

(技術資料)

超ハイテン鋼板向け電着塗装性向上溶接プロセス

古川尚英*1・井海和也*1

Welding Process Enhancing Electrodeposition-coating Performance for Ultra High Tensile Strength Steel Sheet

Naohide FURUKAWA・Kazuya IKAI

要旨

超ハイテン鋼板のガスシールドアーク溶接継手で、スラグが増加し電着塗装性を阻害する課題に対し、スラグ発生量を低減し電着塗装後の耐食性能を向上させる溶接技術を開発した。シールドガスのアルゴンガス比率を95%まで増加させた溶接プロセス（ハイアルゴン溶接プロセス）を採用し、さらに溶接材料は、酸素との親和性の低い合金元素添加によって溶接継手の強度を上昇させる成分設計とした。さらに、溶接材料の生産性にも配慮し、自動車分野で一般的に採用されているソリッドワイヤではなく、複合ワイヤによる実用化を図った。本稿では、溶接プロセスと溶接材料の組み合わせで実現した、電着塗装性と疲労強度を両立する溶接技術について解説する。

Abstract

In gas-shield arc-welded joints of ultra-high tensile-strength steel sheets, there is an issue of increased slag generation, which inhibits electrodeposition coatability. To address this issue, a welding technology has been developed to reduce the amount of slag generated and improve corrosion resistance after electrodeposition coating. A welding process has been adopted in which the argon gas ratio in the shielding gas has been increased to 95% (high-argon welding process). The welding consumable has been designed to increase the strength of the welding joint by adding alloying elements that have low affinity with oxygen. In addition, the productivity of welding consumables has also been taken into consideration, and practical application has been sought using composite wires rather than the solid wires that are generally used in the automotive field. This paper describes a welding technology that combines electrodeposition coatability and fatigue strength, realized by a combination of the welding process and welding consumables.

検索用キーワード

超ハイテン鋼板, ハイアルゴン溶接プロセス, 低スラグ, 複合ワイヤ, 疲労強度, 電着塗装, 耐食性能

まえがき = 近年、自動車分野では、環境規制強化と衝突安全基準の厳格化に伴い、使用する材料の高強度化と軽量化のニーズが高まっている。車体重量を支える足回り部品には、一般的に鉄鋼材料が使用されており、高い疲労強度や剛性、耐食性を同時に満足することが求められる。複雑な形状を有する部品の疲労強度と剛性の向上には、鋼板強度だけでなく、溶接金属部の強度増加が必要となる。また、鋼板の高強度化により薄板化は可能であるが、耐食性が現状と同じであれば、板厚の減少分だけ腐食の進行により早期に耐久限界を迎えることになる。さらに走行中の飛び石などに起因する物理的損傷、沿岸地域での潮風、寒冷地での融雪剤などを考慮すると、より一層の耐食性能向上が求められる。

自動車用足回り部品の接合には、一般的にソリッドワイヤを使用したガスシールドアーク溶接が用いられている。超ハイテン鋼板用の溶接材料をソリッドワイヤで製造する場合、ワイヤ強度が高くなる傾向にある。これは、合金添加による線材の硬さ上昇に加え、伸線時の加工硬化によるものである。溶接材料としては、溶接時の良好なワイヤ送給性や作業性を得るために、製品径で適正なワイヤ強度となっている必要がある。しかし、合金添加の多いワイヤでは、適正なワイヤ強度にするために、伸

線途中の焼鈍軟化処理が必須となる。さらに、途中一度の焼鈍だけで十分に低い適正なワイヤ強度とならない場合、複数回の焼鈍が余儀なくされることがある。その結果、ワイヤの生産性が大幅に低下し、溶接ワイヤのコストアップとなる。そこで当社では、980 MPa級鋼板用溶接材料の開発に向けて、複合ワイヤでの材料設計を試みた。その材料設計は、ワイヤ製造時の成型性を考慮し、軟鋼の帯鋼材を外皮に、合金添加元素を混合したフラックスをコア部とするものである。複合ワイヤの長所と短所をソリッドワイヤと比較し表1に示す。加工が難しくなる高強度材では、複合ワイヤの方が経済的であるだ

表1 ソリッドワイヤと比較した複合ワイヤの長所と短所
Table 1 Merits and demerits of composite wire against solid wire

