技術資料

溶接材料の種類とその特性、使い分け(下)*

奥 田 直 樹**

Varieties, Characteristics and Selection of Welding Materials*

by Naoki Okuda**

キーワード：溶接材料，サブマージアーク溶接用フラックス，溶融フラックス，
ボンドフラックス，塩基度，ガスクロマトグラフ法，ティグ溶接，
粉体プラズマ溶接，片面溶接法，裏当てフラックス，簡易裏当て材，
インサートリング

前号の(上)では、溶接材料の主人公ともいべき被覆アーク溶接棒と、最近とくに伸びがいちじるしく、準主人公の地位にのし上ってきた半自動溶接用ワイヤについて記述したが、本号では引き続きその他の溶接材料について紹介する。

そのうち、サブマージアーク溶接は自動溶接の代表として下向突合わせ溶接，すみ肉溶接，横向溶接に使われて来ており，全溶接材料のうち15%前後の使用比率を永年キープしている。ボンドフラックス，片面溶接用裏当てフラックスなど我国独自の技術として発達してきたものも多い。

さらに最近，溶射が肉盛や表面硬化の分野に進出してきており，各種粉末が実用化されつつある。

1. サブマージアーク溶接用フラックス

サブマージアーク溶接は，高能率な自動溶接として広く適用されているが，溶接金属の機械的性質，溶接作業性など要求される特性に応じた種々のフラックスが開発されている。

フラックスは製造法からみると，溶融フラックスとボンドフラックスに大別される。前者は，各種鉱物の混合物を電気炉などで1200℃以上の高温で溶融後急冷し，非晶質ないしは非晶質主体の物質をつくり，それを所定の粒度に粉碎，整粒したものであり，後者は，各種鉱物，脱酸剤，合金などの粉体原料の混合物を水ガラスなどの固着剤にて造粒，焼成したものであるが，400～550℃程

度で焼成されるものと800～1000℃程度の原料が溶融しない範囲の高温で焼成されるものがある。上記のような製造法の相違は，組成系や使用原料に対する制約，フラックス粒子の性状の差異などを来とし，種々の特性を有するフラックスが造られることになるので，ここでは製造法ごとにそれぞれのフラックスの基本的な特性を紹介することにする。

1.1 溶融フラックス

溶融フラックスは，多くは酸化物あるいは酸化物とふっ化物の融体の急冷非晶質体からなり，結晶質を含む場合は，耐吸湿性にすぐれていることが前提となる。したがって，冷却時に水和性のある塩基性酸化物を晶出するような組成系は避けねばならない。通常製造されているのは， SiO_2 を25%以上含有し下式によって示される塩基度 B_L が1.5未満のもので，多くは B_L が-1～0.5の中性あるいは弱酸性で MnO-SiO_2 系の組成を有するものである。

$$(B_L) = 6.05 N_{\text{CaO}} - 6.31 N_{\text{SiO}_2} - 4.97 N_{\text{TiO}_2} \\ - 0.20 N_{\text{Al}_2\text{O}_3} + 4.80 N_{\text{MnO}} + 4.00 N_{\text{MgO}} \\ + 3.50 N_{\text{FeO}} \\ (\text{ここでは} N \text{はそれぞれの成分のモル分率}) \cdots \cdots (1)$$

1) 塩基性フラックス

このフラックスは，低 SiO_2 (<30%)，低 MnO (<5%) であり，Si や Mn による脱酸作用が有効に働くので，300 ppm 程度の低酸素の溶接金属が得られ，衝撃値をはじめ良好な機械的性質が得られる。いっぽう，図1，図2に示すごとくフラックスの水素量が高く，溶着金属の水素量が高い，ビード形状，外観などの溶接作業性が他の組成系に比べ良くないなどの欠点も有する。これら

