銅めっきなしマグ溶接ソリッドワイヤ*

黒川 剛志** 興石 房樹** 清水 弘之**
伊藤 崇明** 横田 泰之**

黒川 剛志

興石 房樹

清水 弘之

伊藤 崇明

横田 泰之

Non-copper-coated Solid Wire for MAG Welding*

by KUROKAWA Tsuyoshi**, KOSHIISHI Fusaki**, SHIMIZU Hiroyuki**
ITO Takaaki** and YOKOTA Yasuyuki**

キーワード

溶接材料, マグ溶接ソリッドワイヤ, 環境改善, ヒューム, スパッタ, 銅めっきなし,
ライフサイクルアセスメント (LCA), ワイヤ送給性, アーク安定性, ワイヤ給電特性

1. はじめに

近年、溶接材料の技術課題の中心は高能率化・自動化などによる溶接のコストダウンであった。これにともない、造船・橋梁でのフラックス入りワイヤや鉄骨・自動車・建機でのソリッドワイヤなど、各産業にマグ溶接ワイヤの適用が定着化してきた。21世紀を迎え、世界的に地球環境維持・改善に対する取組みが高まるなか、溶接材料に対する技術課題も「環境」がひとつのキーワードとなってきている。

溶接材料に関して「環境負荷低減」を「製造」「使用」「廃棄」に大別して考えてみると、「製造」におけるライフサイクルアセスメント (以下、LCA)、「使用」における溶接作業環境の向上、「廃棄」における包装材料のリサイクルが重要となる¹⁾。

マグ溶接ソリッドワイヤはワイヤ表面に銅めっきを施すことが一般的である。欧米などでは、銅めっきのないソリッドワイヤも見受けられるが、ワイヤ品質面などの問題もあり、主流ではない。銅めっき処理が必要であった理由としては、溶接時のチップでの通電容易化、ワイヤ耐錆性の向上、さらには製造工程での伸線性確保などが挙げられる。しかしながら、通常銅めっきは電気化学的に施されるために、廃液や電力消費など地球環境負荷の面、さらには有害物質管理の面などから、是非ともマ

グ溶接ワイヤ製造工程から省きたい処理である。また、溶接時に発生・堆積する銅めっき屑はワイヤの送給性を損なう一因ともなっている。

これらを背景として新しく、高品質な銅めっきなしマグ溶接ソリッドワイヤの研究・開発に取り組んだ。ワイヤの品質面では、とくにワイヤ送給性とアーク安定性に着目した。これらは、マグ溶接ワイヤにおいて最も求められている特性である。本報では、本ワイヤの基本的な特性ならびに「環境負荷低減」の視点からの特長について紹介する。

2. 銅めっきなしソリッドワイヤの基本特性

2.1 ワイヤの給電特性

図1に銅めっきワイヤならびに銅めっきなしワイヤの外観を示す。図2に銅めっきワイヤ表面の光学顕微鏡観察結果の一例を示すが、ワイヤ表面にめっき層の裂け目や鉄地の露出が観察されており、ミクロ的には均一な表面とはいえない。図3に、銅めっきワイヤと新開発の銅めっきなしワイヤについて、ワイヤ表面に微小電流を通電したときのワイヤ長手方向の接触電気抵抗を測定した結果を示す。銅めっきワイヤの抵抗値は非常に低い値と比較的高い値で分布しているのに対し、銅めっきなしワイヤの抵抗値は高い値で安定している。この違いは、銅めっきワイヤの表面には図2で示したようなめっき地の裂け目や鉄地の露出した部分が存在しているのに対し、ワイヤの表面は全面鉄地であり、しかも製造工程において

*原稿受付 平成13年12月6日
**正 員 (株) 神戸製鋼所溶接カンパニー Member, Kobe Steel, Ltd.
Welding Company

非常に均質に仕上げられているためである。

次に実際の溶接における給電特性について調査するために、図4に示すような3層給電銅板による分流状態の測定を行った。図5に、測定した分流状態の一例を示すが、銅めっきワイヤは各給電銅板からワイヤに流入する電流の変動が大きいのにに対して、新開発の銅めっきなしワイヤは分流状態が非常に安定している。この安定給電特性が後述するワイヤ送給性とアークの安定性を生み出している。

2.2 ワイヤ送給性

ワイヤの送給性について、図6に示す測定装置をもち

図1 ワイヤ外観

(Diameter: ϕ 1.2mm, Type: YGW11)

図2 銅めっきワイヤ表面の光学顕微鏡観察結果

いた評価を実施した。すなわち、溶接時の全送給抵抗(Fr)と、給電チップにおける抵抗(Tr)を、それぞれロードセルを使用することで個別に測定した。図7に銅めっきワイヤと新開発の銅めっきなしワイヤのFrとTrの測定結果を示すが、銅めっきなしワイヤの方がTrが小さく、それと同期してFrも小さくなっている。つまり、銅めっきワイヤでは給電不安定から給電チップで融着現象

図3 ワイヤ表面の接触電気抵抗測定結果

図4 3層給電銅板による分流状態測定要領

(Diameter: ϕ 1.2mm, Wire type: YGW15, Shielding gas: Ar+20%CO₂, Welding current: 300A.)

