

特集：被覆アーク溶接技術**被覆アーク溶接棒の歴史、規格、対応鋼種**日鉄溶接工業株式会社
研究所 長崎 肇**1. はじめに**

被覆アーク溶接法は最も古くから実用化され、現在でも広く工業界に利用されている溶接法である。溶接機は比較的安く入手でき材料に適した溶接棒さえあれば作業には溶接技量が要求されるものの、いろいろな工業製品の溶接に手軽に使用できるという利点がある。しかしながら溶接される材料の材質や板厚、あるいは溶接部に要求される性能や溶接姿勢など多くの要求を同時に満足させることは困難なため、それぞれの特性を有する溶接棒が必要で種々の溶接棒が市販されている。

従って、これら溶接棒を適材適所に用いて、信頼性の高い溶接継手を得るためには、溶接棒の機能、特性をよく理解し把握しておくことが重要である。

そこで本編では溶接棒の歴史、規格、対応鋼種について述べる。

2. 溶接棒の歴史

金属の溶接は用いるエネルギーにより電気、化学、あるいは機械的に分類されるが、一般的には電気エネルギーによるアーク溶接が種々の方法で広く用いられ、鉄骨・橋梁、造船、産業機器を中心として幅広い分野で大きく貢献している。アーク溶接法の発明は、約 130 年前の 1885 年ロシアにおける炭素アーク溶接法の発明に始まるが、その後、種々の方法が発明された。本編に述べる被覆アーク溶接法は、1907 年にスウェーデンの Kjellberg 氏により発明された¹⁾。

日本では 1914 年に長崎造船所(現・三菱重工業(株)長崎造船所)が Kjellberg 氏から特許権を購入し、スウェーデンに技師を送って製造を学び国内での生産が始まり²⁾、1940 年には従来の手塗り、どぶ漬けなどの手作りから大型のフラックス塗装機の導入により大幅な生産性の向上が図られた³⁾。戦後に入り、溶接材料への専門メーカーの参入が増え、ユーザーでの自家製被覆アーク溶接棒が消え溶接材料業界の系列化が進んだ。また、海外からの溶接構造物の引合い品に高張力鋼の採用が増えていることを知り、同種の溶接材料の国産化が検討され始めた⁴⁾。

このような技術動向を踏まえて 1952 年に発足し 1956 年に活動を開始した(社)日本溶接協会 溶接棒部会(現・(一社)日本溶接協会 溶接材料部会)、技術委員会では 1950 年代に表 1 に示すように被覆アーク溶接棒に関する研究が精力的に行われ⁵⁾、次に示す主な成果⁶⁾が JIS 原案作成へ反映され、表 2 に示される JIS として制定され現在に至っている。

表 1 1950年代の技術委員会のテーマ

| 年度 | 1956年 | 1957年 | 1958年 | 1959年 |
|-------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 第1分科会 | 溶接棒の試作研究 | 溶接棒の試作研究 | 溶接棒の試作研究 | 溶接棒の試作研究 ステンレス・モデル棒の製作 |
| 第2分科会 | 溶接棒の電気的研究 | 溶接棒の電気的研究 | 溶接棒の電気的研究 | 溶接棒の電気的研究 |
| 第3分科会 | スラグの諸性質の研究 | スラグの諸性質の研究 | スラグの諸性質の研究 | スラグの諸性質の研究 |
| 第4分科会 | 作業性の研究 | 作業性の研究 | 作業性の研究 | 作業性の研究 被覆アーク溶接棒の アーク現象 |
| 第5分科会 | 割れ試験方法の研究 | 割れ試験方法の研究 | 割れ試験方法の研究 | 割れ試験方法の研究 |
| 第6分科会 | 溶接棒規格に関する 試験法の検討 | 溶接棒規格に関する 試験法の検討 | 溶接棒規格に関する 試験法の検討 | 溶接棒規格に関する 試験法の検討 |
| 第7分科会 | 特殊溶接棒の研究 | 特殊溶接棒の研究 | 特殊溶接棒の研究 外国製ステンレス棒の 調査 | 特殊溶接棒の研究 ステンレスクラッド鋼用 溶接棒の研究 |
| 第8分科会 | | | 調質鋼用高張力鋼用 溶接棒の研究 | 調質鋼用高張力鋼用 溶接棒の研究 |

