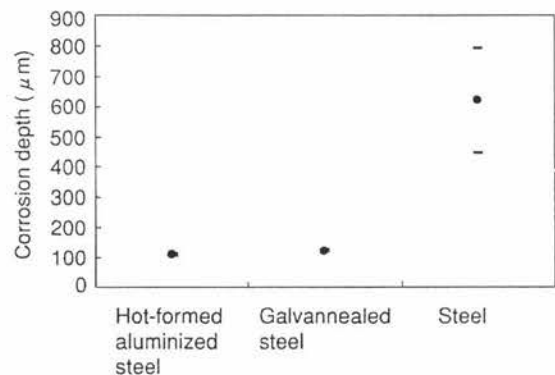


図13 JASOM610に定めた複合腐食試験150サイクルの腐食試験後の腐食深さ⁷⁾

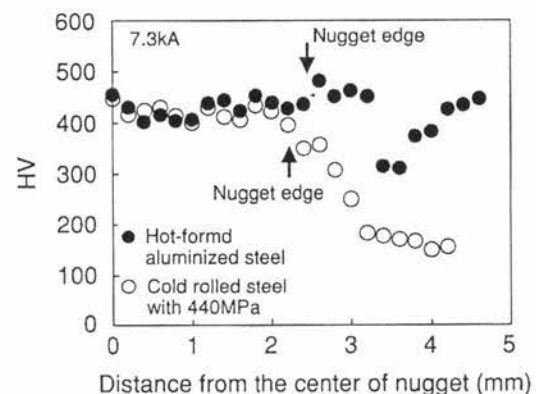


図14 7.3kAの適正電流値で溶接したときのスポット溶接部の硬さ分布⁷⁾

4.6.2 亜鉛めっき

4.6.2.1 めっき層の合金化

市川らは合金化溶融亜鉛めっき鋼板を900℃に加熱し、金型で冷却した後のめっき層の観察を行い、最表層に数 μm の薄いZnOの酸化膜が形成され、その下に鉄中に亜鉛が固溶した固溶層が生成すると報告している²¹⁾。アルミめっきの場合は加熱昇温中にめっき層中にFeが拡散し、Fe-Alの合金層を形成し、融点を上げてめっき層の溶融化を抑制していたが、加熱急冷後のめっき層に合金層が見られずFe-Znの固溶層が観察されたという彼らの結果はZnめっきの場合はめっき相が加熱によって溶融状態になっていることを示唆している。そして、めっき層が溶融状態にもかかわらず流れ落ちていないのは最表面に形成された酸化膜が保護している可能性が考えられるが詳細については報告されていない。

4.6.2.2 耐食性

上記の市川らの報告²¹⁾では塗装密着性については、電着塗装後ならびに40℃の温水に500時間浸漬した後に基盤目テープ剥離試験により密着性が良好なことが報告されている。一方、今井ら²²⁾は無塗装状態のSST1200時間の腐食試験を行い片面あたり50 g/m²の付着量の合金化亜鉛めっきを900℃で5分間加熱した試料、GA50材、SPC材を比較し、最大腐食深さはホットスタンピング材とGA50がほぼ同等レベルであることを示した。しかし、ホットスタンピングに供された亜鉛めっき鋼板の耐食性は劣位と評価されている報告もあり、それを改善する手法としては加熱温度を下げたセミホットスタンピング技術が紹介されている。Kolleckら¹⁴⁾は様々な条件で熱処理した亜鉛めっき鋼板を塩水噴霧試験(腐食試験条件は明記されていない)に供して、600℃で5分間の加熱条件では赤錆の発生は観察されなかったが、それより高温あるいは長い加熱時間では赤錆の発生が避けられなかったと報告している。セミホットスタンピングの場合、加熱温度は500℃～600℃程度なので焼入れによって高強度を得ることは出来ない。ただし、析出制御などの組織制御を駆使することにより800 MPa～1000 MPa級のセミホットスタンピング部品の開発は進められ、1200 MPa級の実現も可能という報告がなされている^{13, 14)}。また、セミホットスタンピングは同じ強度の冷延鋼板に比べてプレス荷重が半分程度なので形状凍結性は比較的優れ、特に金型による冷却が必須でないので高いプレススピードが可能で生産性の問題は回避できる。

