

ものづくりを支える 溶接材料と技術

鉄鋼材料を使って構造物や機械を作るとき、材料の優秀性だけでなく、材料をつなぐ接合技術も重要である。溶接は、接合技術の代表格である。鉄鋼材料には溶接しやすいという特徴があり、それもまた鉄が大量に使用されている大きな要因の1つである。最近では、建築や造船、自動車などの需要業界の要請に応え、新たな溶接技術の開発が進んでいる。

鉄骨コアの連結溶接で、2体のロボットが同時に溶接する高能率で省スペース型の溶接システム(写真提供: (株) 神戸製鋼所)

古代から今に続く溶接の歴史

そもそも金属を接合することは紀元前3000年ごろから行なわれていたと言われており、すでに紀元前1400年のエジプトのツタンカーメン王の棺の中から鉄を鍛接した装飾品が発見されている。

本格的な溶接技術の発展は、19世紀の産業革命期に始まった。19世紀末、ロシアで金属電極と金属板との間に発生させたアークを利用したアーク溶接法が発明された。20世紀に入ると、軍事利用の要請に応え大量生産と短納期に対応する技術として、アーク溶接の基礎が確立され、ティグ(TIG: Tungsten Inert Gas)溶接及びサブマージアーク溶接、ミグ(MIG: Metal Inert Gas)溶接、炭酸ガスアーク溶接などの新しい技術の実用化が進んだ。1960年代以降になると、船舶などの構造物の巨大化に伴い自動溶接のニーズが高まり、溶接機械やロボットが徐々に広がった。1990年代以降には、レーザー溶接やFSW(摩擦攪拌溶接)などの研究が盛んに進められるようになっている。

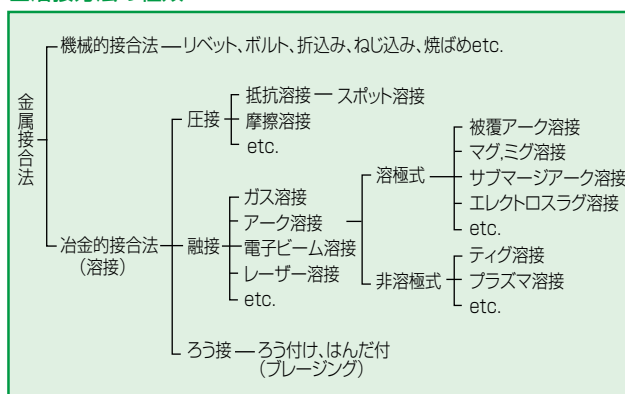
金属の接合方法には、機械的接合と冶金学的接合があり、このうち冶金学的接合は溶接とも呼ばれ、融接、圧接、ろう接の3種類に分けられる。他の接合方法と比較した場合、溶接には、継手の強度が大

きい、気密性、水密性が高いなどの特徴がある。また作業性の点では、工数が削減できる、作業中の騒音が少ない、等の特徴がある。

本誌では、Vol.16(2011)No.5以降入門講座「鋼を接合する」シリーズを掲載してきたが、溶接をはじめとする各接合技術は、それぞれの特徴に応じて適材適所で用いられていることがお分かりいただけたと思う。