表 2 被覆アーク溶接棒の JIS 制定

| 規格 | 制定年 | 名称 |
|--------|------|----------------------------|
| Z 3210 | 1965 | 薄鋼板用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3211 | 1950 | 軟鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3212 | 1961 | 高張力鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3213 | 1977 | 低合金高張力鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3214 | 1982 | 耐候性鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3221 | 1957 | ステンレス鋼被覆アーク溶接棒 |
| Z 3222 | 1964 | クロムステンレス鋼被覆アーク溶接棒 |
| Z 3223 | 1966 | モリブデン鋼及びクロムモリブデン鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3224 | 1976 | ニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒 |
| Z 3225 | 1985 | 9%ニッケル鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3227 | 2013 | 極低温用オーステナイト系ステンレス鋼被覆アーク溶接棒 |
| Z 3231 | 1958 | 銅及び銅合金被覆アーク溶接棒 |
| Z 3241 | 1971 | 低温用鋼被覆アーク溶接棒 |
| Z 3251 | 1960 | 硬化肉盛用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3252 | 1961 | 鋳鉄用被覆アーク溶接棒 |

1) 被覆アーク溶接棒の電気的特性に関する研究

ホットスタートの研究、溶融、溶滴移行、溶着効率に関する研究が行われ、低水素系溶接棒の始端ブローホールの防止に結び付けられた。

2) 割れ試験法に関する研究

耐割れ性を正しく評価する試験法が確立されていなかった為、各試験法の溶接条件、試験条件の標準化など耐割れ性の評価の信頼性を高める研究を行い、研究終期には 60 キロ級高張力鋼用被覆アーク溶接棒の割れ試験法の検討、これらの成果は各種割れ試験方法の JIS 原案へ反映された。

3) 調質高張力鋼用溶接棒の調査研究

製鋼技術の発展にともなう焼入れ、焼戻し鋼材が製造され、対応できる被覆アーク溶接棒開発の必要性から鋼材及び溶材メーカー、ファブ、金材研、鉄研などから構成される分科会が設立され、共同実験の形で研究を開始した。供試材料は Mn-Mo-Ni 系、Mn-Ni-V 系及び Mn-Mo 系の三種類で全溶着金属及び継手の機械的性質、溶接割れ試験ほかを調査し、2H 鋼クラスの鋼材に対しては、Mo-Ni-V 系が最も適していると結論された。

図 1 に示すように、1973 年の第一次オイルショック以前は、被覆アーク溶接棒が主要な溶接材料であったが⁷⁾、それ以降は省力化、自動化の進展により、フラックス入りワイヤおよびソリッドワイヤにとって代わられた。しかしながら、豊富な鋼材対応種別、屋外の環境でも品質劣化が少ない等多くのメリットを有するため使用比率は減少したものの適材適所で根強く使用されている。