図5 3層給電銅板による分流状態測定結果

が起こっていると推測され、銅めっきなしワイヤではその融着現象が抑えられ、安定したワイヤ送給性が得られていると考えられる。

2.3 アーク安定性

溶接時のアーク安定性を評価するため、溶滴移行特性の観察を行った。図8に高速度カメラによる溶滴移行観察結果を示すが、新開発の銅めっきなしワイヤの溶滴移行は細かく安定していることがわかる。さらに溶滴移行

を定量的に評価するために、分光法により鉄の発光スペクトルの強度変化の測定ならびに周波数解析を行った。その結果を図9に示すが、新開発の銅めっきなしワイヤは溶滴移行周波数が高く、かつ極めて規則的であることが明らかとなった。この溶滴移行の規則性は、前述のワイヤ表面の高位安定した接触電気抵抗からくるチップ給電安定性により、ワイヤの溶融が極めて安定しているためである。また、溶滴が小粒化する理由としては、溶滴の表面張力が関与していると考えられる。つまり、銅めっきがないことにより溶滴への酸素の侵入が容易になり、溶滴の表面張力を低下させているためと推測される。

3. 溶接作業環境の向上

溶接作業は「じん肺作業」のひとつに指定されるなど3K職場として認識されている。溶接材料開発の面からの脱3Kへの取組みとしては、スパッタの低減ならびにヒュームの低減が古くからの課題であり、これまでに多くの研究・開発がなされている^{2,5)}。新開発の銅めっきなしワイヤでは優れたアーク安定性から従来のワイヤよりスパ

図6 ワイヤ送給性測定装置概要

(Diameter: ϕ 1.2mm, Wire type: YGW15, Shielding gas: Ar+20%CO₂, Welding current: 300A, Welding torch: 6m x 1turn)

図7 ワイヤ送給性測定結果

(Diameter: ϕ 1.2mm, Wire type: YGW15, Shielding gas: Ar+20%CO₂, Welding current: 260A)

図8 溶滴移行の高速度写真

(Diameter: ϕ 1.2mm, Wire type: YGW15, Shielding gas: Ar+20%CO₂, Welding current: 260A)

図9 溶滴移行の分光法の解析

ッタ・ヒュームの低減が図れる。

3.1 スパッタの低減

図10に YGW 15 タイプの新開発の銅めっきなしワイヤの溶接特性として、良好な溶接が可能な電流範囲とスパッタ発生量の測定結果を示す。従来の銅めっきワイヤと比較して、適用可能な電流範囲が下限および上限とも広がっている。また、スパッタ発生量に関しても、従来の銅めっきワイヤと比較して少なくなっている。これまでは、マグ溶接ソリッドワイヤのスパッタ低減化といえは、使用するシールドガスや電流条件に応じたワイヤ組成の最適化がおこなわれてきた。しかしながら、本技術では銅めっきなしをベースとしたチップ給電安定性からスパッタ低減化を実現した。図11に YGW 16 タイプ新開発の銅めっきなしワイヤの溶接特性を示すが、YGW 15 タイプワイヤと同様に、従来の銅めっきワイヤと比較して、

図10 新開発銅めっきなしワイヤ (YGW15) の溶接特性

図11 新開発銅めっきなしワイヤ (YGW16) の溶接特性

図12 新開発銅めっきなしワイヤ (YGW15) のヒューム発生量

広い電流範囲でスパッタの低減化が達成できている。

3.2 ヒュームの低減

図12に YGW 15 タイプワイヤのヒューム発生量とそのなかに含まれる銅ヒューム発生量を測定した結果を示す。

図13 スパッタ発生量とヒューム発生量に対するパルスアーク溶接の効果

図14 ヒューム発生量におよぼすシールドガス組成の影響

図14 ヒューム発生量におよぼすシールドガス組成の影響

図15 マグ溶接ソリッドワイヤの LCA 計算の一例

従来の銅めっきワイヤと比較して、新開発の銅めっきなしワイヤの溶接時のヒューム発生量は少なくなっている。マグ溶接ソリッドワイヤのヒューム発生機構としては、溶滴移行に際して高温の金属蒸気がアークの中から吹き出され、蒸気全体が急速に酸化をともないながら冷却固化してヒュームが発生する⁶⁾。したがって、新開発の銅めっきなしワイヤの場合、溶滴移行が規則的かつ小粒化されていることにより金属蒸気の吹き出し量が少なくなり、ヒューム発生量が低減していると推測される。

