

# 溶接とは・溶接材料とは？

## 溶接とは

わたし達の身の回りで加工が簡単にできる材料には、紙、木材、布地などがあります。これらは好みの形に、はさみやのこぎりで簡単に切断できます。さらに、木材と木材をつなぎ合わせるのに糊やかなづちと釘を使い、布地と布地の場合には針と縫い糸を使うことで目的とする形に簡単に組み立てることができます。鉄のような金属と金属をつなぐにはどうするのでしょうか。

つなぎ合わせる金属の両方に、あらかじめ穴を開けておいて、リベットかボルトで締めつける機械的な方法もありますが、何かの方法で金属を溶かすか、または溶ける程度に熱を加えてつなく冶金的な方法があります。この冶金的な方法で金属をつなぎ合わせることを溶接といいます。

溶接する方法を大別すると、「溶融溶接」、「圧接」および「ろう接」の3つになりますが、溶融溶接は、一般に溶接材料(溶加材)を使用し溶接材料と接合すべき母材と一緒に熱を加えて溶かして母材と母材をつなぐ方法で、熱烈なアツアツの恋愛をして結婚するようです。圧接は多少の熱を加えるか、または全く加えないで圧力でつなく方法で、ちょうど政略結婚のようです。ろう接ははんだ付けで知られているように、母材を溶かさないうろう(溶加材)だけを溶解してつなぎ合わせる金属の境界に流し込んで接着する方法で、見合い写真を見ただけで、すべてを仲人(なこうど)にまかせせりの見合い結婚のようです。