さまざまな溶接技術の中で、広く一般に普及しているのはアーク溶接である。今回は、使用される溶接材料の特徴や最近の動向について紹介する。

■溶接方法の種類



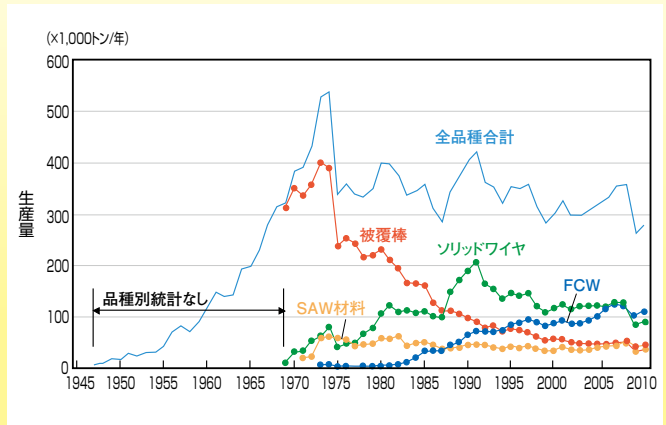
溶接材料の需要推移

現在、世界の溶接材料生産量は年間約550万tと言われており、このうち日本の生産量は約30～40万tである。

国内の溶接材料の生産量の推移を見ると、高度経済成長期に大きく拡大し、1970年代半ばには50万tを超えピークを迎えた。この後、生産量は減少し、以後現在まで30万～40万tで推移している。品種別の内訳は、時代によって大きく変化している。1970年代まで多かったのは被覆アーク溶接棒であったが、その後1980年代にはソリッドワイヤの生産量が伸びて首位となった。さらに1990年代以降はフラックス入りワイヤ(FCW)の量が伸びている。

ソリッドワイヤ及びフラックス入りワイヤは、溶接の自動化やロボット化に伴い、生産量を伸ばした。溶接技術の変化が溶接材料の生産量構成にみえてくる。

■溶接材料の国内生産量の推移



(日本溶接工業会資料、「溶接技術」などを元に作成)

被覆アーク溶接と半自動アーク溶接の特徴

被覆アーク溶接は、アーク溶接の中でも最も一般的に用いられている方法であり、「手溶接」とも呼ばれる。ホームセンターなどでも、一般の人が使用可能な細径の被覆アーク溶接棒(以下、被覆棒)が売られている。また手作業であるため、大型設備を使えない現場工事などでも使用できる。

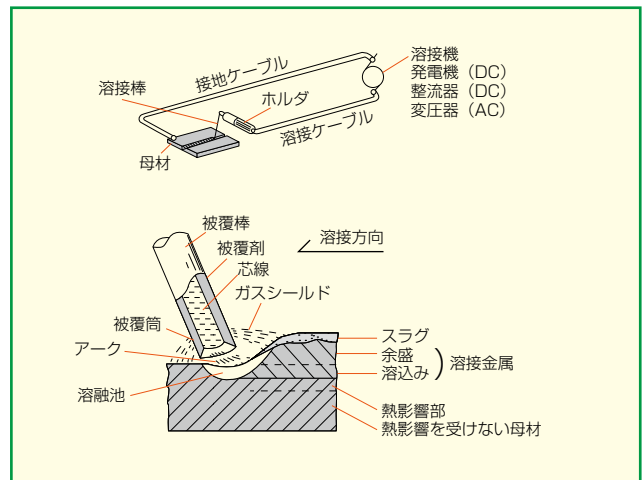
被覆アーク溶接では、被覆棒と母材との間に電圧をかけ、アークプラズマを発生させる。これにより発生するアーク熱により被覆棒の溶接金属は溶かされて溶滴となり、溶融プールに移行する。同時に、アーク熱で溶かされた母材の一部と融合して凝固し、溶接金属となってすき間に充填され、接合される。

被覆アーク溶接に使われる被覆棒は、中心にある芯材と外側を覆う被覆剤で構成されている。芯材には、接合したい金属の種類に応じて成分が設計される。例えば、軟鋼及び高張力鋼用の溶接棒には、りん及び硫黄の含有量を低く抑えた軟鋼芯線が用いられ、合金成分は主として被覆剤から添加される。