*原稿受付 昭和61年9月29日

**正 員 (株)神戸製鋼所溶接棒事業部技術部
Member, Technical Dept. Welding
Div. Kobe Steel, Ltd.

図1 溶融フラックスの塩基度と水素量の関係

図2 溶着金属の全水素量とフラックスの水素量の関係

の特性を持つことから、このフラックスは、脱酸剤として Si や Mn を含む低合金ワイヤと組合せ、Cr-Mo 鋼や Mn-Mo-Ni 鋼などに適用される。強度は高いが、比較的低バス間温度で溶接される調質高張力鋼には、水素による遅れわれの問題から適用されない。

2) 中性フラックス

B_L が O 前後の中性フラックスは、軟鋼から HT 80 鋼、低温用アルミキルド鋼など、用途により組成系を適当に選び広く突合せ溶接、すみ肉溶接に適用されている。たとえば、低温用鋼や HT 80 鋼などの高級鋼には、 SiO_2 が低く ($<40\%$)、MnO も高くない ($<25\%$) 組成系で、ふっ化物を適量添加 ($CaF_2 \geq 8\%$) することにより、溶接金属の酸素量が低く ($350 \sim 600$ ppm)、フェライト粒を成長させる Si を低く ($\leq 0.30\%$)、溶着金属水素量を低く (<3 ml/100 g, JIS 法) したフラックスが、また軟鋼や HT 50 鋼には、溶接作業性や溶接継手の健

全性の良い MnO-SiO₂ 系のフラックスが用いられる。なお、このフラックスには Mn 脱酸を効かせ、溶接金属の Si を上昇させないように高 Mn、低 Si (Mn $\geq 1.5\%$, Si $\leq 0.2\%$) ワイヤが組合せ使用される。

3) 酸性フラックス

SiO_2 が高く ($40 \sim 60\%$)、塩基度の低い ($-1.5 < B_L < 0$) 酸性フラックスは、組成と用途に応じて低 Mn から高 Mn ワイヤ (Mn 0.4 $\sim$ 2.0%) と組合せて使用されるが、概して溶接金属の酸素量が高く (>600 ppm)、良好な溶接金属の機械的性質とくにじん性が得がたい。いっぽう、高速溶接やすみ肉溶接では優れた溶接作業性を示すので、主として軟鋼や HT 50 鋼の薄板の突合せ溶接、すみ肉溶接に適用される。

なお、このフラックスの中には、水との親和力の小さいことから、溶湯を水砕処理して軽石状とした低かさ密度 (<1.1 g/cm³, 通常のフラックスは 1.4 $\sim$ 1.8 g/cm³) フラックスがあるが、それらは水平すみ肉溶接、多電極高速溶接でとくに優れた溶接作業性を有している。

1.2 ボンドフラックス

1) 低温焼成ボンドフラックス

わが国で、大電流溶接用として開発されたこのフラックスは、種々の優れた特性を持つことから多くの用途に広く活用され、さらに発展の可能性を有している。

このフラックスは原料として CaCO₃ などの炭酸塩や場合によっては鉄粉が使用されることがあるので、焼成時に変質しないように 400 $\sim$ 550°C 程度の温度で焼成される。したがってフラックス自身の水素量は高いが、図 3 に示す炭酸塩の水素分圧低減効果により溶着金属の水素量は他の製造法によるフラックスよりも非常に低くすることができる。また、アルカリ土類金属炭酸塩や

図3 拡散性水素量（ガスクロマトグラフ法）に及ぼすフラックス中の CO₂ 量の影響

MgO などを多量に含むので、熔融スラグは高塩基性 ($B_L: 2 \sim 3$) となり、溶接金属の酸素量はサブマージーク溶接としてはもっとも低いレベル ($< 350 \text{ ppm}$) が達成でき、非常に優れた溶接金属の機械的性質が得られる。しかし、固着剤として用いられる水ガラスが吸湿性を持つので、図 4 に示すように他の製造法によるものより吸湿しやすく、使用時には防湿管理が必要となる。

図 4 フラックスの吸湿試験例

上記のような特性を生かし、種々のフラックスが実用化されているが、例をあげれば次のとおりである。

溶着金属の水素量が非常に低い ($< 1 \text{ ml}/100 \text{ g}$, JIS 法) 特性に加え吸湿性を低く抑えるべく特殊な固着剤を使用した HT 80 など高強度鋼用フラックス。