熱源その他の因子を考慮して現在実用されている多数の溶接法を分類すると図1のようになります。

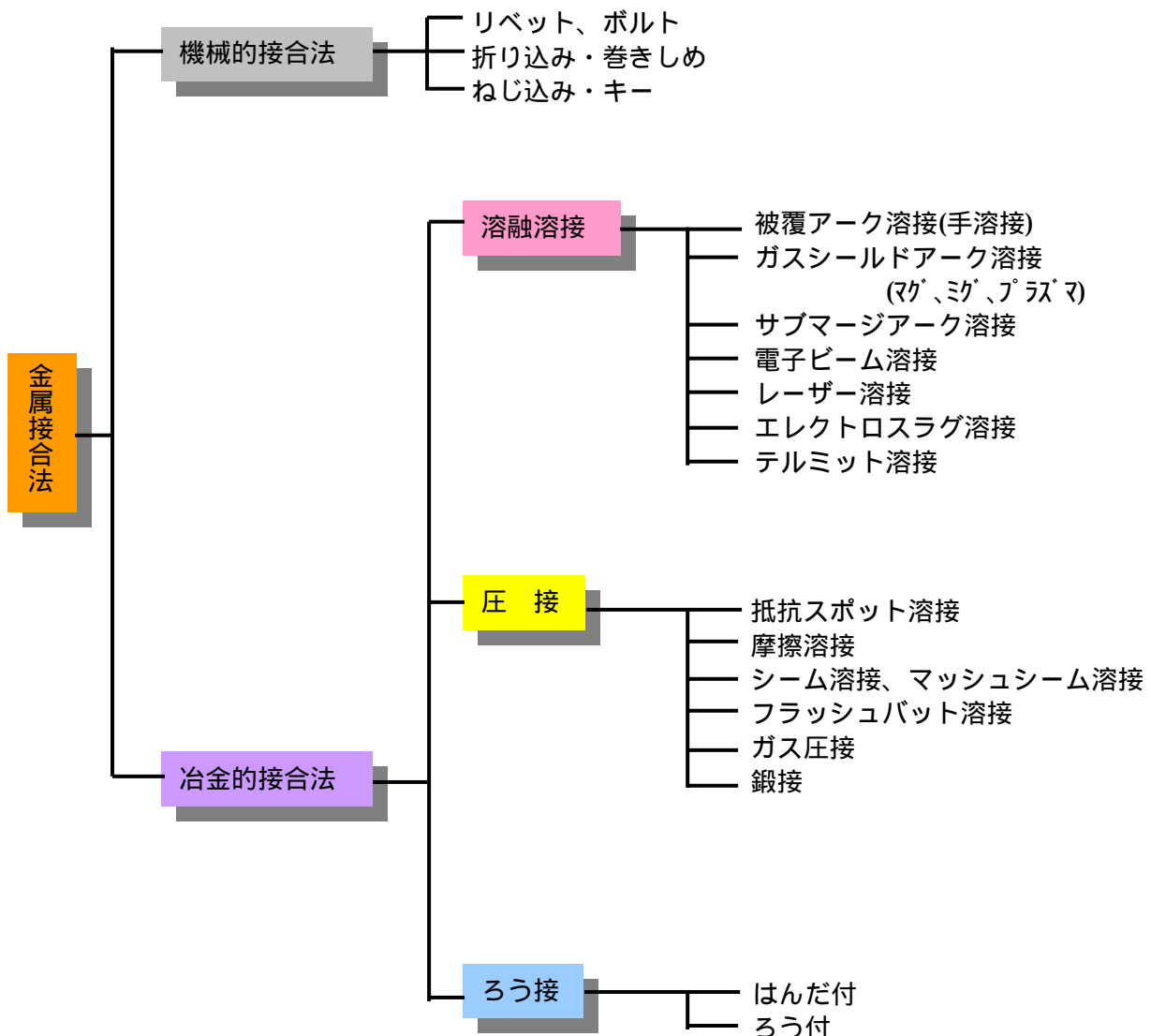


図1 溶接方法の種類

## 溶接の利点と欠点

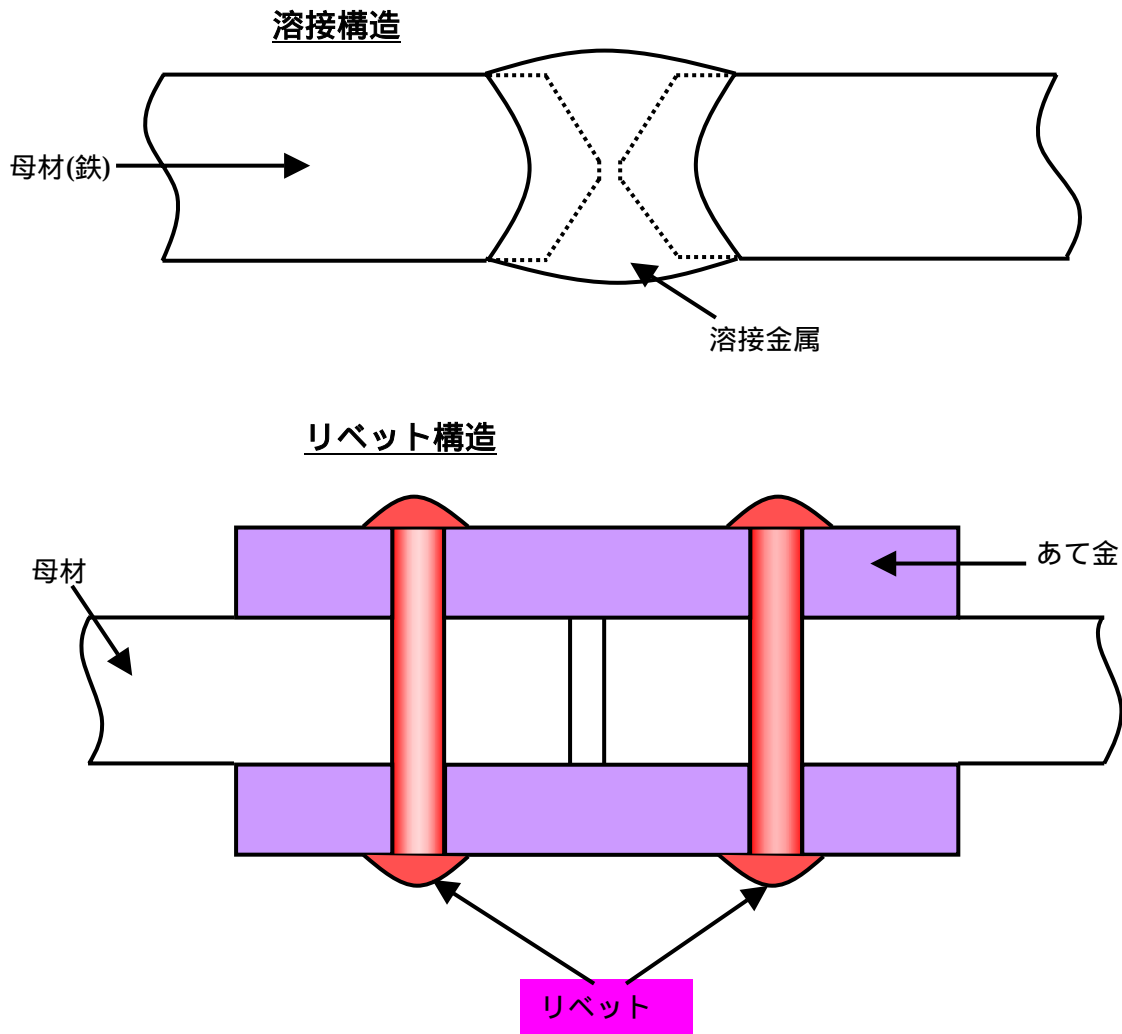


図2 溶接構造とリベット構造

金属の接合方法をその機構によって分類しますと、機械的接合と冶金的接合方法によって大別され、溶接は後者に属します。溶接では、母材の一部を溶かして溶接金属を形成し、それが冷えて固まり、母材同士が接合されます(図2の上図)。すなわち金属原子構造がくっついた状態となっています。

第2次世界大戦以前には、ごく一部の船舶や橋梁にしか溶接が用いられなく、鋼構造物のほとんどは「リベット構造」でした(図2の下図)。真っ赤に熱したリベットを、母材とあて板の穴に通してリベットの頭をたたき、リベットが冷却するときの収縮力で強固に接合する方法です。母材とあて金が機械的に密着している状態なので、当然高圧には耐えきれません。溶接構造は、水密性、気密性や重量減などが格段に優れており、戦後リベット構造は急激に姿を消しました。

各工業部門に共通の利点をあげると、溶接は

鋳物、リベットなど従来の工作法に比較して強度が大である。

気密、水密、油密が容易に得られる。

製品の重量を軽減できる。

材料が節約できる。

材質、板厚が使用目的に応じて自由な選定できる。

製作時間の短縮による工数が削減できる。

作業中騒音が少ない。

などの優れた特徴を持ち、今日、機械的接合法に代わって接合技術の主流になっています。

このように、溶接は、接合法として特に金属の接合に優れた特徴を持っていますが、その反面溶接部は、短時間に冶金的变化を受け、変質し、材質、板厚によっては、もろくなるなどの悪影響を生じやすい(図3)。

溶接部は、熱影響によって、変形収縮し、溶接材料に内部応力が残留して、割れなどの危険をきたすことがある。

構造物としての用途、材質によっては、低温でのぜい性破壊の危険性が生じる(図4)。

溶接者の技量によって、溶接部の強度が左右されやすい。

技量や施工管理などが不十分の場合、溶接欠陥が生じるので十分な溶接管理が必要である。

などの問題があります。

以上のように溶接には、利点と欠点があるので、その実際の応用にあたっては、利点を生かし、欠点を補うように材料、機器、施工方法、検査および性能等、十分な知識と技能を保有することが大切です。

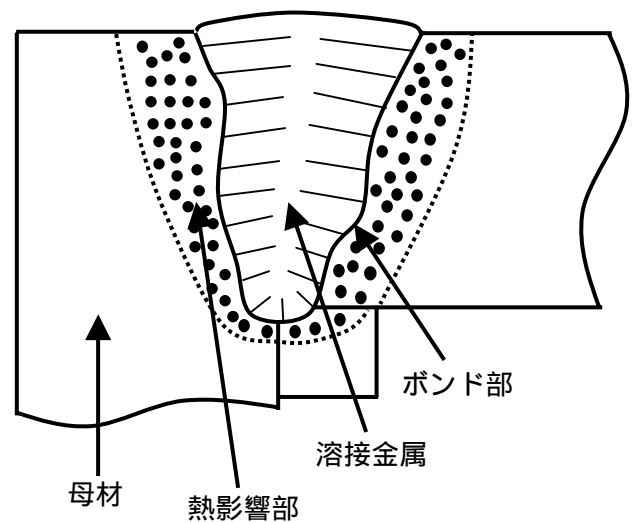
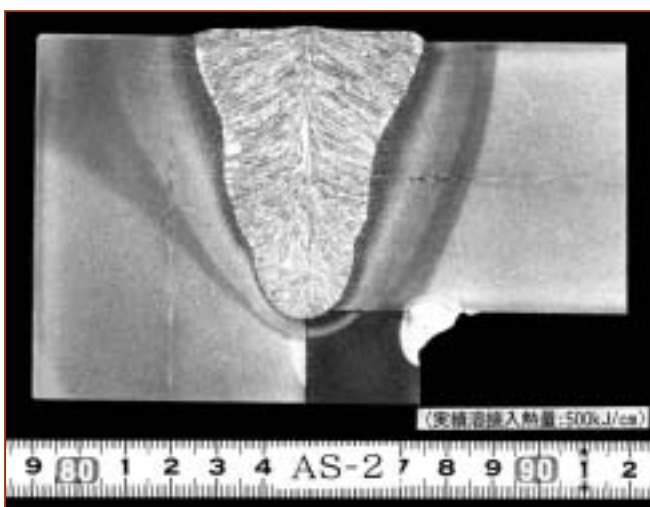