		Solid wire	Composite wire
Typical cross section			
Formability	Mild steel	○	○
	High tensile steel	○	●
Production cost	Mild steel	○	△
	High tensile steel	○	●
Deposition rate		○	●
Wire stiffness		○	△

[Judge standard] ○: Better - ○: Standard - △: Poor - ×: Bad

*1 溶接事業部門 技術センター 溶接開発部

けでなく、溶着速度が速くなるという利点がある。複合ワイヤの短所としては、ワイヤの剛性が低下することが挙げられ、直進性がやや損なわれる傾向となる。この点については、実部品メーカーで溶接性の確認も行って評価した。本稿では、上記複合ワイヤと溶接プロセスにより、超ハイテン鋼の溶接においても、優れた耐食性能と疲労強度を有する溶接継手を提供する溶接技術について紹介する。

1. 要素技術

1.1 耐食性向上のコンセプト

耐食性向上に向けた基本的な考え方を、溶接工程とその後の電着塗装工程に分けて、図1に示す。ガスシールドアーク溶接では、溶融金属中への大気混入を防止すべく100%CO₂や、80%Ar-20%CO₂のシールドガスが一般的に用いられる。CO₂はアーク直下では、COとOに解離する。酸素はアークを安定にするいっぽうで活性ガスであり、Si、Mnをはじめとする合金添加元素と結合し、スラグの生成を助長する。Siを主体とする酸化物のスラグは絶縁性が高く、このようなスラグがビード表面に存在すると、溶接後の電着塗装工程で塗膜が形成されない。そのため電着塗装性の向上には、溶接ビード上のス

ラグを極力減らすことが望ましい。この課題に対し、95%Ar-5%CO₂のシールドガスを採用し、溶接時のアークを安定にしつつ、活性ガス含有量の低減でスラグの発生量を抑制したハイアルゴン溶接プロセスが実用化されている¹⁾。その後の電着塗装工程では、電着塗膜の焼き付け時に塗膜の粘性が低下し流動性が向上する性質を利用して、絶縁物を被覆する手法が知られている²⁾。

ハイアルゴン溶接プロセスにてスラグを極小化したうえで、電着塗膜を厚くし、流動する塗膜の量を増やすことで未電着部のスラグを被覆するという考え方である。

1.2 溶接材料

不活性ガス比率を高めたハイアルゴン溶接プロセスの適用により低スラグ化は可能である。いっぽう、溶接材料においても低スラグ化と電着塗装性能の向上のために、種々取り組みがなされている^{3), 4), 5)}。

ハイアルゴン溶接プロセスと組み合わせる溶接材料には、低スラグ化という課題に対し、二つのアプローチが提案されている。またそれぞれの考え方に合わせ、最適な施工条件が見出されている。ハイアルゴン溶接プロセスにおいて、溶接材料面と施工条件面の組み合わせで低スラグ化を図るためのアプローチを表2に示す。

低スラグ化の一つ目の考え方は、不活性ガス比率の増

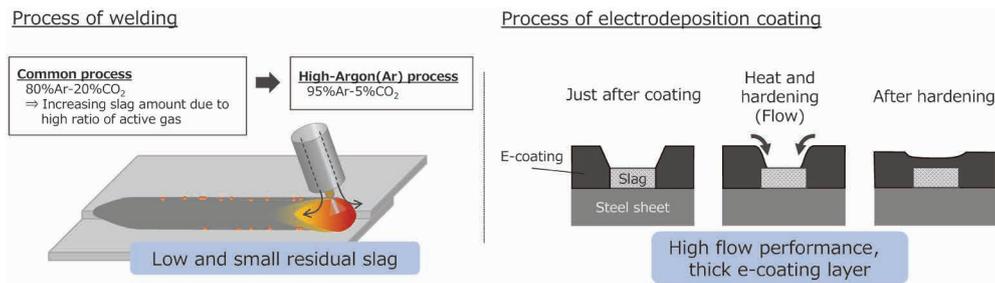


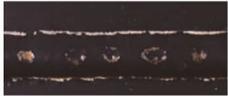
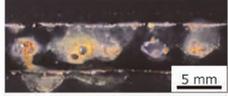
図1 耐食性向上の基本的な考え方
Fig.1 Basic idea to improve corrosion resistance