低酸素 ($< 300 \text{ ppm}$) であることに Ti-B の複合添加による結晶粒微細化効果を加えた低温用鋼用フラックス。

高電流、大入熱での溶接作業性が良いこと、Ti-B の複合添加の効果を活用した大入熱溶接用フラックスとそれに高溶着速度化のために鉄粉を添加した片面溶接用フラックス。

これらはいずれも同用途の他製造法によるフラックスを、とくに溶接金属の性能面ではるかに凌駕している。なお、このフラックスは、低 Si ($< 0.30\%$) の低酸素の溶接金属を得るよう、高 Mn ($\geq 1.5\%$) あるいは高 Mn,

低 Si ($\text{Mn} \geq 1.5\%$, $\text{Si} \leq 0.2\%$) ワイヤと組合せて使用されている。

2) 高温焼成フラックス

欧米で開発、実用化された高温焼成フラックスは、現在でも世界で使用されているフラックスの過半数を占めている。

このフラックスは、 800°C を超える温度で焼成されることから、使用できる原料に制限が加わるが (たとえば、炭酸塩はこの温度では分解し酸化物となり吸湿性を有するので使用できない.), 固着剤などに残留する水素量は非常に低くでき、かつ固着剤自身の吸湿性を低くできるのでボンドフラックスとしては優れた耐吸湿性を有する。しかし、一般的には、熔融フラックスより水素量は高く耐吸湿性も劣るので、溶着金属の水素量はそれだけ高くなる。したがって、高強度鋼や厚板の溶接では溶接施行面の制約が多く、使いにくい。

いっぽう、溶接作業性の面からみれば、熔融フラックスより採用できる組成や塩基度の自由度が大きく、すみ肉溶接、高速溶接など用途に応じて溶接作業性に優れたフラックスが多く実用されている。しかし、わが国では高温多湿であるうえ、溶接諸特性のうえでより優れた低温焼成フラックスがあるため、ほとんど使用されない。

1.3 その他のフラックス

上記以外のフラックスとして、わが国の造船の板継ぎ溶接の高効率化に寄与した片面溶接用裏当てフラックスがある。このフラックスは、裏ビードを保持、成形するために通常のフラックスあるいは原料粉の混合物を熱硬化性を有する物質でコーティングしたもので、フラックス銅バックング法あるいはフラックスバックング法で図 5 に示すような形で使用されている。

なおサブマージーク溶接用フラックスは、JIS 規格ではワイヤとの組合せによる溶接金属の機械的性質で分類されており、上にのべた種々のフラックスの物性別、

図 5 片面溶接法と裏当てフラックスの使い方

表4.1 溶着金属の機械的性質によるフラックスの分類

種 類		記 号 ¹⁾	降 伏 点 kgf/mm ² {N/mm ² }	引張強さ kgf/mm ² {N/mm ² }	伸 び %	衝 撃 試 験	
						試験 温度 (°C)	吸収エネルギー(2 mmV ノッチシャルピー) kgf-m {J}
F 4種	1号	YSF 41-W××	31 {304}以上	41 {402}以上	22以上	+20	3.5 {34}以上
	2号	YSF 42-W××				0	
	3号	YSF 43-W××				-20	
F 5種	1号	YSF 51-W××	40 {392}以上	50 {490}以上	20以上	+20	3.5 {34}以上
	2号	YSF 52-W××				0	
	3号	YSF 53-W××				-20	

注¹⁾ ××は、組合せワイヤの種類を表し、ワイヤ記号の末尾の数字を記入する。

例えば、記号 YSW 11のワイヤと組み合わせて、F 4種 1号の機械的性質を満足する場合、YSF 41-W 11と表す。

タイプ別の分類はなされていない。(表1)