図3 溶接部の呼称



1943～1946年に、米国戦時標準船(全溶接船、約4700隻)の約1/5にぜい性破壊事故が発生し、その19隻は、写真のように船体が真二つにもろく破断した。船体のどこかに加わった力が、最も弱い所に集中して生じた瞬間時に破断したものである。

図4 真二つにぜい性破壊した全溶接船

## アーク溶接

図5のように2本の電極を水平に向かい合わせ、抵抗を用いて直流電圧をかけたまま電極を一度接触させてから少し引き離すと、電極間にアークが発生します。このアークを形成しているガスは高温になるため、周囲の室温のガスよりも軽くなるので、上方に浮かび上がり、アーク柱は電極の間に弧をえがくのでアーク(弧)という言葉が電極を意味するようになりました。このアークを通して大きい電流が流れるわけですが、このアークは電極物質の流れで、適当な着色ガラスを通じて観察すると図6のようにアーク芯アーク流およびアーク炎の3部分に分けることができます。

アーク芯は溶接棒と母材をむすぶ中心部であり、細く白色に輝き、一番温度の高い部分です。このアーク芯のまわりを淡紅色に包んでいるのが電弧(アーク)であり、その外側の炎はアーク炎と呼ばれています。

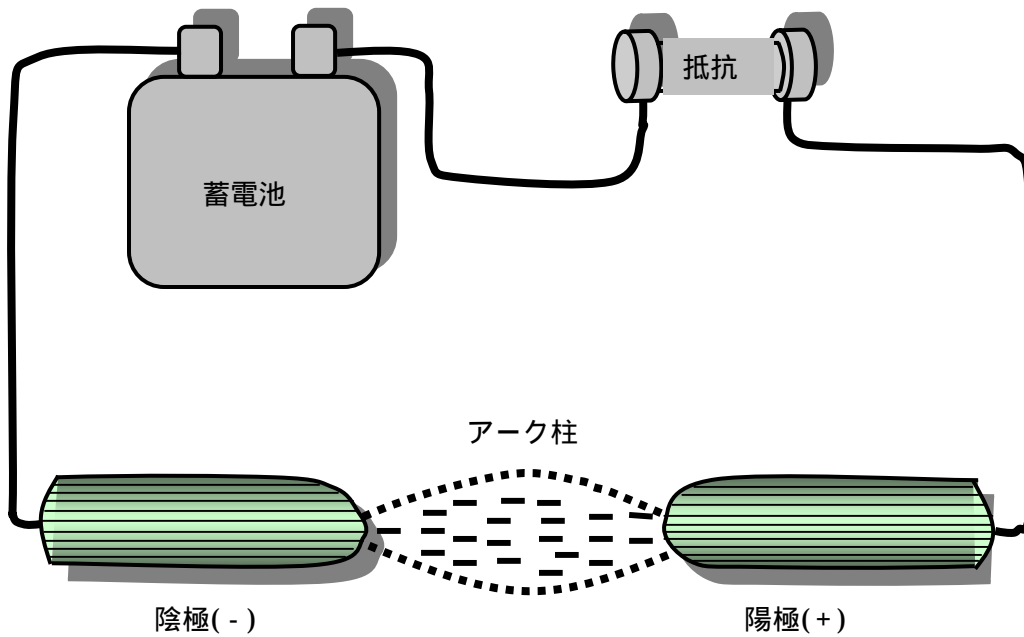


図5 アーク

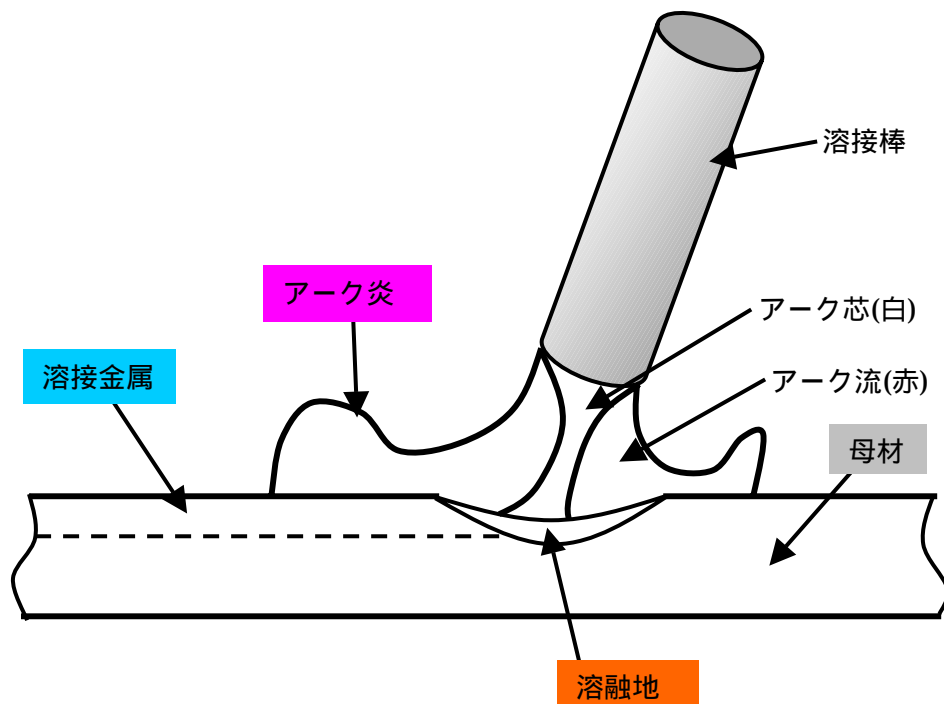


図6 アークの構造

アークを通じて流れる大きな電流を溶接電流といい、その時の溶接棒と母材との間にかかっている電圧をアーク電圧といいます。また溶接棒と母材とが離れてアークを出していない状態を無負荷といい、その時、溶接棒と母材との間にかかっている電圧を無負荷電圧または回路電圧といいます。

溶接電流をIアンペア、アーク電圧をEボルトとすると、アーク部分で消費される電力W(ワット)は( $E \times I$ )ワットで、これに相当する熱を出すことになります。この場合、アーク電圧(E)はほとんど一定ですから、電力(W)は溶接電流(I)によって大きく変わってきます。