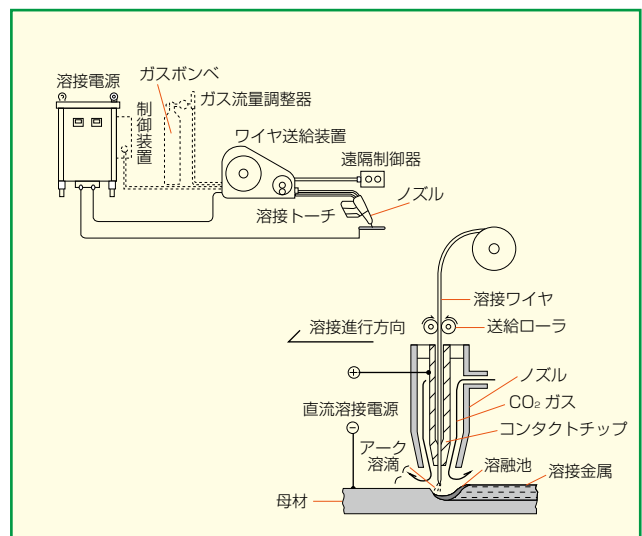
被覆剤はアーク熱により分解してアークを安定にすると同時に、ガスやスラグを生成して、溶接金属を大気から遮断し、酸素や窒素の侵入を防ぐ役割を果たす。被覆剤の種類には大別すると、低水素系とその他とがある。低水素系溶接棒は、原料に炭酸石灰を配合しており、これが炭酸ガスを発生し、アークを大気からシールドする。その他の被覆剤には、でんぷんやセルロースなどの有機物が含まれ、分解ガスによりシールドする。

被覆アーク溶接の被覆棒は、作業中に被覆棒が短くなるたびに作業を中断して、新しい棒に交換しなければならない。この手間をなくして作業効率を高めたのが、半自動アーク溶接である。半自動アーク

■被覆アーク溶接の仕組みと構成概要



■マグ溶接の仕組みと構成概要





各種の溶接材料。用途や作業条件などに応じてさまざまな種類、形状の製品が使われる。

■ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤの断面形状

	半自動		手溶接
	FCW	ソリッド ワイヤ	被覆棒
製品断面			

■FCWとソリッドワイヤとの比較

	FCW	ソリッドワイヤ
スパッタ	○	△
ビード外観	○	△
全姿勢	○	△
能率性	○	△
価格	△	○

FCWはソリッドワイヤに比べ、スパッタ発生量や仕上りの外観、作業性などの点で優れている。

ク溶接では、トーチと呼ばれるパイプ状の道具の中心に、包装（～400kg）された溶接ワイヤが供給され、溶接ワイヤをアークの熱で溶かして溶接する。溶接ワイヤは、トーチ操作によって連続的に供給されるため、大型構造体の溶接でも中断せずに溶接が可能である。

現在、半自動アーク溶接の中でガスシールドアーク溶接が広く使用されている。要求される品質や作業条件などに応じてシールドガスが使い分けられ、アルゴンなどの不活性ガスを用いるミグ（MIG: Metal Inert Gas）溶接、炭酸ガスを用いる炭酸ガスアーク溶接、アルゴンと炭酸ガス（または酸素）の混合ガスを用いるマグ（MAG: Metal Active Gas）溶接などがある。

自動化に貢献するソリッドワイヤとFCW

ガスシールドアーク溶接で使用される溶接ワイヤには、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤ（FCW: Flux Cored Wire、以下FCW）がある。

ソリッドワイヤは、全体が金属だけでできているワイヤである。ソリッドワイヤを用いた溶接には、低コスト、溶接金属の品質が優れる等の特徴があり、そのため幅広い用途に使われ、特に高能率を重視する鉄骨建築、自動車、建機などで多く採用されている。しかしソリッドワイヤには、スパッタ発生量が多いという欠点がある。そこでスパッタ発生を抑えるための対策として、ワイヤの化学組成、表面性状、溶接電源の出力波形制御、シールドガス組成の改良などが図られている。

これに対し、FCWは粉末状のフラックスを金属のさやで包んだ構造をしている。使用される各種のフラックスの効果により、さまざまな性能が付加される。例えば、スパッタ発生量が少ない、