5 ホットスタンピングの今後の課題

前章で見たように1500 MPa級の補強部材へのホットスタ

ンピングの適用は既成技術として完成されつつある。今後更なる適用範囲の拡大を図るには、①強度範囲の拡大、②ホットスタンピング成形性の向上、③生産性の向上などが主な課題となる。強度範囲の拡大に関しては2つの方向があり、一つは更なる高強度化を狙い2000 MPa級を目指す開発で、この場合靱性や遅れ破壊が課題になると思われる。もう一つの方向は低強度側への拡大で、今でも形状凍結性で問題を抱えている780 MPa級超のハイテンへの適用が対象になる。この場合、適用拡大の是非は後述する生産性の課題を含めて、部品単価が現状のプレス成形とホットスタンピングでどちらが安価になるかに依存する。

ホットスタンピングの成形技術は開発の堵についたばかりで、系統的な成形技術の研究開発はこれからという段階にある。冷間プレス成形に関してはその技術の開発に計算機シミュレーションが有効に用いられ、試作コストの削減ならびに開発時間の短縮に大いに役立った。しかし、ホットスタンピング成形の場合、温度変化を連成して解く必要があり計算時間が長くなるだけではなく、金型と鋼板の接触具合に依存する熱伝達係数や摩擦係数の決め方などに不確定な因子が多く含まれ高精度のシミュレーションの実現には課題が多く、その克服に努力がなされている^{11, 23-26)}。

生産性の向上に関しては2つの課題の解決が鍵になる。一つはタクトタイムの短縮で、今ひとつは後加工の簡省略である。ホットスタンピングのタクトタイムを増大させているのは、形状凍結性を確保するために部材を金型中で冷却してマルテンサイト変態させる必要があり、マルテンサイト変態が終了する低温まで金型で挟んでおく必要があるためである。冷却時間の短縮のためには金型の強冷却が必要で、金型の内部に配管を施し、冷却を強化することが考えられるが、金型の製作費ならびに製作時間とのバランスが問われる。部品一つあたりの製造時間の短縮には2個取り、4個取りなど一回のプレスで数個の部品が製造できる工夫もなされている。このようなことが可能なのも変形抵抗が低くプレスへの付加が小さいホットスタンピングの長所である。

強度が高いためにトリミング、ピアシングなどの後加工を超ハイテン部品に施すことはプレスでは大きな加工荷重や金型寿命の短縮を意味し容易ではない。そのため現在、欧州ではレーザ切断が多用されている。しかし、レーザ切断は生産性を著しく阻害するのでホットスタンピング前にプレスでトリミングやピアシングを行い、その位置や寸法は事前の成形シミュレーションで予測する試みがなされている。前述したように現状では成形シミュレーションの精度に問題があるので、精度が要求されるところは後加工を回避することが難しく、その点でも成形シミュレーションの高精度化は重要な開発課題である。

6 結言 (ホットスタンピングの将来性)

以上の問題点が解決されれば、ホットスタンピングによる部品の製造は更なるハイテン化の主役になることは間違い無い。なぜならば、図15、16が示すようにこの成形技術の活用により、ハイテン化を進めてきた関係者が描いていた夢が実現するからである²⁷⁾。すなわち、超ハイテン域における強度-延性バランスの抜本的な改善が果たせ、かつ従来のプレス技術では物理的に相容れなかった形状凍結性と高強度化の問題を完璧なまでに解決できる。本技術は自動車部品への更なるハイテン化のブレークスルー技術であり自動車軽量化の切り札である。今後この技術を成熟させ、汎用化を進めるには設計者、生産技術者、そして材料技術者の有機的な連携が鍵になると思われる。