2. その他の溶接材料

2.1 各種溶加材

ティグ溶接はアルゴンまたはヘリウムなどの不活性ガス雰囲気中でタングステン電極と母材間にアークを発生させて溶接する方法で、切断線、ワイヤなどの溶加材(溶接材料)が必要に応じて用いられている。プラズマ溶接はティグ溶接と同様に非消耗電極式溶接であり溶加材が用いられるが、粉体を溶加材とした粉体プラズマ溶接が近年肉盛溶接に適用されつつある。ここではこれら溶加材について述べる。

2.1.1 ティグ溶加材

ティグ溶接は全姿勢での溶接が可能であり、薄板の溶接や裏波溶接にもちいられている。溶接はアルゴン又はヘリウムなど不活性ガス雰囲気中で行われるため、一般に溶接中の成分の酸化消耗を考慮する必要がなく、種々の金属が溶加材として使用できる。溶接アークは安定でおとなしく、通常スパッタの発生やスラグ生成などがなく、溶接作業性が良好である。このため溶接金属中にスラグ、酸化物、窒化物などの介在物が極めて少ない高品質の溶接継手を得られる。

ティグ溶接に用いる溶加材(棒及びワイヤ)は次の五種類が JIS に規格化されている。

JISZ 3316「軟鋼及び低合金鋼のティグ溶接用鋼棒及びワイヤ」

JISZ 3321「溶接用ステンレス鋼棒及びワイヤ」

JISZ 3331「溶接用チタンワイヤ」

JISZ 3332「9%ニッケル鋼用ティグ溶接棒及びワイヤ」

JISZ 3341「銅及び銅合金イナートガス溶接棒及びワイヤ」

薄板では溶加材を使用しない場合があり、ヘリ溶接では母材そのものが溶加材の役割をはたしている。なお JIS での規格化はされていないが、耐食、耐熱合金として種類の多いニッケル合金ではティグ溶接は最もポピュラーな方法の1つであり、目的に応じて種々の溶加材が開発され実用に供されている。

パイプの裏波溶接を安定に行うため、開先内にリング状のインサート材を前もって挿入して溶接することがあり、このような溶加材をインサートリングと称している。インサート材の形状の例を図6に示す。

図6 インサート材の形状の例

ティグ溶接では不活性ガスによるシールド状態が溶接金属の性能に大きな影響を与える。即ち不活性ガスにより充分シールドされた状態では不純物ガス(酸素、窒素)の巻き込みが無く、各種成分の酸化消耗や酸化物、窒化物などの介在物、ブローホールなどのない健全な溶接部が得られる。従って溶加材と溶接金属とは基本的に同様成分となる。シールド状態に影響を及ぼす因子としてはガスの流量、ノズル、風などがある。ガスの流量は少いとシールド不足となるが、多すぎてもガスの流れが乱れて空気を巻き込むため逆効果となる。またノズルが小さいとシールド範囲が狭くなる。さらにノズルと母材の間かくが長くなればシールドが不充分となりやすいため、できる限り短かく保つことが必要である。シールド状態に対する風の影響は大きく、通常 1 m/Sec 以下の風速に抑える必要がある。

裏波溶接を行う場合、裏ビードの酸化を防止するために裏当て材を用いたり、Ar などの不活性ガスによるバ

ックシールドが行われる。バックシールドなどを行わない場合裏ビードが酸化して均一なビードが形成されないが、最近フラックス入り裏波溶接専用のティグ溶接棒が開発され、溶接中に生成されるスラグが裏ビードを覆うため、バックシールドなしで溶接することが可能となっている。

継手溶接の溶加材は基本的には合金が用いられるが、溶接性、性能面から充分検討して最適なものを選ぶ必要がある。例えばニッケル合金は特に Al, Ti の高い析出硬化形材料を中心に高温割れ、延性低下割れを生じやすいなど溶接性の悪いものも見られる。このため合金系と異なるがより溶接性の良い材料が溶接部性能を考慮して選定され用いられる。

ティグ溶接は低希釈での施工が可能なので、溶着量の増減が比較的容易なことから、クラッド鋼の合せ材側の溶接に適用されることがある。この場合合せ材側溶接金属の割れ、母材からの鉄の希釈による耐食性の劣化などに注意した施工が要求される。