表2 低スラグ化に向けた2つのアプローチ
Table 2 Two approaches for slag reduction method

Welding process	High-Ar process	
Shielding gas	95%Ar-5%CO ₂	
Wire type	Slag concentrating	Slag deconcentrating
Unique chemical composition in wire	S add.	Ti add.
Gas flow rate	20 (ℓ/min.)	
Size of nozzle	Φ19 (mm)	Φ13(mm)
Welding speed	Normal	Faster
Schematic drawing		
Observation by HSV		

表3 重ね溶接継手の耐食性評価結果

Table 3 Corrosion resistance performance of rap weld joint

Welding process	Conventional MAG	High -Ar process	
Shielding gas	100%CO ₂ or 80%Ar-20%CO ₂	95%Ar-5%CO ₂	
Wire type	Normal YGW12	Slag concentrating	Slag deconcentrating
Base metal	440 MPa grade steel, 2.0 mm ^t		
Bead appearance after e-coating			
Bead appearance after 10 cycles of corrosion test			
Judge*	3	4	5

* [Judge standard] 5(Good) - 4(better) - 3(Standard) - 2(poor) - 1(Bad)

加でスラグの発生量を抑制したうえで、スラグを凝集・回収 (concentrate) し、溶接終端部まで輸送することである。凝集したスラグは、容易に剥離させることが可能である。スラグを凝集させるメカニズムとして、溶接材料面では、ワイヤ中の硫黄を0.020%程度含有した設計としている。硫黄を添加することで溶融池の対流が変化し、微小なスラグが溶接時のクレータ部に凝集し、アークに追従して輸送されるような挙動を示す。スラグの挙動に影響を与える因子として、溶融池対流のほかにシールドガスのガス流速がある。スラグを凝集させ安定して溶接終端部に輸送するためには、ガス流速を小さくすることが有用である⁵⁾。そのため、適用するノズル径を通常サイズよりも大きくすることが推奨される。スラグに上述のような特徴を付与するガスシールドアーク溶接用ワイヤを本稿では、「スラグ凝集ワイヤ」と呼称する。

低スラグ化のための二つ目の考え方は、スラグを溶融池後方へ輸送し分散 (deconcentrate) した状態で積極的にFe系酸化被膜内に取り込むことである。溶接材料面では、SiやMnの酸化物よりも液相線温度が高い酸化物を形成するTiを添加した設計としている。TiはSiやMnと比較し、より高温領域で溶融スラグを形成するため、プラズマ気流の影響をより強く受け、溶融池後方へ移動する駆動力を得ることが可能である。溶融池後方へ輸送したスラグをFe系酸化被膜に取り込むためには、溶融池後方の固液界面付近から大気にさらされるのが良いとされる。山崎ほかの報告⁵⁾によると、溶接速度が高速となる、あるいはノズル径が一定以下になると溶接後のビード外観にスラグが存在しなくなる領域があるとしている。溶接速度の増加とノズル径を小さくすることで、大気にさらされる溶融池サイズが増加し、より積極的にFe系酸化被膜による被覆が促進される。大気巻き込みによる気孔欠陥の発生や機械性能に影響を与えない範囲で、溶接速度の向上を図ることができるため、より合理的な施工とも言える。上述のようにスラグを分散させるような特徴を付与するガスシールドアーク溶接用ワイヤを本稿では、「スラグ分散ワイヤ」と呼称する。

440 MPa級鋼板を用いて作製した溶接継手の電着塗装後および後述する腐食試験後の外観写真を表3に示す。従来のマグ溶接に比べて、ハイアルゴン溶接プロセスを

採用した溶接継手は、大幅に電着塗装性が向上していることが確認できる。また、低スラグ化の二つのアプローチを比較すると、スラグ凝集ワイヤでは、凝集しきれなかった残留スラグ部分からの発錆 (はっせい) が見られている。これに対し、スラグ分散ワイヤでは、スラグが適切に分散・無害化されていれば、良好な耐食性能を有することが確認できる。

