

平成 25 年度 公益財団法人 溶接接合工学会 第 24 回セミナー
「自動車の軽量化を支える接合技術の最前線」

主催 (公益財)溶接接合工学会

共催 (公益財)国民工業振興会

後援 (一般社)溶接学会、(一般社)日本溶接協会、
(公益社) 日本技術士会

開会挨拶 東京大学 名誉教授

野本敏治氏



野本敏治東大名誉教授



平田好則阪大大学院教授

司会 大阪大学大学院工学研究科 教授

平田好則氏



講演

1.趣旨説明

新日鐵住金(株)

野瀬哲郎氏

自動車などの輸送機器の軽量化は、省エネルギー・排出 CO2 削減など、持続可能な社会の発展に於いて重要な課題となっている。軽量化の実現には、高強度鋼板の適用による薄板化、軽量素材の複合化など新しい構造材の適材適所での活用が柱となってきた一方、軽量化の前提として、供用時はもちろん衝突時においても高い安全性の確保が求められている。

鋼板は、成形加工性、耐食性に加え、衝突時のエネルギー吸収能にも配慮しつつ高強度化が図られてきており、引張強度が 1 ギガパスカル(GPa)を超える高強度鋼板の実車適用がバンパー、センターピラー、サイドルーフレール、フロントルーフレールなどのボディ系を中心に進みつつある。鋼板に対して比重が約 1/3 のアルミニウムも、ドア、エンジ



ンフード、フェンダー、トランクリッドなどの外板パネル系やサブフレーム、サスペンション部品などの足回り系への適用が進みつつあり、一部では、鋼板とアルミニウムを複合化した部材も実車適用されつつある。1 ギガパスカルを超える高強度鋼板同志や鋼板とアルミニウムの溶接部では、従来の接合技術をそのまま適用するのでは対応できないケースも想定されている。このような中、高強度鋼板、軽量素材のパフォーマンスをできるだけ発揮可能な接合技術の開発も進められてきており、一部実用化も進みつつある。

本セミナーでは、自動車の軽量化を支える新しい素材及びその接合技術について、国内外の適用状況を探るとともに、材料別の接合技術の開発状況、接合部の信頼性確保状況についての具体的な取り組み例を挙げて紹介戴き、今後の輸送機器軽量化の視点からみた接合技術の開発の方向性を検討したい。

2.自動車向け鋼板高強度化の最前線

新日鐵住金(株)

高橋 学氏

自動車の燃費向上への強い要求と規制強化への対応は、近年のこの分野における最も重要な活動の一つであり、エンジンをはじめとした各種駆動系部品でのエネルギー損失低減とともに、新たな動力源の導入、ハイブリッド自動車や電気自動車等の市場導入も加速している。しかしながら、動力源が変化した場合でも省エネルギーは重要な意味を持ち、現在進められている各種燃費向上のための技術開発の多くは動力源が変化しても有効な手段として存続すると考えられる。車体の軽量化は直接的に自動車走行時の消費エネルギー削減につながることから重要な燃費向上対策の一つと考えられている。



講演では、自動車車体軽量化に向けた鋼板の高強度化及び高機能化の動向、これら高強度鋼板を適用する際に重要となるプレス成型技術や溶接技術についても説明された。特に、高強度化が有効な耐衝突部品では、衝突時に大きな塑性変形をうける場合と、変形を極力小さくするための部品とに分類され、このような異なった設計思想の元に利用される高強度鋼板の特徴について説明された。

また、自動車を取り巻く環境として、自動車の安全性や燃費向上に関する社会的要請とそれを受けた自動車メーカーが考える鋼板の高強度化動向について解説された。

鋼板の高張力化が自動車車体の軽量化や安全性向上につながる理由について、圧潰吸収エネルギーの鋼板強度依存性、軸圧潰部品への高張力鋼の適用による軽量化例により説明された。衝突時の乗員の安全性向上に対しては、自動車衝突特性評価方法が導入されており、各種の冷間プレス用高強度鋼板が開発されている。プレス成型性に優れた高張力鋼として、DP(Dual Phase)鋼、TRIP(Transformation Induced Plasticity)鋼があり、部品形状に合わせて延性又は穴広げ性に優れた鋼板が選択される。穴広げ性や曲げ性を担保しながら延性を向上した低合金 TRIP 鋼(冷延)も提案されている。また、バンパー補強材に適用された TWIP(Twinning Induced Plasticity)鋼も開発されている。