たとえば、直径4mmの溶接棒を使って、150アンペアの溶接電流で溶接を行ったとすると、アーク電圧は一般に30ボルト程度ですから、アークの部分には150(アンペア)×30(ボルト)=4500(ワット)という大きな電力が熱源として消費されていることがわかります。これは500ワットの電熱器にたとえると9個分に相当するもので、溶接棒と母材との間に集中して消費されるわけです。

## いろいろな溶接方法と溶接材料

### 被覆アーク溶接

図7に被覆アーク溶接の原理を、図8に溶接の状態を示しますが、金属の心線の回りに有機物や無機物などで作られた被覆剤(フラックスともいう)を塗って乾燥したものを溶接棒と呼び、その溶接棒と母材との間に電圧をかけてアークを発生させると、溶接棒はアーク熱(約5000~6000)により、鉄の溶けた粒となってアーク熱で溶かされた母材の一部と融合して固まり、溶接金属となって接合すべきすきまを充てんする方法です。

被覆剤には、

中性あるいは還元性の雰囲気を作り、大気中の酸素や窒素の侵入を防ぎ、溶接金属を保護する。

アークを安定する。

溶融点の低い、適当な粘性のスラグを作る。

溶接金属の脱酸精錬作用を行う。

溶滴を微細にし、溶着効率を高める。

溶接金属の凝固と冷却の速さをゆるやかにする。

上向その他の姿勢の溶接を容易にする。

スラグの除去を容易にし、波形の美しいビードを作る。

絶縁作用をする。

溶接金属に合金元素を添加する。

等の特性を利用して種々の特性を持たせた溶接棒が製造されており、これらを適当に選ぶことにより、すべての姿勢での溶接が可能となります。表1に代表的な溶接棒銘柄一覧表のを示します。

この方法は、最も古くから発達したもので、設備費も安く、また手軽に良い溶接ができるので、広く利用されています。

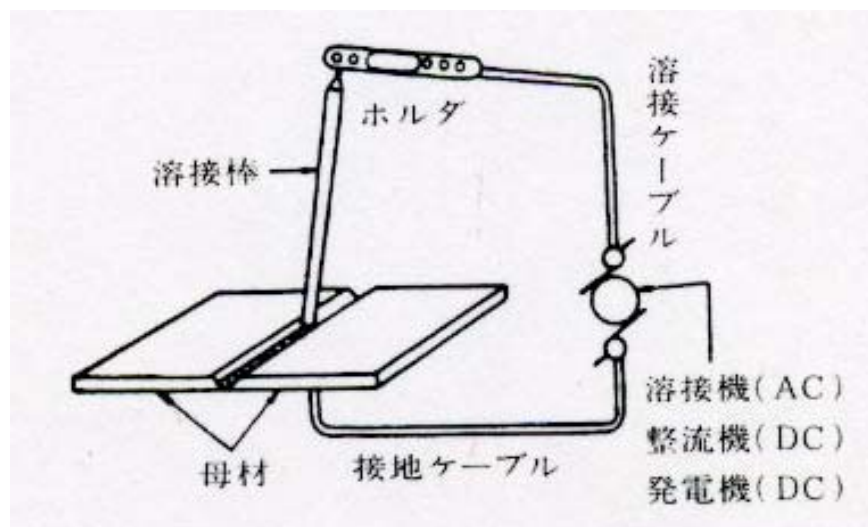


図7 被覆アーク溶接の原理



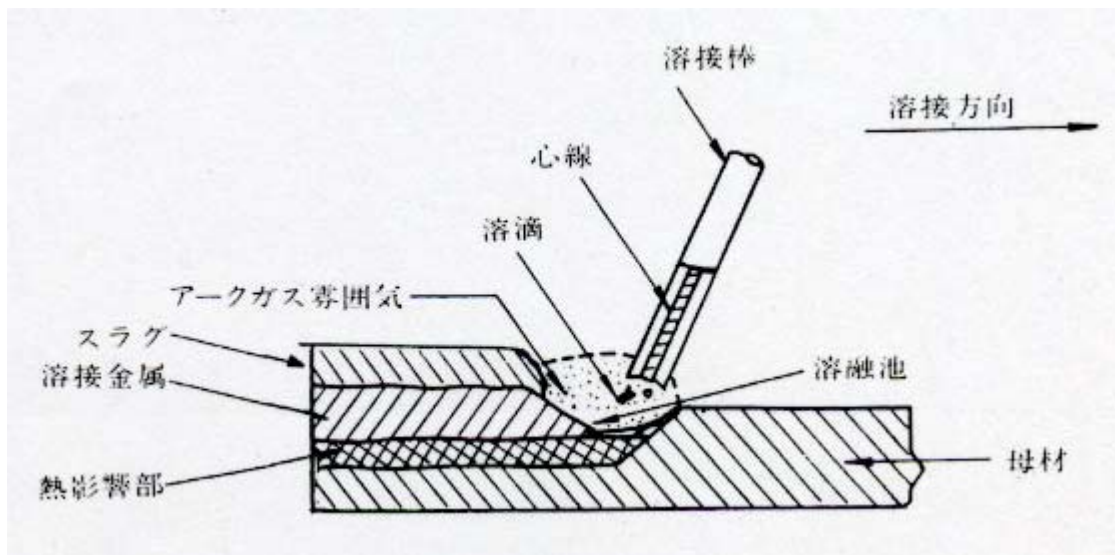


図8 被覆アーク溶接の状態

表1 代表的な溶接棒銘柄一覧表

銘柄	被覆の系統	JIS 規格	内 容
G-200	イルミナイト系	D4301	イルミナイト系の代表的溶接棒で、機械的性質、耐割れ性及びX線性能も極めて優れる。
A-200	イルミナイト系	D4301	全姿勢の作業性が優れ、美しい溶接ビードが得られる。
G-300	イルミナイト系	D4301	全姿勢の作業性と溶接性を重点に製作され、特に立向上進溶接が容易。
NS-03Hi	ライムチタニヤ系	D4303	アークの再発生、ビード外観、スラグはく離が極めて良好な全姿勢用高能率溶接棒。ライムチタニヤ系の代表的な溶接棒。
S-13Z	高酸化チタン系	D4313	アークが穏やかで、スラグの流動性が良く、使いやすい。
S-16	低水素系	D4316	耐割れ性、延性及びじん性が特に優れ、厚板あるいは拘束の大きい部分に適す。
S-16V	低水素系	D4316	立向下進専用の低水素系溶接棒。
L-55	低水素系	D5016	490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の全姿勢溶接用で、作業性及び耐割れ性に優れている。低水素系の代表的な溶接棒。
TW-50	低水素系	D5016	軟鋼及び490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼用タック(仮付け)溶接専用棒で、耐割れ性と再アーク性に優れる。
L-60	低水素系	D6016	590N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の全姿勢溶接用で作業性及び耐割れ性に優れている。
L-70	低水素系	D7016	690N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の全姿勢溶接用。
L-80	低水素系	D8016	780N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の全姿勢溶接用