超ハイテン鋼板用の溶接ワイヤでは、スラグの増加が想定されるため、より耐食性能の向上が認められたスラグ分散ワイヤを基本に設計することとした。

2. 超ハイテン鋼板用溶接技術

2.1 溶接材料

超ハイテン鋼板用溶接ワイヤとして、成型性に優れた軟鋼の帯鋼材を外皮とし、合金を添加・混合したフラックスの組み合わせで複合ワイヤの検討を行った。試作ワイヤを全溶解した場合の狙い化学成分値を表4に示す。980 MPa級鋼板には所定の強度を得るために合金が添加されており、溶接金属はワイヤ由来の合金成分に加え母材成分の影響も受ける。合金添加が多いため、超ハイテン鋼板の溶接では、必然的にスラグが増加する傾向にある。溶接ワイヤとしては、極力スラグの発生を抑えるべく、酸素との親和性が高いSiの代わりに、炭素やCrで溶接金属の強度向上を検討した。炭素は酸素と結合してもCO₂として気化するためスラグ量への影響は小さいと判断した。Crは比較的酸素との親和性が低く、ほかに親和性の高い合金元素が多く含まれる場合、スラグメタル間反応において、酸化消費されにくい。そのため、酸素との結合は限定的で、ほぼ溶接金属に歩留まることが期待できる。

2.2 実験条件

2.2.1 溶接および電着塗装

マツダ株式会社から提供いただいた980 MPa級鋼板を用いて、水平溶接姿勢による重ねすみ肉継手で実験を行った。溶接条件を表5および図2に示す。溶接ビード上のスラグを画像処理にて二値化し、撮影画像に占めるスラグ面積率を算出した。また、作製した溶接継手に対し、洗浄、脱脂、表面調整、化成処理 (リン酸亜鉛)、洗浄を施し、最終的に黒色カチオン電着塗装を施した

表4 980 MPa級鋼板溶接用複合ワイヤの成分設計値 (mass%)
 Table 4 Typical chemical composition of trial wires for 980 MPa grade steel

Wire	C	Si	Mn	Cr	Ti	Ni, Mo	Ceq.
Wire A	0.08	0.29	1.45	0.10	0.14	Add.	0.54
Wire B	0.09	0.14		0.13			0.55
Wire C	0.09	0.04		0.13			0.54
Wire D	0.08	0.29		0.10	0.54		
Wire E	0.09	0.14		0.13	0.55		
Wire F	0.09	0.04		0.13	0.54		

[JIS/WES] Ceq.: C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/4

表5 重ねすみ肉溶接時の溶接条件
 Table 5 Welding condition for rap weld joint

Welding robot	DAIHEN Almega AX-V6
Power source	DAIHEN Digital Pulse DP400R
Shielding gas	95%Ar-5%CO ₂ , 20 ℓ/min
CTWD	15 mm
Nozzle inner dia.	13 mm ^φ
Torch angle	45°
Base metal	980MPa grade steel, thickness : 2 mm
Current (Voltage)	240 A (24.5 V)
Welding speed	110 cm/min

表7 溶接後および電着塗装後のビード外観
 Table 7 Bead appearance after welding and after e-coating

Ti: 0.14 (mass%)	Wire A Si : 0.29 (mass%)	Wire B Si : 0.14 (mass%)	Wire C Si : 0.04 (mass%)	Less
Slag amount				
After welding				
After e-coating				
Ti: 0.10 (mass%)	Wire D Si : 0.29 (mass%)	Wire E Si : 0.14 (mass%)	Wire F Si : 0.04 (mass%)	Less
Slag amount				
After welding				
After e-coating				

(狙い膜厚: 20 μm)。塗装不良となった領域を画像処理にて二値化し、面積を算出した。

2.2.2 複合サイクル腐食試験 (CCT)

CCTは、試験槽内で塩水噴霧と乾燥、湿潤などの腐食サイクルを繰り返し、金属材料や塗装、めっきなどの耐食性能を加速評価する手法である。本実験において、重ねすみ肉溶接継手部の耐食性能を評価した。供試材には、試作ワイヤA~Fを用いた継手から、スラグ量が少なく電着塗装性が良好であったものを選定した。試験は、JASO M609 (日本自動車技術会規格) を基本条件とし、防錆 (ほうせい) 性能の差が明確に表れる50サイクルまで実施した。決められたサイクル数で試験槽から試験体を取り出し、写真撮影により腐食状況を記録した。

2.2.3 溶接継手の疲労試験

表5に示す溶接条件にて作製した溶接後の試験体より

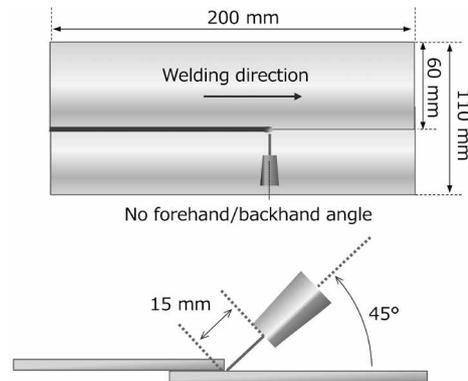


図2 重ねすみ肉溶接時のワイヤ狙い位置
 Fig.2 Wire aiming position when rap weld joint done

表6 曲げ疲労試験条件
 Table 6 Plate bending fatigue test condition

Test temperature	RT	<p>Shape of test piece</p>
Stress ratio	R=0 (pulsating fatigue test)	
Frequency	25 Hz	
Number of cycles to failure	2×10 ⁶ cycles or less than initial torque	