高張力鋼の適用拡大を支える利用技術として、鋼板の高強度化は生産技術面でいろいろな課題を顕在化させている。これらの中で、特にプレス成型における課題と対応技術、更には材料としての対応の考え方及び溶接技術の最近の進歩についても解説された。プレス加工技術としては、成形時の割れやしわ発生は、経験的な手法でも解決可能であるが、形状凍結性は鋼板の高張力化によって加速度的に困難さが増しており、各種の加工技術からの対策が取られている。

溶接技術としては、スポット溶接、レーザ溶接、接着、機械接合、摩擦攪拌接合等が適用されている

が、主力はスポット溶接であり、スポット溶接の信頼性が車体全体の信頼性を左右するので、各種の検討が行われている。

最後に、自動車用鋼板の高強度化と共に新たな課題として認識され始めている耐水素脆化特性や耐疲労特性について現状どのように取り組まれているかを概説された。

3.自動車におけるアルミ化の最前線

古川スカイ(株)

戸次洋一朗氏

地球温暖化のための燃費規制の強化に伴い、自動車軽量化は今後更に進展することが予想される。アルミニウムは自動車軽量化にとって欠かせない材料であり、既に鋳物エンジン等に大量に使用されている。一方、板、押出し材等の展伸材は一部の車種、部材へ限定的に使用されているが、今後パネル類、骨格部材などへの適用が飛躍的に拡大することが期待されている。この分野は主に鋼材が使われており、アルミニウムは常に成形性、接合性などを比較され、「使いづらい」との評価を受けている。アルミニウムの使用を拡大するためには、この「使いづらさ」を克服することが重要である。講演では、アルミニウムに関する基礎的な知識を解説し、板材を中心に今までに開発されてきた材料、技術、今後期待される技術を、事例を交えて紹介された。



アルミニウムは、地殻に最も多く含まれる金属であり、将来の枯渇の心配がない。特徴としては、軽く、熱伝導性、電気伝導性が高いことが挙げられ、合金化することで強度も付与でき、他の金属材料と比較して比強度が高い。特にパネル類に使用した場合、鋼材の 1/2~1/3 の重量となり、軽量化効果が大きい。一方、伸び、ヤング率が低く、鋼材と比較するとプレス成型性が劣っている。アルミニウムを自動車に適用する際には、このような特徴をよく認識することが重要である。

自動車用アルミニウム材料としては、自動車パネル用としては中強度で成形性の良い 5000 系合金、6000 系合金が使用されており、近年では塗装焼付けの際に時効硬化する 6000 系が主流となっている。6000 系合金は常温でも時効硬化するため、時間の経過とともに特性が変化し、特にヘム曲げ性の低下が問題となっている。このヘム曲げ性は集合組織の影響を強く受けることが解明され、製造プロセス上の対策がとられている。また、6000 系合金はリジニングマークと呼ばれる成型時に生じるスジ状模様が課題とされ、これに対して製造途中で成形する再結晶組織の微細化等で対応している。

自動車用の材料、成形、接合技術に関して日々研究開発が続けられており、その中でいくつかの例を紹介された。材料技術の例としては溶湯から直接板材を製造する連続鋳造圧延材、クラッド鋳造技術によって製造された多層材が挙げられる。これらはコスト低減、成形性、溶接性向上などの効果が謳われている。成形技術としては、ブロー成形があり、プレス成型性の劣るアルミの意匠性を大きく向上させている。接合技術では、アルミは鋼材で一般的に用いられるスポット溶接性が劣るため、機械的接合、リベット接合などが多用される傾向がある。そのためコスト、作業性、信頼性の課題があり、それを解決するために摩擦攪拌溶接(FSW)、レーザー溶接等が開発されてきた。さらに、今後鋼材や樹脂などと適材適所化するマルチマテリアル化が進むと考えられており、異材接合技術の確立が重要と指摘されている。

今後期待されるアルミニウムに関する新技術としては、持続可能社会、低炭素社会の実現に向けて、リサイクルの必要性が強まってくる。リサイクルによる不純物元素増大への対応や、アルミの普及を促

進させるための低コスト製造技術がさらに重要性が増してくることが予想される。そのために集合組織制御、急冷凝固などの新プロセスの基礎的な研究が行われており、今後の発展が期待されている。

4.自動車におけるスチール/アルミニウム異種金属接合の事例

(株)本田技研研究所

佐山 満氏

自動車は、人々の生活を便利に豊かにしてきたが、近年では、環境問題や資源問題の大きな部分を占めているとされている。将来も引き続き、自動車が移動の手段として活用されるために、環境負荷の低減と省資源が求められている。これらにこたえるために、エンジンの効率向上と走行抵抗低減を両輪として推進している。走行抵抗低減には空力特性向上と車体軽量化技術が重要である。軽量化技術は、安全性の向上を担保しながら、構造の合理化と適材適所に軽量素材を配置する事で進められている。これらを実現させているのが接合技術であり、従来の異種材接合方法に加えて、新しく開発した摩擦撚拌接合(FSW)による異種材接合方法について、欧州車での適用事例とサブフレームに適用した技術を紹介された。