銅ヒュームに関しては、銅めっきがないことにより発生量が皆無に近くなっている。日本産業衛生学会では、今のところ銅の許容濃度に対する勧告はないが、ACGIH-TLV（米国産業衛生専門家会議による許容濃度）では 0.2 mg/m^3 、OSHA-PEL（米国の労働省労働安全衛生局による許容暴露限界）では 0.1 mg/m^3 と、非常に低い濃度で銅の濃度を管理するように勧告されている。実際には、防塵マスクなどの呼吸用保護具やヒューム吸引装置の使用などによる適切な対策を行えばこの許容濃度を超えることはないが、銅ヒューム発生が皆無に近い銅めっきなしワイヤはヒュームの低害化が図れている。

3.3 ヒューム・スパッタのさらなる低減

パルスアーク溶接⁷⁾やシールドガス組成との組合せによっても溶滴移行の安定化を図ることができる。図13に YGW 15 タイプワイヤの溶接にパルスアーク溶接を適用したときのスパッタ発生量とヒューム発生量を調べた結果を示す。通常の直流アーク溶接に比べて、パルスアーク溶接ではスパッタ・ヒュームとも低減化が達成できている。これは、パルスアーク溶接との組合せにより、同電流条件においてさらに溶滴が小粒化できているためと考えられる。

また、図14に同様に YGW 15 タイプワイヤをもちいて Ar ガス中の CO_2 ガスの比率を変化させたときのヒューム発生量について調査した結果を示す。 CO_2 ガスの比率の低下とともにヒューム発生量が少なくなっている。このように、溶接法（溶接電源）やシールドガスとの組合せによりさらなる溶接作業環境の向上が可能となる。ただし、パルスアーク溶接の適用やシールドガス組成の変更は、母材への溶込みや耐気孔性などに影響をおよぼすため適用範囲の確認が必要である。

4. 地球環境への対応

地球環境の観点から、溶接材料の開発においても、エネルギー消費の低減、廃棄物の削減、リサイクルの推進、 CO_2 排出の低減など環境維持・改善に努めていかなければならない⁸⁾。製品の地球環境への負荷を評価する手法として、LCA がある。LCA は原料の調達・製造・使用・廃

棄に至るすべてのプロセスにおいて定量的な評価をおこなうものであり、今後は LCA を意識した製品設計が重要となってくる。新開発の銅めっきなしワイヤは、この LCA に非常に優れている。

図15に、銅めっきワイヤと銅めっきなしワイヤに関して、LCA の比較をおこなった一例を示す。銅めっきワイヤと比較して、銅めっきなしワイヤの LCA は固形廃棄物、 CO_2 排出、エネルギー消費のいずれの点においても勝っており、地球環境への負荷が非常に小さいマグ溶接ソリッドワイヤといえる。他の溶接材料と比較した場合でも、溶接スラグを固形廃棄物として考慮すると、被覆アーク溶接棒やフラックス入りワイヤは廃棄物の点で劣ってくることになる。新開発の銅めっきなしワイヤは全溶接材料の中で、最も地球環境に優しい溶接材料といえる。

地球環境の面からは、溶接材料の包装材料のリサイクルも重要な課題である。具体的には、大容量のペイルパック容器やプラスチックスプールが対象となり、ペイルパックに関しては回収・再利用が進んできているが、プラスチックスプールに関しては大きな問題となっている。欧州においては、脱プラスチック化として銅製スプール（バスケットスプール）の使用が増加してきており、国内においても検討が始まっている⁹⁾。総合的には、包装材料も含めた取組みが今後の課題である。

5. おわりに

新開発の銅めっきなしワイヤは、すでに鉄骨・建機・自動車などの各種産業において実用化されており、ワイヤ送給性や低スパッタ・低ヒュームの面で高い評価を受けている。とくにロボット溶接においては、銅めっき屑に起因していた給電チップでの融着が激減するなど、稼働率向上に大きく寄与している。また、ISO 14000 シリーズやグリーン調達の面からも本ワイヤに対する関心が多く寄せられている。高品質な溶接特性から溶接のトータルコストダウンを果たし、溶接作業環境改善も含めた環境対応型の溶接材料として、広く適用されていくことが期待される。

参考文献

- 1) 菅哲男ほか：溶接技術, Vol. 49, No. 1 (2001), P. 95.
- 2) M. Ushio: Transaction of JWRI, Vol. 19, No. 1 (1990), P. 1.
- 3) 黒川剛志ほか：神戸製鋼技報, Vol. 45, No. 1 (1995), P. 17.
- 4) 菅哲男：溶接学会誌, Vol. 67, No. 8 (1998), P. 38.
- 5) 堤伸介：溶接学会誌, Vol. 69, No. 3 (2000), P. 22.
- 6) 菅哲男ほか：溶接学会論文集, Vol. 2, No. 2 (1984), P. 221.
- 7) 松縄朗：溶接学会誌, Vol. 53, No. 6 (1984), P. 285.
- 8) B. Pekkari: 溶接学会誌, Vol. 68, No. 8 (1999), P. 47.