2.1.2 粉体プラズマ溶接用溶加材

プラズマ溶接は高温プラズマ流を熱源とする溶接方法で、主として電極と母材間にプラズマアークを発生させて溶接を行うものである。継手溶接を行う場合、薄板では溶加材を用いないでキーホールを保ちながら裏波溶接を安定に行うことができる。多層盛を行う場合溶加材を必要とするが、一般にティグ溶接よりも溶着速度を高くすることが可能なため高能率な施工ができる。溶接は不活性ガス中で行われるためティグ溶接と同様に種々の溶加材が用いられる。このような特性をもつプラズマ溶接の溶加材として近年粉体を用いる粉体プラズマ溶接が主に肉盛溶接に用いられている。この方法はティグ溶接に比較して高溶着量が得られ(2～5倍)、溶け込みが浅く、またワイヤにすることが難しい高硬度な材料も粉末とすることは比較的容易なため溶接材料として利用することができるうえ、連続供給が可能なため自動化も行えることなどから注目されている。図7に粉体プラズマ溶接概念図を示す。

粉末溶加材はスムーズな送給が行え、安定した溶接ビードが形成できるように所定の粒度に調整された球状粉を用いている。図8に粉末の走査電顕による拡大写真の例を示す。従来から溶射の分野においては種々の粉体が広く利用されているが、粉体プラズマ溶接ではスラグ生成を抑えるため含有ガス成分が低く、流動性の良い球状粉が主に用いられている。適用例としては、線材とすることが難しい Co 基合金粉末を用いたバルブの肉盛などがある。多くの金属は粉末とすることが可能であり、

図7 粉体プラズマ溶接概念図

図8 粉末の走査型電顕写真(×200倍)

各種の粉末を混合することにより従来にない高硬度の溶接金属が得られるなど、新しい特性を持たすことができる可能性も有り、硬化肉盛分野においてその将来性が期待される方法の一つである。

粉体プラズマ溶接は下向姿勢での自動肉盛溶接が主体であり、バルブの肉盛、製鉄用ロールの肉盛などに実用化されている。溶接時問題となる点は、湯流れ性、ビードのなじみ性、スラグの生成の有無及び粉末の飛散などである。湯流れ性、ビードのなじみ、スラグの生成などは粉末成分の影響が大きい。溶接条件、例えばシールドガス流量、溶接電流、電圧、溶接速度、粉末送給量などを充分に検討すべきである。また溶接肉盛厚は溶加材の供給量を少くすれば薄くなるが、一方母材の希釈の影響が大きくなり、所定の成分が得られない場合も生ずる。粉末の飛散防止及び安定に粉末を溶融するためには粒度を適当にコントロールする必要がある。44～250 μ 程度のものが多く市販されている。

2.2 裏当て材

溶接施工をより高能率に、また確実に行うためにしば

図9 簡易裏当て材の代表例

しば溶接補助材として裏当て材が用いられる。

大鋼板の突合せ継手をサブマージアーク溶接で片面自動溶接を行う場合に用いられる方法としては、フラックス銅バックリング法とフラックスバックリング法とがある(図5参照)。これらは共に表面側よりサブマージアーク溶接を行い裏側まで完全に溶融する方法で、裏ビードを裏当てフラックスで形成するように工夫されている。これらの方法は固定式の設備を用いるかなり大掛りな方法であるのに対し、簡便な裏当て材が種々市販されている。簡易裏当て材は大きく分けて固形フラックスを開

先裏面に適当な方法で押し当てるものと、ガラス繊維でできた面を開先裏面に押し当て曲率のある開先にも適用できるようにしたものに分けられる。図9に代表的な裏当て材の例を示す。

これら裏当て材はサブマージアーク溶接、炭酸ガスアーク溶接、被覆アーク溶接などそれぞれに適したもの、各継手形状に適したものなどが普及しており、開先に合ったもの各溶接法に適したものを選んで使用する必要がある。