### マグ溶接

マグ溶接は、溶接部の機械的性質が極めて良く、しかも能率向上と経費の節約にメリットが多いため、最近では急速に発展し、車両などの薄板溶接から建築・橋梁などの中厚板溶接にまで広く採用されている溶接方法です。

図9および図10に示しますように炭酸ガス又は炭酸ガスとアルゴンとの混合ガスなど、酸化性のシールドガスをアークの周囲に送り、溶融部を大気からしゃ断しながら、溶接ワイヤ(実体ワイヤまたはフラックス入りワイヤ)をモーター駆動ローラーで連続して供給し、アーク長さを一定に保持しながら行う溶接方法を総称して、マグ溶接 { M A G (metal active gas) welding } と言います。

前述のようにワイヤの供給は自動的ですが、トーチの操作は作業者の手で行われるのが一般的で、半自動アーク溶接法の代表的な方法として知られています。その長所としては、

アークの発生点のすぐ近くで通電するので、比較的細いワイヤに大電流を流すことが可能となり、ワイヤの溶融速度が高く能率が上がる。

溶加材がコイル状になっているので連続溶接ができる。

一定のアーク長さが自動的に保持できるようになっているので、操作が容易である。

などが挙げられます。

一方、

直流電源を必要とする。

風の影響を受けやすいので屋外作業がむずかしい。

ビード外観が他に比べてやや劣り、ビード幅に対して余盛が高くなりやすい(ソリッドワイヤの場合)。

大電流域ではスパッタが比較的多い(ソリッドワイヤの場合)。

などの欠点があります。

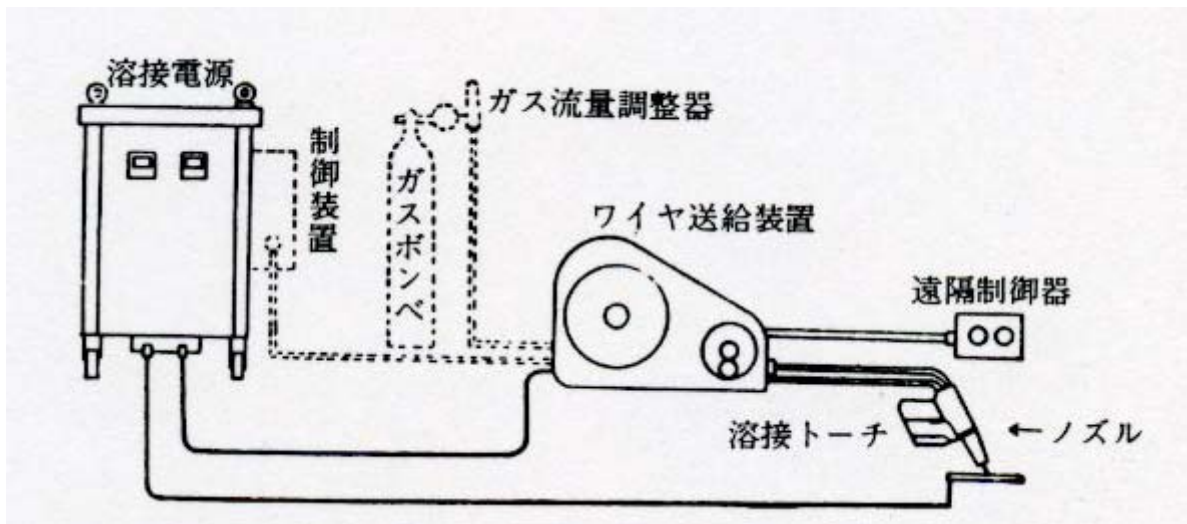


図9 マグ(半自動)溶接機の構成概要

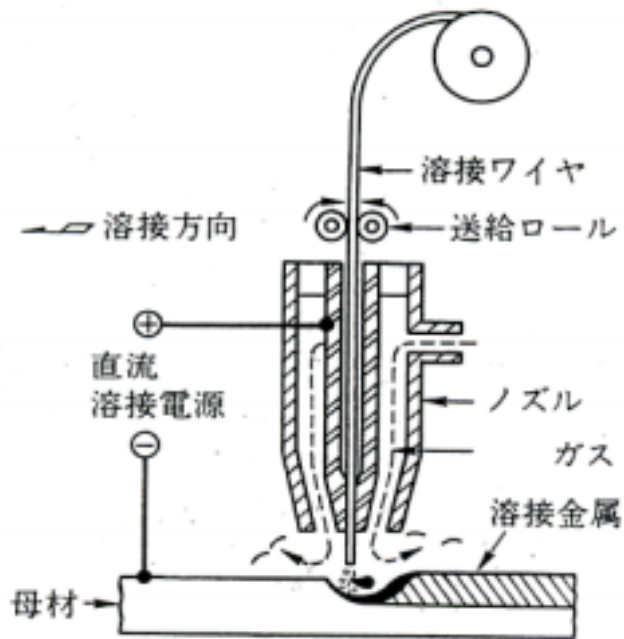


図10 マグ溶接(炭酸ガスアーク溶接)の概念図



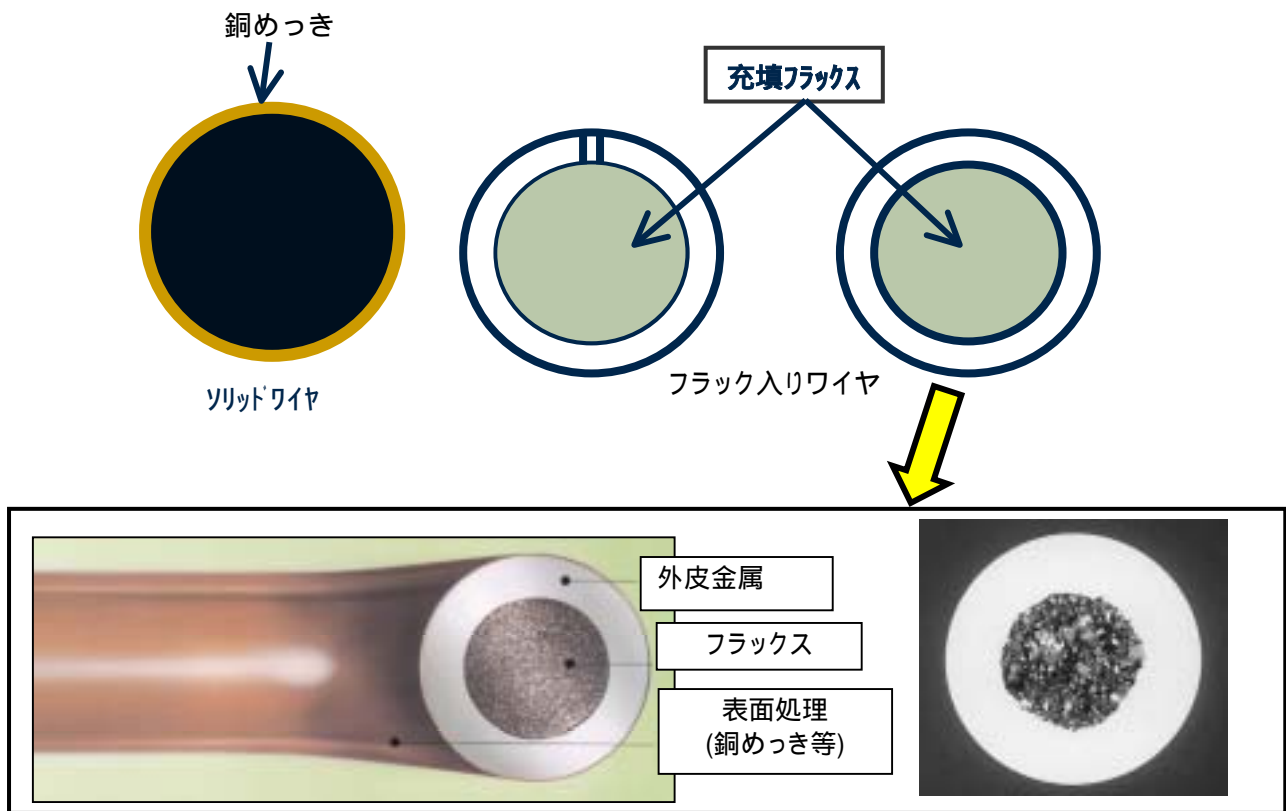


図 1 1 ソリッドワイヤおよびフラックス入りワイヤの断面

図 1 1 に示すようにマグ溶接用のワイヤは、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤに区分されます。ソリッドワイヤは、適当な化学成分に調整された鋼塊を多数のロールを通して線材にし、さらに適当な寸法まで線引きしたもので、ワイヤの表面を銅めっきしたものが主流です。表 2 に代表的なソリッドワイヤ銘柄一覧表を示します。

ソリッドワイヤは単位量ごとにコイル巻き、スプール巻きなどの巻き姿およびペールパック入りワイヤになっていますが、プラスチック製スプール巻きやペールパック入りワイヤが多く使われています。

表 2 代表的なソリッドワイヤ銘柄一覧表

用途	銘柄	シールドガス	成分	内容
軟鋼および 490N/mm <sup>2</sup> 級 高張力鋼	YM-26	CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Ti	大電流溶接、厚板に使い、アーク良好、下向、水平すみ肉 (建築、鉄骨、産業機械、橋梁)
	YM-27	CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Al-Ti	すみ肉溶接のビード形状良好 水平すみ肉、下向大電流溶接用
	YM-28	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	小電流溶接に適し、薄板の溶接良好(自動車、車両、冷暖房機器)
	YM-28S	Ar-CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Ti	大電流のビード形状に優れる (自動車、化工機)
	YM-28Z	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	垂鉛めっき鋼板でブローホールなどの欠陥がでにくい (軽量形鋼、パイプ、鉄骨、車両、容器)
490,520,540N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	YM-55C	CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Mo-Ti	大電流・高パス間・高入熱での機械的性質に優れる