自動車軽量化の背景としては、地球温暖化防止や化石燃料の枯渇対策として省燃費化を進めていく上で車体の軽量化が必要である。軽量化を達成するために、軽量素材を適所に適用する事例が増えている。

接合技術を投入するエネルギーと接合方法により分類してみると機械的接合が異種材接合に広く使われている。特に、欧州車に於いて多くの適用事例があり、アウディやポルシェでは、車体全体が鋼材とアルミニウムのハイブリッド構造になっている。

ホンダにおけるサブフレームの軽量化展開について詳細説明された。ハイブリッドサブフレームについて4つの新しい技術を開発して軽量で高靱性なハイブリッドフレームを完成させた。

- ① FSW を用いたスチールとアルミニウムの異種金属接合技術の確立
- ② 腐食因子を接合部に侵入させない構造を確立し、防錆性能を向上
- ③ 産業用ロボットを使ったFSWシステムを開発して、省スペースで量産を確立
- ④ 異種金属接合の良否を判定する非破壊検査技術を確立し、短時間で確実な判定が可能になり量産での全数検査に適用

以上の各種の検討の結果として、サブフレームを旧型に対して、25%の軽量化を達成した。同時に、サスペンション取り付け部の剛性を20%向上させた。また、効率の良いFSWの適用や溶接長の削減により、製造時の電力を50%削減できた。

5.自動車向けアーク溶接技術の最前線

(株)神戸製鋼所

山崎 圭氏

自動車分野の溶接に適用する次の3種の溶接法を紹介された。

- ① 純Ar-MIG溶接法による継手耐食性・塗装性の向上

自動車の足回り部には、車体重量を支える重要な役割があり、錆の進行によって鋼板板厚が減肉すると、最終的には重量を支えられなくなって破断し、大きな事故を引き起こす可能性も考えられる。従って、防錆処理は自動車の軽量化を果たすうえで非常に大きな技術課題である。しかし、自動車部品に施される防錆手段としての電着塗装は、鋼母材に対しては有効であるが、アーク溶



接継ぎ手部ではその効果が極めて限定的であり、その最大の理由は溶接スラグの存在と言われている。本命題に対し、100%Ar シールドガスとフラックス入りワイヤを用いた MIG 溶接法を開発し、アーク安定性メカニズムとスラグレスによるとスラグ生成改善効果について報告された。

② 純 Ar-MIG 溶接法による継手疲労強度の向上

燃費向上による CO2 排出削減を目的として、近年の自動車軽量化ニーズは更に高まり、その手段として鋼板の高張力化による板厚減が検討されている。しかし、疲労特性は鋼板強度が向上しても溶接継ぎ手になると殆ど改善されない性質があり、足回り部品の高張力鋼化と板厚減小の進展を阻害する大きな要因となっている。そこで、上記の純 Ar-MIG 溶接法を用いて止端部での応力集中を緩和し、更に、低温変態効果を利用して止端部残留応力の制御を試みた疲労強度改善効果について報告された。

③ 亜鉛めっき鋼板溶接部の気孔及びスパッター低減

自動車に用いられる鋼板には、亜鉛メッキ鋼板が多く用いられている。近年、長期品質向上、さらには軽量化のための薄板化をはかるに必要な措置として亜鉛めっき化率が高まりつつある。しかし、亜鉛めっき鋼板の溶接では気孔欠陥が発生しやすい上、スパッタが極めて多く発生するという欠点がある。そこで、溶接ワイヤ組成、パルス電流波形、シールドガス組成の最適化を図り、気孔欠陥の低減とスパッタ低減を両立する溶接プロセスを開発し、X線イメージング装置を用いた気孔形成現象の観察結果と気孔及びスパッター低減メカニズムについて紹介された。

6.自動車向け接着技術の最前線

住友スリーエム(株)

今村健吾氏

接着剤による接合は、様々な接合手段のうちの一つとして従来から広く活用されており、例えばボルト・ナットや溶接などのような物理的な接合と比較して、面接合により接合部の応力をなるべく分散させることができ、またその応力分散によって、材料の疲労による破壊を抑制することができる等の利点があることは良く知られている。

近年、自動車ボディ等の軽量化の目的で使用頻度が増えてきている異種金属材料同士の接合やプラスチックの接合といった場合に特に接着剤の果たす役割が改めて注目されている。講演では、接着剤が果たす役割に焦点を当て、その機能を効率よく発揮できるような新しい接着剤開発への取り組みについて紹介するとともに、有機高分子材料であるための限界についても説明された。