放電加工を用いて疲労試験用の試験片を採取し、応力比R=0の片振りによる平面曲げ疲労試験を実施した。比較材として、440~780 MPa級鋼板用溶接材料として汎用的に使用されるワイヤ (JIS Z3312 G43A2M 16) を供試した。疲労試験条件を表6に示す。

2.2.4 溶接継手部の硬さ試験

疲労試験用サンプルを採取した同一の試験体より溶接継手の断面マクロ試験片を採取し、ピッカース硬さ試験を実施した。硬さ測定位置は、溶接継手のうち疲労強度に影響を与える溶接ビード下側止端箇所とし、溶接金属部、溶接熱影響部、母材部にまたがる領域にて測定した。硬さ測定時の荷重は3 Nとした。

2.3 実験結果と考察

2.3.1 スラグ生成量と電着塗装性の評価結果

重ねすみ肉溶接後および電着塗装後のビード外観を表7に示す。また、画像処理解析にて算出したスラグ面積

率および電着未塗装領域の定量評価結果を図3、図4に示す。強脱酸素元素であるTiおよびSiの低減でビード上の残留スラグ量が低減していることが分かる。電着塗装後のビード外観比較では、残留スラグを含めビード上の大部分が電着塗装されることを確認した。ワイヤA~C (Ti:0.14%添加)では、上板側残留スラグ部分も良好な電着塗装性を示した。これに対し、相対的にスラグの少ないワイヤD~F (Ti:0.10%添加)では電着塗装不良となる領域が散見された。つまり、スラグ残留量が多くても塗装性が良好となる場合があるいっぽうで、スラグ量が少なくても十分な電着塗装性能が得られない場合がある結果となった。

2.3.2 スラグの解析結果

電着塗装性に差異が見られた上板側残留スラグに着目

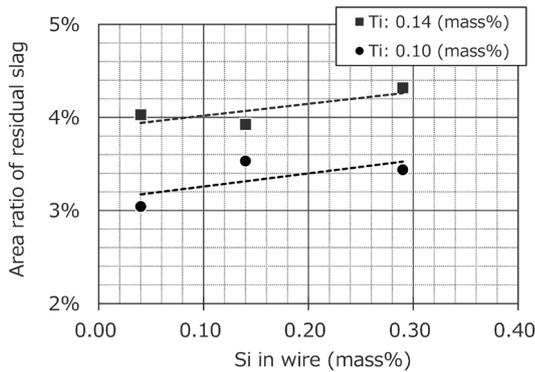


図3 残留スラグの面積率
Fig.3 Area ratio of residual slag

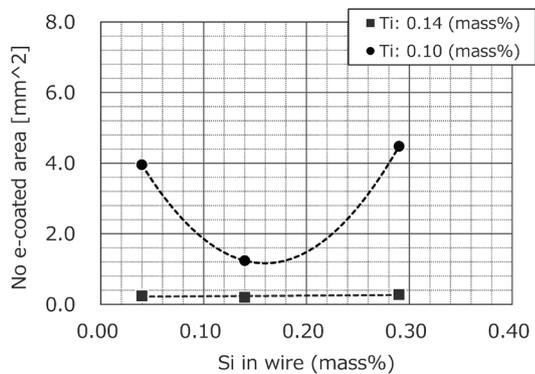


図4 未塗装領域の面積
Fig.4 No e-coated area

し、スラグの断面観察を行った。観察は、電子線マイクロアナライザ (EPMA) による元素マッピングを行った。さらに、サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社製の多変量イメージ解析ソフトウェアCOMPASSを用いて、相分離解析を実施した。

元素マッピングにより同定された元素と質量比を元に、スラグを構成する主要酸化物の比を算出した結果を図5に示す。ワイヤ中Si量の低減にともないスラグ中SiO₂が低減している傾向は確認できるものの、TiO₂やMnOなどの構成比に有意な差は認められなかった。