590N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	YM-60C	CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Mo-Ti	590N/mm <sup>2</sup> 級鋼の鉄骨、橋梁、圧力容器、素厚鉄管
	YM-60A	Ar-CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Mo-Ti	590N/mm <sup>2</sup> 級鋼の圧力容器、タタ、鉄骨、橋梁



フラックス入りワイヤは金属部分と粉末状物質からできており、粉末状物質は脱酸剤、合金剤、スラグ形成剤、アーク安定剤などからなっています。要するに、被覆アーク溶接棒の心線と被覆剤を逆にした構造です。

一般のフラックス入りワイヤの金属部分は、**図1 1 中央図**のように加工の容易な薄い軟鋼の帯鋼が使われ、粉末状物質を包み込む形で製造されています。

一方、当社では**図1 1 右図**のように独自の 방법으로継目のないシームレスフラックス入りワイヤ(SF ワイヤ)を製造、販売しています。

シームレスフラックス入りワイヤはその製造方法から、一般のフラックス入りワイヤに比べ、**表3**のような特徴があります。また、**表4**に代表的なフラックス入りワイヤの銘柄一覧表を示します。

表3 シームレスフラックス入りワイヤの基本特性

外皮部に隙間がない	ワイヤ断面形状が均一	耐吸湿性に優れる ターゲット性に優れる
高温脱水素処理が可能	極低水素	耐気孔性、耐低温割れ性に優れる
湿式表面処理が可能	銅めっき	通電性及びチップの耐磨耗性が良好で アークが安定する 耐錆性に優れる

表4 代表的なフラックス入りワイヤ銘柄一覧表

用途	銘柄	シールドガス	成分	内容	タイプ
軟鋼および 490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	SF-1	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	全姿勢溶接用ワイヤ系	シームレス
	SF-1・EX	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	同上の低ヒュームタイプ	
	SF-1V	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	立向上進において高電流溶接が容易	
	SM-1	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	充填フラックスが金属粉主体のワイヤで下向溶接において連続溶接が可能	
	SM-1F	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	水平すみ肉のビード外観に優れ、無機ジंकプライマー塗布鋼板の溶接	
	SM-1F・EX	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	同上の低ヒュームタイプ	
	SM-1FV・EX	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	無機ジंकプライマー塗布鋼板での水平すみ肉のビード外観に優れ、立向上進が可能な低ヒュームタイプ	
	FC-1	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	全姿勢溶接用ワイヤ系	かしめ
	FCM-1	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	充填フラックスが金属粉主体のワイヤで下向溶接において連続溶接が可能	
FCM-1F	CO <sub>2</sub>	Si-Mn	水平すみ肉のビード外観に優れ、無機ジंकプライマー塗布鋼板の溶接		
590N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	SF-3	CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Ni	造船E級鋼全姿勢用	シームレス
	FC-3Y	CO <sub>2</sub>	Si-Mn-Ni	造船E級鋼全姿勢用	かしめ