参考文献

- 1) 鈴木正美：ふえらむ，10 (2005)，716.
- 2) 瀬沼武秀：ふえらむ，8 (2003)，289.
- 3) 瀬沼武秀，高橋学：まてりあ，44 (2005)，448.
- 4) 吉田亨，片山知久，橋本浩二，栗山幸久：新日鉄技報，378 (2003)，25.
- 5) 野中俊樹，後藤貢一，谷口裕一，山崎一正：新日鉄技報，378 (2003)，12.
- 6) 赤水宏，上妻伸二，中屋道治，向井陽一：材研 湯瀬文雄，信大 杉本公一：CAMP-ISIJ，18 (2005)，1479.
- 7) 末廣正芳，真木純，楠見和久，大神正浩，宮腰寿拓：新日鉄技報，378 (2003)，15.
- 8) 小島啓達：J. of JSTP，46 (2005)，595.
- 9) X. Bano and J. P. Laurent：Proc. Of 39th Mechanical Working and Steel Processing Conf. vol XXXV，Indianapolis，(1998)，673.
- 10) D. Cornette，H. Hourman，O. Hudin，J.P Laurent and A. Reynaert：SAE Tech Ser，SAE-2001-01-0078，(2001)，19.
- 11) P. Ravier，L. Garcia Aranda and Y. Chastel：Proc. IBEC2003，Makuhari/Japan，(2003)，261.
- 12) L. Vaissiere，J. P. Laurent and A. RReihardt：IBEC2002-01-2048.
- 13) G. Schiessl，T. Possehn，Th. Heller and S Sikora：Proc. IDDRG，(2004)，158.
- 14) R. Kolleck，D. Steinhoefer，J-A. Feindt，P. Bruneau，T. Heller and F. Lenze：Proc. IDDRG，(2004)，167.
- 15) 中嶋勝司：CAMP-ISIJ，17 (2004)，980.
- 16) 藤根学，林壮一，須藤俊太郎，大橋豊：Toyota Technical Review，53 (2004) 219，40.
- 17) 楠見和久，山本修治，竹下哲郎，中村修一，阿部雅之：CAMP-ISIJ，18 (2005)，556.
- 18) 小山田圭吾，柳本潤：CAMP-ISIJ，18 (2005)，405.
- 19) T. Asai and J. Iwaya：Proc. IDDRG，(2004)，344.
- 20) S. Yamasaki and T. Takahashi：Tetsu-to-Hagane，83 (1997)，454.
- 21) 市川正信，菅野公雄，山崎信昭，尾林彰，須藤俊太郎，小島啓達，今井和仁：自動車技術会，学術講演会前刷集，No.83-04，(2004)，13.
- 22) 今井和仁，吉川幸宏，土岐保：CAMP-ISIJ，18 (2005)，557.
- 23) M. Erisson，M. Oldenburg，M. C. Somani and L. P. Karjalainen：Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.，10 (2002)，277.
- 24) L. Garcia Aranda，P. Ravier and Y. Chastel：Proc. IDDRG，(2003)，155.
- 25) J. Wu，L. Zhang，J. Chen and W. Wang：SAE Technical Paper Series，(2004)，No. 2004-01-0168.
- 26) 大沢勝久：54回塑加連講論，(2003)，449.
- 27) 瀬沼武秀，末廣正芳：自動車技術会，59 (2005) 11，25.

(2005年11月24日受付)

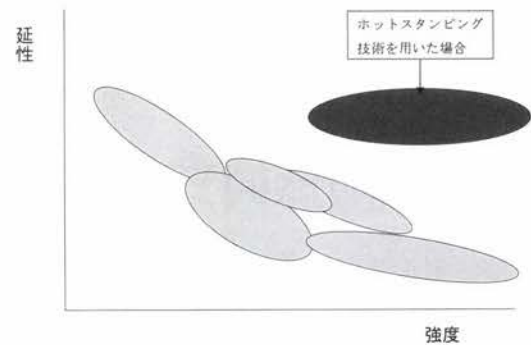


図15 強度と延性の関係 (模式図)

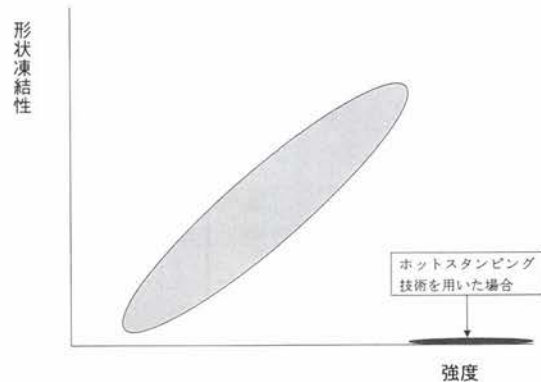


図16 強度と形状凍結性の関係 (模式図)