典型的な 1 液熱硬化型エポキシ接着剤の接合強度を抵抗スポット溶接と比較した場合、スポット溶接 1 点に必要な面積を接着した試験片のせん断引張試験では、接着接合の場合の引張強度とスポット溶接 1 点の場合の引張強度とがほぼ同等レベルとなる。ただし、その強度の被着体厚さ依存性は、接着接合の方がスポット溶接接合よりも小さく、スポット溶接では被着体の厚さが薄くなるにつれて接合強度が大きく減少するのにたいして接着接合の場合の低下はそれほど顕著ではない。これはスポット溶接では、溶接された部分のみの局所的な接合であるために力がこの部分に集中して被着体の局所的な破壊が発生するのに対して、接着剤は接合面全体に力が分散するためである。

通常の接着剤は、高分子材料であるため金属材料と比較すると、一般に耐熱性、耐湿性に劣る問題があり、この劣化を考慮に入れた強度設計が必要になる。また、非破壊検査で接着剤の適切な使用を確認するのが難しい問題があり、更に接合面に被着体表面を清浄にしておく必要がある。接着剤硬化(固化)

に時間がかかることがある等の工程上の課題も存在する。これらの弱点を明確に理解した上で、用途に応じてうまく使いこなすことが重要である。

一方、次世代の自動車づくりのための材料選択の方向は、低燃費を目的とした軽量化やリサイクル性が指向され、特に、軽量化のためのマルチマテリアル化やハイテン材の利用が進みつつあり、これらの材料の接合において接着剤の占める役割は益々重要になってきている。しかし、異種材料同士の接合に際しての注意点は、その被着体同士の線膨張係数の差であり、この差が非常に大きい場合に歪による被着体の変形等が起きるため、熱硬化型の接着剤を用いることで解決される。加熱なしで硬化させることができるため、接着剤同士の線膨張係数の差は硬化時に問題にしなくてもよくなる。このような2液型接着剤の代表的な例としては、エポキシ系の他にアクリル系が挙げられるが、一般に、接着強度や耐久性はエポキシ系の方が優れていることが多いが、硬化速度はアクリル系の方が速いため、用途に応じて使い分けることができる。

アクリル系2液型接着剤の中で特徴的なものとして、PPのような低表面エネルギーの被着体にプライマー等の前処理なしに強固に接着することができるスコッチウェルド™ DP-8010 クリアという製品が上市されている。この接着剤は、PP以外にも様々なプラスチックに接着可能であり、様々な被着体の組み合わせの様に適用可能である。

最後に、フィルム状接着剤は、その硬化後の強度は液状接着剤と同等のものであるが、従来の液状接着剤にない特徴から、ある種の用途に実用化されている。もともと航空機体のハニカム部接着らの用途に用いられてきたが、最近は自動車用途にも適用されつつある。

まとめ

大阪大学教

平田好則氏

平田教授から、まとめとして、現在関係しておられる経済産業省の平成25年度「革新的新構造材料等技術開発」の内容を説明された。本事業では、自動車、航空機、鉄道車両等の抜本的な軽量化(半減)に向けて、革新的なアルミニウム材、チタン材、マグネシウム材の開発とその接合技術の開発を目的としており、今年の7月に募集があり最終的に19社、1独立行政法人からの提案が採択され、新しく認可された新構造材料技術研究組合で、10年計画で、予算60.5億で研究実施することになる。

本研究は、グリーンイノベーションの一環として、自動車をはじめとする輸送機器の軽量化を通して、エネルギー使用、炭酸ガス発生量の削減を目的としており、本日各社から報告された技術開発状況を更に深化、発展させることが可能と考えられ、各社の協力を要請された。



(講演会聴講風景)

閉会挨拶

野本敏治氏



閉会挨拶(野本東大名誉教授)

懇親会(ニューオータニイン東京 おおとりの間)

司会

吉武進也氏

(公益財団法人国民工業振興会専務理事、
公益財団法人溶接接合工学会振興会専務理事、
公益社団法人日本技術士会参与)

初めのことば 井上裕之氏

(公益財団法人国民工業振興会 理事長、
東京商工会議所特別顧問・前副会頭、
愛知産業株式会社 社長)



挨拶

南二三吉氏

(大阪大学大学院 教授)



乾杯

馬場信氏

(産報出版株式会社 社長)



会食・懇談



中締め

野瀬哲郎氏

(新日鐵住金株式会社、鉄鋼研究所 接合研究部 部長)