## サブマージアーク溶接

わが国で使用されているサブマージアーク溶接の技術は、1950年(昭和25年)頃アメリカから導入されたものです。1960年(昭和35年)にリンデ社の日本特許が期限切れとなり自由になってから、溶接材料メーカーをはじめ各方面、特に造船関係で研究が盛んになり、高能率性がさらに改善され、造船、橋梁などの分野に広く利用され高度の発展をとげています。

サブマージアーク溶接は、アークがちょうど海中に潜った潜水艦のように見えないため潜弧溶接とも呼ばれています。

この溶接方法は、連続したコイル状のワイヤの先端と母材との間にアークを発生させ、ワイヤの送給速度を自動的に調整しながら一定のアーク長さを保ちつつ、一方では粒状のフラックスを連続して供給し、アーク発生部を完全におおい、大気をシャ断して行う溶接方法です。図12, 図13, 図14に本法の溶接状況を示します。

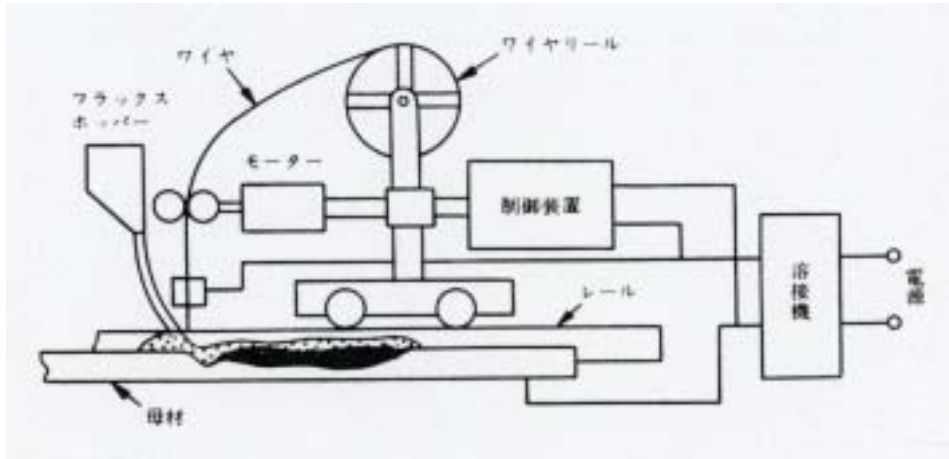


図12 サブマージアーク溶接方法

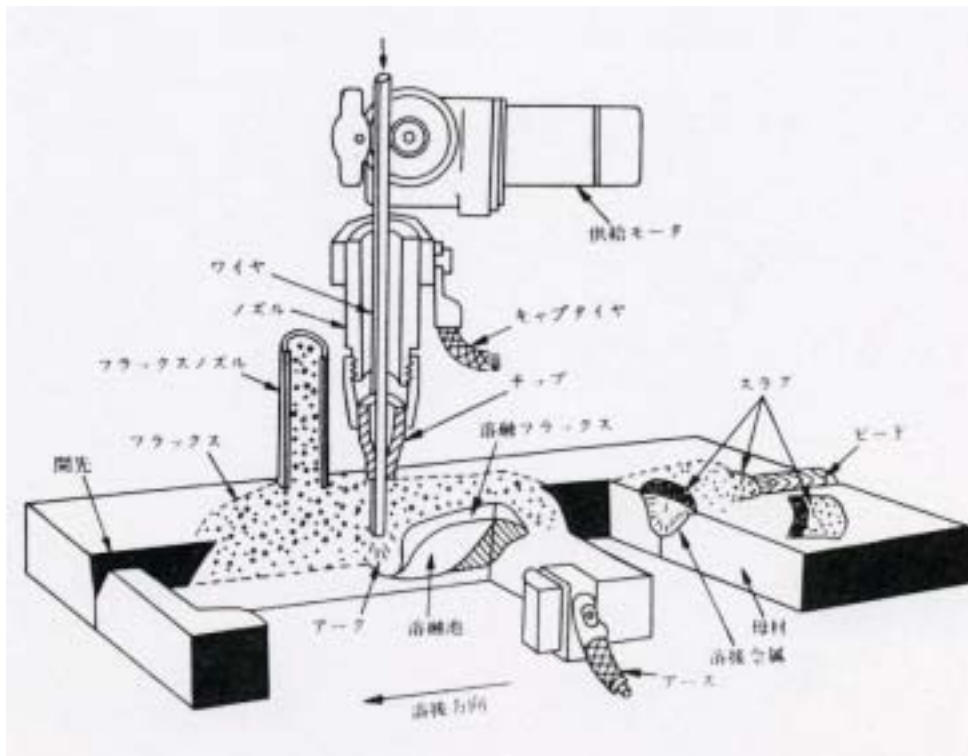


図13 サブマージアーク溶接の原理

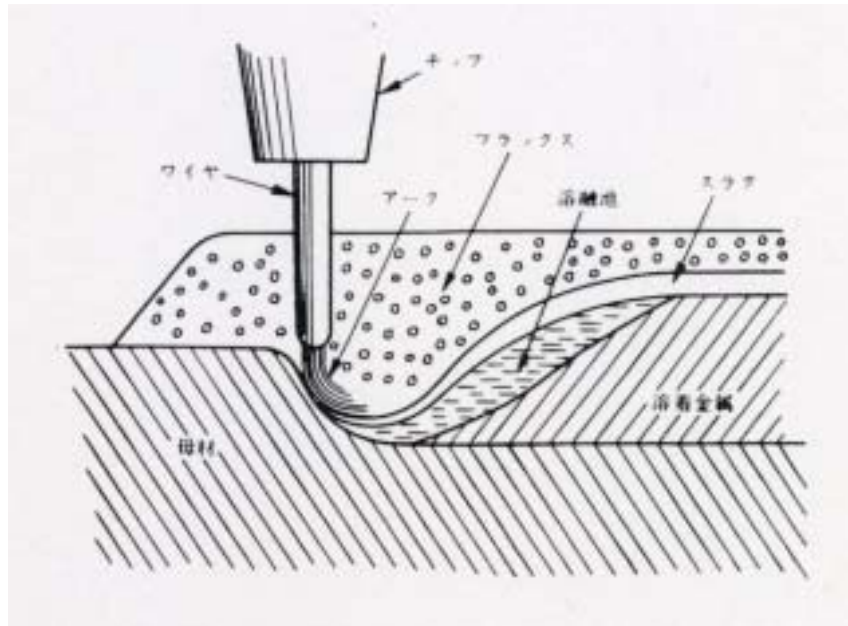


図 1 4 アーク周辺の状態図

この主な長所としては、下記の諸点があります。

- アークのすぐ上でワイヤに給電できるので、大電流の使用が可能になり、非常に能率が高くなる。
- フラックスによって熱の放散が防止されるので、熱の集中がよく、溶込みが著しく大きくなる。
- 被覆アーク溶接に比べて、溶接速度を増大することができる。
- 溶込みが大きいため、母材の開先加工を少なくすることができる。
- 作業員の疲労が少なく、長時間継続作業ができる。
- 溶接条件が安定化するので、信頼度の高い溶接継手が得られる。