ビード外観が美しい、全姿勢溶接が可能、作業能率が高い、などさまざまな特徴を持つFCWが開発されている。

FCWをフラックスの種類で大別すると、スラグ系とメタル系の2つに分けられる。スラグ系FCWは、 TiO_2 、 SiO_2 、 ZrO_2 などのスラグ形成剤や、マンガン、ケイ素などの脱酸剤、アルカリ金属などのアーク安定剤を配合したものである。船舶分野では、大型構造体に加え、溶接姿勢が下向・横向以外に立向・上向姿勢の溶接も多いため、以前のように被覆棒では作業効率が上がらなかった。そこで開発されたのが、スラグ組成を TiO_2 主体としたルチール系FCWである。その他スラグ形成剤や脱酸剤、アーク安定剤などを配合したフラックスの働きにより、溶接後にスラグがビード表面を覆い、全姿勢溶接が可能となり、高能率化が図られた。またビード外観、形状も良好で、全姿勢溶接用のFCWとして広く使用されるようになった。現在、ルチール系FCWの主流は $\phi 1.2mm$ 程度の細径である。

一方、メタル系FCWのフラックスには、スラグ形成剤はほとんど含まれず、低スラグ、溶着速度向上が図れ、特に下向溶接を高能率で作業することができる。

このように、構造物の種類や板厚、溶接姿勢、鋼板の表面状態など、使用条件と要求性能により、最も適したワイヤを選択することが必要である。

各分野で求められる溶接の信頼性向上

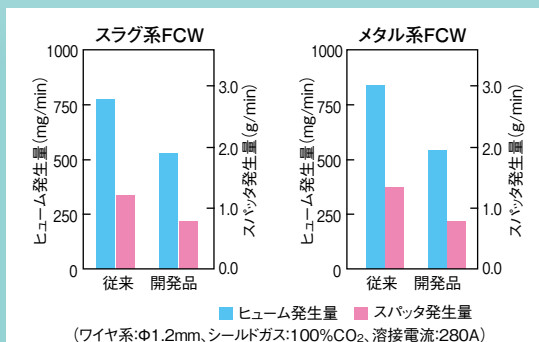
最近、大型の鋼構造物が多く建設されている。これらの構造物では、高能率で高品質な溶接技術が適用されている。溶接材料の主要な需要先は、建築、造船、橋梁、自動車、機械などがあるが、いずれの分野でも最近では、溶接部の健全性や性能向

低ヒューム・低スパッタを実現した FCW

溶接技術において、スパッタ(火花)の発生、ヒューム(蒸気)の発生を減らすことは永遠のテーマだと言われる。スパッタは、溶融金属が飛散したもので、特に広く普及している炭酸ガスアーク溶接では、スパッタ量が多い。発生したスパッタの一部は溶接部や周囲に固着して品質低下につながる。スパッタ発生を抑えれば、職場環境を良くするためにも役立つ。

ヒュームやスパッタの発生を改善した、低ヒューム・低スパッタFCWが開発されている。この材料は、ワイヤの低炭素化やアルカリ金属の添加などによって、溶滴の移行及びアークの安定を図っている。これにより、従来ワイヤに比べ、30%以上の低ヒューム・低スパッタを実現している。また高い溶着速度、美しいビード外観などの特徴も保持している。この材料は、1995年ごろ開発され、以後造船用溶接材料として広く使われている。

■低ヒューム・低スパッタFCWの特性



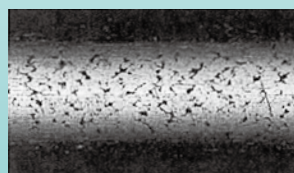
上、溶接作業の安定性、維持管理コストの低減などの要求が高まっている。ここでは建築と自動車の各分野における最近の溶接技術のトピックスを紹介する。