つぎに、COMPASSを用いて、酸化物相の分布形態を観察した結果を表8に示す。スラグ中の占有率が20%以上の相を抽出した。さらに、相を構成する成分で10%以上となるものを特定し、相を代表する成分として呼称することにした。いずれにおいても、Mn-Ti-Si酸化物相およびMn-Ti酸化物相がスラグを構成する主たる相であることが分かる。ワイヤ中Siの低減にともない、Mn-Ti酸化物相が、スラグ下部(鉄接地側)から上部(電着塗膜接地側)にかけ、デンドライド状に析出する傾向が確認された。また、相の境界が明瞭となる傾向が観察された。電着塗装性が良好であったワイヤA~C (Ti:0.14%添加)のスラグでは、その傾向がより強いものとなった。

これらは、Mn-Ti酸化物相がMn-Ti-Si酸化物相と比べ、より導電性が高い相であると仮定することで説明ができる。導電性を担う経路が三次元的に入り組んでスラグ下

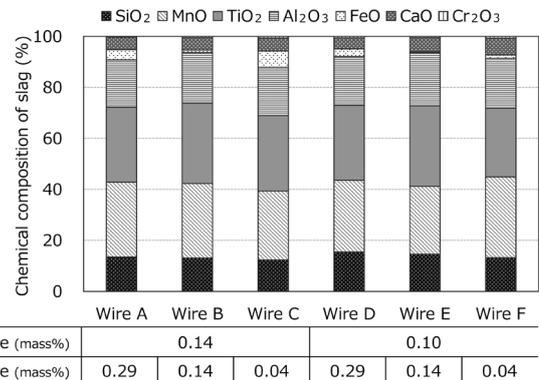


図5 上板側スラグの主成分比率
Fig.5 Percentage of slag elements taken from upper side in the welding bead

表8 スラグ断面のスラグ相解析結果
Table 8 Phase analyzed results at cross sectional slag

Wire	Wire A	Wire B	Wire C	Wire D	Wire E	Wire F
Ti in wire (mass%)	0.14			0.10		
Si in wire (mass%)	0.29	0.14	0.04	0.29	0.14	0.04
Composition image						
Mapping image						
Slag component phase	Mn-Ti-Si Mn-Ti Fe-Mn-Ti Others (Fume etc.)	Mn-Ti-Si Mn-Ti Others (Fume etc.)	Mn-Ti-Si Mn-Ti Fe-Mn-Ti	Mn-Ti-Si Mn-Ti Fe-Mn-Ti	Mn-Ti-Si Mn-Ti	Mn-Ti-Si Mn-Ti Others (Fume etc.)

部から上部に形成された結果、スラグ面積率の増加に反して電着塗装性が良好になったと示唆される。各酸化物相の導電性の定量的解析は今後の課題とし、電着塗装性が向上するメカニズムの解明に取り組んでいく。

2.3.3 複合サイクル腐食試験 (CCT) 結果

980 MPa級鋼板に対して、ワイヤBを用いた重ねすみ肉溶接継手にカチオン電着塗装を施し、複合サイクル腐食試験を実施した結果を表9に示す。従来の440 MPa級鋼板に対して、汎用ワイヤを用いた継手と比較した結果、優れた電着塗装性が確認できた。また複合サイクル腐食試験50サイクル後のビード外観を観察しても、溶接ビード上の残留スラグ起点となる発錆が無く、良好な腐食性能を有することを確認できた。

2.3.4 溶接継手の疲労特性評価結果

重ねすみ肉溶接継手の疲労試験結果を図6に示す。ここでは、980 MPa級鋼板の溶接において電着塗装性と溶接金属強度をバランスしたワイヤBの疲労特性について紹介する。

汎用ワイヤを用いた溶接継手では、440 MPa級鋼板と比べ980 MPa級鋼板と組み合わせたときのほうが、疲労特性が向上することが確認された。

ワイヤBと980 MPa級鋼板との組み合わせでは、同一振幅応力では、汎用ワイヤに比べ、より長寿命側にシフトすることが確認された。また200万回における疲労強度が1.5倍程度向上していることも確認された。