また、短所としては、次の点が挙げられます。

- 設備費が被覆アーク溶接に比べて高価である。
- 溶接線が短いか、あるいは複雑に曲がっている場合は機械のセットや操作が面倒である。
- 開先加工の精度要求がきびしい。
- アークが見えないので、溶接の適否を確かめながら溶接することができない。
- 特殊な補助装置を使用しない限りは、下向あるいは水平すみ肉のように溶接姿勢が限定される。

現在、ワイヤを2本ないし3本以上使用する多電極溶接法や、充てん金属を使用するカットワイヤサブマージアーク溶接法ならびに片面溶接法などもあり、従来の2倍から3倍の高効率溶接が普及している。

サブマージアーク溶接用ワイヤは、JISで規定されており表5に示しますが、一般にマンガン(Mn)やけい素(Si)が増えると溶融金属中の酸素を奪う働き(脱酸作用)が盛んになり、ブローホールやピットが発生しにくくなります。しかし、溶着金属の引張強さが高くなるので高張力鋼の溶接には有利ですが、硬さが高くなるので注意しなければなりません。



表5 サブマージアーク溶接用ワイヤ

銘柄	JIS規格 (JIS Z3351)	用途	ワイヤ化学成分の一例(%)					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
Y-A	YS-S1	軟鋼、高張力鋼、硬化肉盛	0.07	0.01	0.58	-	-	-
Y-B	YS-S2	軟鋼、高張力鋼、硬化肉盛	0.10	0.02	1.12	-	-	-
Y-C	YS-S4	軟鋼、高張力鋼	0.12	0.02	1.55	-	-	-
Y-D	YS-S6	軟鋼、高張力鋼、低温鋼、硬化肉盛	0.11	0.02	2.02	-	-	-
Y-DL	YS-S6	軟鋼、高張力鋼	0.06	0.02	2.00	-	-	-
Y-E	YS-S6	高張力鋼、低温鋼	0.12	0.13	2.60	-	-	-
Y-CM	YS-M4	高張力鋼	0.10	0.04	1.82	-	-	0.51
Y-DM3	YS-M1	高張力鋼、低温アルミキルド鋼	0.12	0.03	2.10	-	-	0.25
Y-DM	YS-M5	高張力鋼、低温アルミキルド鋼	0.12	0.03	2.05	-	-	0.53
Y-204B	YS-NM1	590N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	0.06	0.13	1.97	-	1.03	0.41
Y-70M	YS-NCM1	690N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	0.11	0.14	1.93	0.51	0.87	0.39
Y-80M	YS-NCM3	780N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	0.10	0.02	1.68	0.60	2.46	0.58



サブマージアーク溶接用フラックスは、被覆アーク溶接棒の被覆剤と同様に、アークの安定、スラグの生成、脱リン、脱硫作用、および大気的作用に対するシールド効果などの役割をもち、粒状の鉱物性物質で、製造方法によって図15に示すように熔融フラックスおよびボンドフラックスの2種類に分類されています。

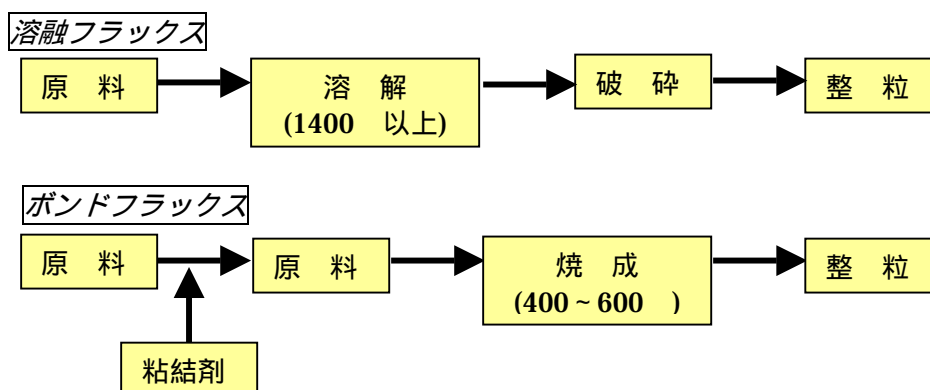


図15 サブマージアーク溶接用フラックス製造工程概略

溶融フラックスは、いろいろな鉱物性物質を混合し、電気炉などで 1400 以上の高温で溶融して冷却した後、必要な粒度に粉碎したものです。多くは、けい砂(SiO<sub>2</sub>)、一酸化マンガ( MnO)、酸化カルシウム(CaO)、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化マグネシウム(MgO)などを主成分として、ガラス質で吸湿がほとんどなく、低・中電流域での作業性が良好です。

ボンドフラックスは、いろいろな鉱物性物質、脱酸剤、合金元素などの粉末状原料を混合して水ガラスなどの粘結剤を加えて造粒焼成したもので、メルトフラックスと異なり、合金剤、鉄粉、炭酸塩などが自由に添加できることから多電極サブマージアーク溶接法などの大入熱溶接において良好な作業性と優れた溶接性能が得られます。表 6 に主なサブマージアーク溶接用フラックスを示します。

表 6 主なサブマージアーク溶接用フラックス

種別	銘柄	主な用途
溶融フラックス	YF-15A	軟鋼、490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼用、作業性良好
	YF-15	軟鋼、490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼用
	YF-15B	570 ~ 780N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼用
	YF-38	軟鋼高速溶接用
	YF-60	軟鋼、490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の下向きすみ肉溶接用
	YF-200	低温用鋼、低合金用
	YF800	軟鋼すみ肉溶接用
ボンドフラックス	NB-55E	490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の両面一層及び多層用
	NB-55L	低温で使用される 490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の多層用
	NB-55	低温で使用される 490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の多層用
	NB-250H	低温で使用される 590 ~ 780N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼の多層用
	NSH-53Z	厚板ボックス柱の角継手の単層溶接用



### 最後に

安定した安全な構造物は、最適な溶接材料の選択が不可欠ですが、それを溶接する装置・機器の不具合や技術・技能が未熟であると良好な溶接が完成せずに欠陥を抱えた構造物になってしまいます。溶接材料は、モノづくりに際して最も重要な要件を備えた材料であることがわかります。当社は、より使いやすく良好な性能の得られる溶接材料・機器の開発・生産に邁進しています。