■建築——溶接材料により耐震性を確保

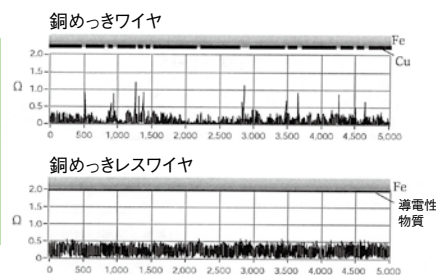
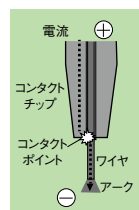
阪神淡路大震災において、鉄骨柱梁接合部での脆性破断が問題となった。これを改善するための検討が行われ、設計、鋼材、溶接材料、溶接施工条件に制限を設けて、鉄骨構造物の性能を規定する提案がなされた。そして、柱梁接合部においては、設計に応じた強度と靱性値を確保するという性能規定が定められ、そのために鋼種や溶接条件が制限されるようになった。溶接材料においては、従来のワイヤ（引張強さ490MPa級）よりも入熱・パス間温度管理を緩和できる高強度・高靱性のワイヤが開発されている。このワイヤでは、脱炭元素や焼入れ性向上元素を適度に高めることにより、より高い入熱量やパス間温度でも溶接金属の組織を微細化し、良好な機械的性質を得ることが可能となっている。

環境負荷が小さい銅めっきレスソリッドワイヤ

ソリッドワイヤは、従来は銅めっきを施すことが常識となっていた。これはコンタクトチップとワイヤ間の通電性を高めることによりアーク安定性が改善すると考えられたからである。しかしその後、ソリッドワイヤ表面の銅めっきには細かな亀裂が入っており、むしろ電気抵抗が不安定になる要因となることが明らかになった。そこで、銅めっきを施さずに、表面に導電性物質を塗布した銅めっきレスソリッドワイヤが開発された。このほか耐錆性、耐チップ摩耗性などに優れ、さらにヒューム中に銅成分が含有されないことから、溶接時及びワイヤ製造時において、環境負荷が小さいという特徴を持ち、注目されている。

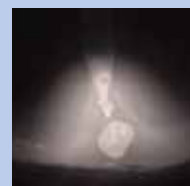
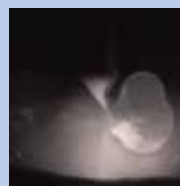


銅めっきワイヤの表面亀裂



銅めっきワイヤと銅めっきレスワイヤの長さ方向の表面電気抵抗分布

■マグ溶接でのソリッドワイヤの溶滴移行のようす



銅めっきレスソリッドワイヤ（右）では溶滴が小さい球形に近く、このまま滴下することによりスパッタが少なくなる。従来（左）のように溶滴が大きくなると、滴下時に溶融池から跳ね返ってスパッタが多くなってしまふ。



造船所のマグ溶接風景。溶接の高能率化ニーズに応え、自動化が進んでいる。

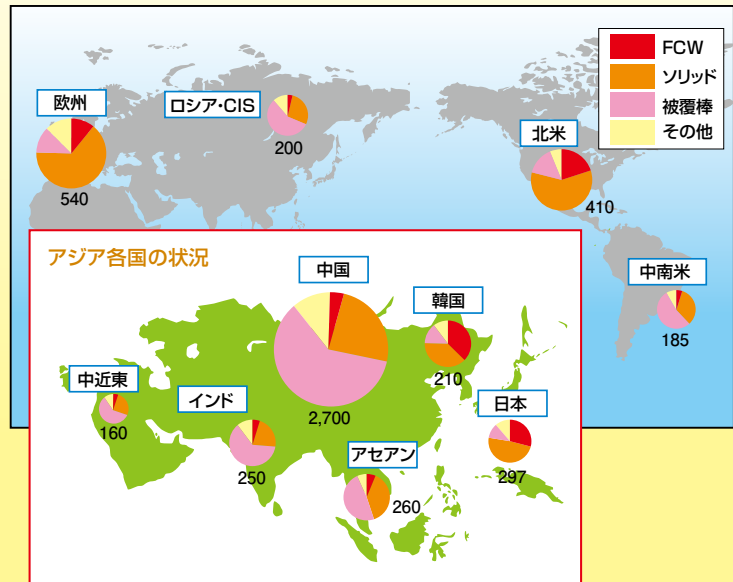
アジアで急速に伸びる溶接材料の需要

これまで世界の溶接材料の需要は、アジア、北米、ヨーロッパが3つの大きな柱であった。最新のデータを見ると、全世界の需要量547万t(2010年)のうち、ほぼ半分の270万tが中国であることが目を引く。