重ねすみ肉溶接継手の断面マクロ観察結果および止端

半径とフランク角の測定結果を表10に示す。重ねすみ肉溶接継手では、溶接止端部の形状が疲労特性に大きく影響するが、今回実施した試作ワイヤの溶接継手では、止端形状に大きな差異はなかった。そのため、鋼板および溶接金属の強度増加で溶接継手自体の耐荷重性が高まり、疲労強度の増加に寄与したものと考えられる。

2.3.5 溶接金属部の硬さ測定結果

溶接継手の下板側止端部付近のビッカース硬さ試験の結果を図7に示す。汎用ワイヤを用いた溶接継手の溶接金属では、440 MPa級鋼板と比較し、980 MPa級鋼板との組み合わせでより硬くなっていることが分かる。これは、980 MPa級鋼板に添加されている合金成分による母材希釈の影響と考えられる。平面曲げ疲労試験にて最も良好な結果を示したワイヤBを用いた溶接継手の溶接

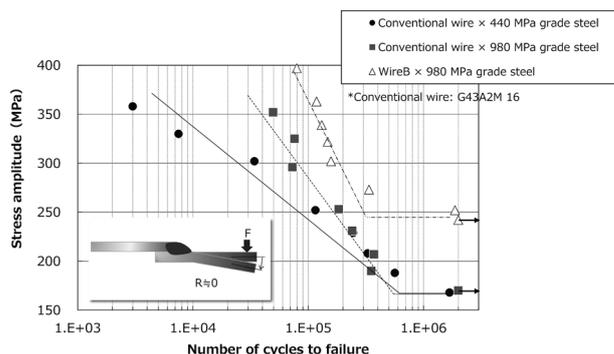
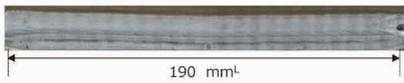


図6 重ねすみ肉溶接継手の疲労強度
Fig.6 Fatigue strength of rap fillet weld joint

表9 ワイヤBにおける溶接継手部のCCT評価結果
Table 9 CCT results of weld joint prepared with WireB

Welding process	High-Ar process	
	Conventional wire for high tensile steel (Slag concentrating)	WireB for ultra-high tensile steel (Slag deconcentrating)
Wire type	Conventional wire for high tensile steel (Slag concentrating)	WireB for ultra-high tensile steel (Slag deconcentrating)
Base metal	440MPa grade steel, 2.0 mm ^t	980MPa grade steel, 2.0 mm ^t
After welding	 190 mm ^t	 190 mm ^t
After e-coating		
After 30 cycle of CCT		
After 50 cycle of CCT	N/A	

*Conventional wire: G43A2M 16

表10 重ねすみ肉溶接継手の断面マクロ観察
Table 10 Cross section of rap fillet weld joint

	Conventional wire x 440 MPa grade steel	Conventional wire x 980 MPa grade steel	WireB x 980 MPa grade steel
	 1 mm	 1 mm	 1 mm
Frank angle (deg.)	150	149	152
Toe radius (mm)	2.0	1.6	2.1