また日本や欧米ではソリッドワイヤやFCWの比率がきわめて大きいのにに対し、中国では半分以上を被覆棒が占めている。これはインドやASEAN諸国でも同じ傾向である。歴史的に見れば、日本も1970年代は被覆棒の比率が高く、その後産業が高度化し、自動化のニーズが高まるにつれ、被覆棒の比率が下がっていった。つまり中国や新興国では、長期的に見ればソリッドワイヤやFCWの需要が高まっていくことが予想される。そこで現在、世界の溶接材料メーカーはこれらの国でソリッドワイヤやFCWの供給体制の整備を進めている。

■世界の溶接材料の需要量とその品種別比率

(単位:1,000t)



(ウェルディングMART/2011、溶接材料市場総論、新報(株)(2010)p10を元に作成)

自動車——プロセスと材料により高能率と健全性を両立

自動車分野では、さまざまな鋼種の部品が使われ、それぞれに応じた、スポット溶接、アーク溶接などの接合技術が適用されている。また、建築や造船などの厚板分野とは異なり、鋼板の板厚は0.6~3mm前後と薄いため、溶接には、溶接速度の向上や耐ギャップ性の改善などが求められてきた。最近注目される溶接技術の1つに、レーザー・アークハイブリッド溶接がある。これは、レーザー溶接とアーク溶接とを融合させた溶接技術である。レーザー溶接の深溶込み性とアーク溶接の良好な耐ギャップ性の双方の利点を活かし、さらなる溶接速度の向上や溶接金属の気孔を減らし溶接品質を確保することができ、今後、いっそうの適用拡大が期待されている。

また、自動車においては、最近高強度鋼板の使用量が増加しているが、鋼板の高強度化に伴い溶接部と熱影響部にも高強度化が要求されている。特に、溶接部に応力が集中するような場合は疲労強度が低下するおそれがあり、これを改善する技術の検討が重要な課題の1つとなっている。

今後の溶接材料への期待

各産業のニーズに応じて開発されてきた溶接材料だが、溶接材料だけでなく、溶接品質を上げることに限らない。溶接品

質向上のための要素技術としては、シールドガス、溶接電源、ロボット化などが挙げられる。このうち、溶接電源ではデジタル制御技術の進歩による溶接条件の高精度化が進んでいる。

また、これまで多く使われてきた軟鋼、高張力鋼に加え、鋼板(構造物)の高性能化・高級化が進むにつれて、溶接部の高性能化が強く望まれるようになった。さらに最近では、溶接環境改善への対応が求められるようになっている。

一方、注目されるのが、海外での溶接材料需要増への対応である。最近では、中国やASEAN各国などでインフラ整備や建設需要、製造業の成長とともに溶接材料の需要が増加し、今後もさらに伸びていくことが予想される。日本をはじめとした世界の溶接材料メーカーは、この地域をターゲットとした事業展開のスピードを加速している。

海外の溶接材料メーカーは、もともと溶接機械メーカーが材料を製造している場合が多いが、日本の溶接材料メーカーの多くは鉄鋼メーカーであり、高品位な材料と優れた品質には定評がある。日本で長年培われてきた鉄鋼材料技術のノウハウは、厚板、薄板などの鉄鋼材料と溶接材料に生かされて、これからも世界各国の鋼構造物の信頼性を確実に支えていくことだろう。

●取材協力(株)神戸製鋼所
●文 杉山 香里