*Conventional wire: G43A2M 16

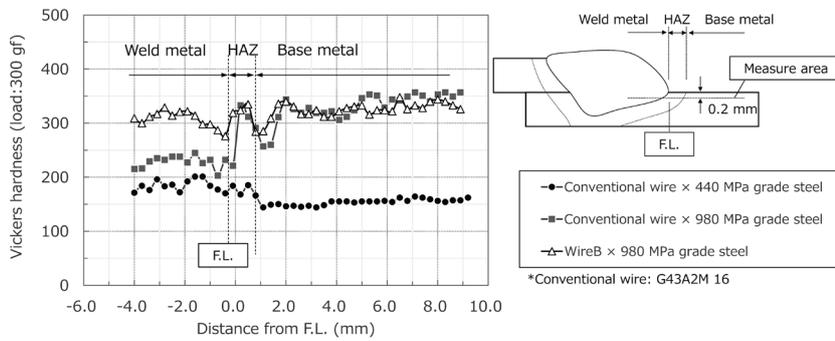


図7 溶接金属下側止端部のビッカース硬さ
Fig.7 Vickers hardness around lower side weld toe

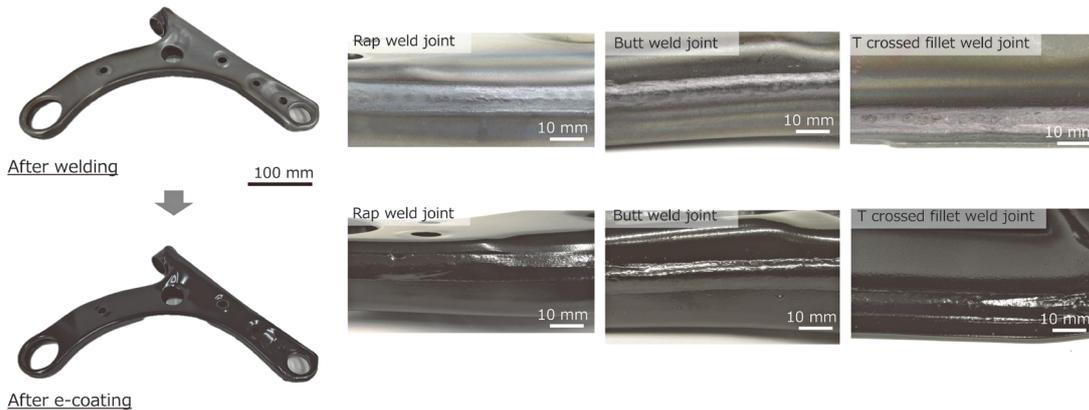


図8 試作ロアアームと各溶接姿勢における溶接ビード外観
Fig.8 Trial Lower Control Arm and bead appearance at unique welding position

金属部の硬さはHV300程度であることを確認した。つまり、応力集中を受ける止端部近傍の溶接金属の硬さを増加させることは、重ねすみ肉溶接継手の疲労特性の向上を図るうえで有効な手段のひとつであると考えられる。

3. 実部品への適用

テストピースに対するワイヤBを用いた実験室評価で、優れた耐食性能と疲労強度の向上を確認できたため、実部品での溶接性評価と電着塗装性を評価した。対象部品には、マツダ株式会社が軽量化アイテムとして取り組む980 MPa級鋼板（板厚2 mm¹）を適用したロアアームにて評価した。980 MPa級鋼板の適用により、従来780 MPa級鋼板で作製した部品と比較し、約25%の軽量化を実現している。

ワイヤBを用いて溶接工程が完了した部品の外観と主要溶接部の外観写真を図8（上）に示す。同部品の製作には、突合せ溶接部、重ねすみ肉溶接部、T字すみ肉溶接部が存在するが、いずれの継手においても良好な溶接性を確認した。複合ワイヤの短所であるワイヤ剛性の低下については、ロボット溶接時の狙いズレが懸念されたが、良好な溶接ビードが得られ実用上問題無い評価を得た。また、部品をカチオン電着塗装した後の外観写真を図8（下）に示す。良好な電着塗装性を有しており、実部品においても、スラグ分散ワイヤとハイアルゴン溶接プロセスの組み合わせに期待される効果を確認することができた。

むすび=自動車用足回り部品の軽量化に向け、超ハイテン鋼板の適用による薄肉化が進められている。高強度化に伴い、鋼板には合金添加がなされ、電着塗装性を阻害するスラグが増加する。また薄鋼板の採用は、穴あき錆（さび）発生までの期間を短くする。このような課題に対し、ハイアルゴン溶接プロセスをベースとし、スラグ発生量を抑制しつつ高強度化を図るとともに、スラグ改質による耐食性能の向上が可能な溶接技術を開発した。また、高強度鋼用溶接材料の生産性と調達コストにも配慮し、溶接材料は複合ワイヤとした。自動車分野では、これまで排気系統の部品においてステンレス鋼用複合ワイヤの適用実績があるが、足回り部品への採用はほぼ皆無であった。複合ワイヤの適用には、部品製作メーカーのご協力もいただき、溶接性や施工能率面で高い評価を受けることができた。本プロセスが、自動車分野における車体重量軽量化へのソリューション技術として認知され、採用の幅が広がることを期待したい。さらに、今後も接合技術を通じて、グリーン社会の実現に貢献していきたい。

最後に、本プロセスの共同開発にあたり、防錆性評価や実部品での溶接性と耐久性試験など各種評価に協力をいただいた、マツダ株式会社、株式会社ヨロズに深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 田中正顕ほか. マツダ技報. 2017, No.34, p123-124.
- 2) 田中正顕ほか. マツダ技報. 2018, No.35, p27-28.
- 3) 鈴木勲一ほか. 神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p64-66.
- 4) 木梨 光ほか. 神戸製鋼技報. 2023, Vol.72, No.1, p81-82.
- 5) 山崎亮太ほか. 神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p98-104.