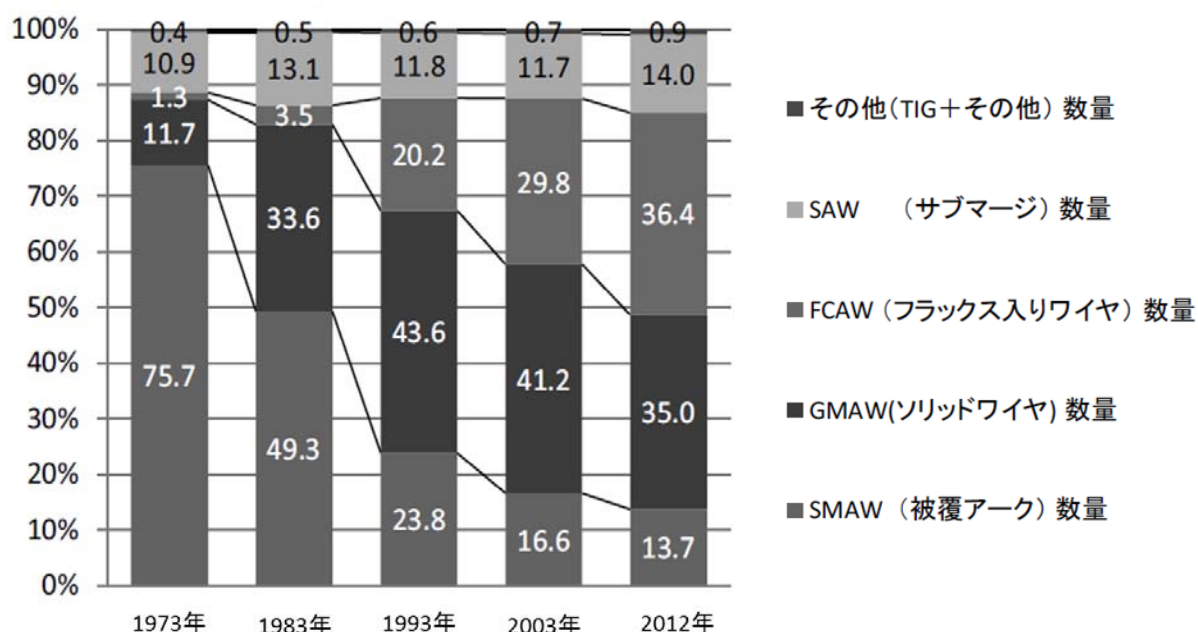


図 1 溶接材料の品種構成比推移 (%)

3. 溶接棒の規格

被覆アーク溶接棒には鉄鋼用と非鉄金属用があり、それぞれに JIS Z に分類されており表 3 に示すように 10 種類が規格化されている。

表 3 被覆アーク溶接棒の JIS

| 規格 | 名称 |
|---------------|----------------------------|
| Z 3211 : 2008 | 軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3214 : 2012 | 耐候性鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3221 : 2013 | ステンレス鋼被覆アーク溶接棒 |
| Z 3223 : 2010 | モリブデン鋼及びクロムモリブデン鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3224 : 2010 | ニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒 |
| Z 3225 : 1999 | 9%ニッケル鋼用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3227 : 2013 | 極低温用オーステナイト系ステンレス鋼被覆アーク溶接棒 |
| Z 3231 : 1999 | 銅及び銅合金被覆アーク溶接棒 |
| Z 3251 : 2000 | 硬化肉盛用被覆アーク溶接棒 |
| Z 3252 : 2012 | 鋳鉄用被覆アーク溶接棒 |

また、被覆系は 10 種類に分類され、以下に示す特徴をもって軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒 (JIS Z 3211:2008)、耐候性鋼用被覆アーク溶接棒 (JIS Z 3214:2012)、モリブデン鋼及びクロムモリブデン鋼用被覆アーク溶接棒 (JIS Z 3223:2010) がそれぞれ適用されている。

なお、溶接に関する規格として WES (日本溶接協会規格) があり、その趣旨は WES0001 の解説に述べられている通り、産業界の興隆に伴う溶接技術の発展と共に溶接に関した技術の交流、相互理解の促進、品質の明確化、品質保証、互換性の確保などを目的に製品の種類、試験方法、施工基準など業界規格 (団体規格) として標準化の必要性から作成された規格である。被覆アーク溶接棒関連では JIS では網羅されていないが一部業界で製造、使用されている引張強さが 860 及び 950MPa 以上の種別を WES4101:超高張力鋼用被覆アーク溶接棒 (解)、すみ肉溶接専用棒を WES4102:すみ肉溶接用被覆アーク溶接棒 (解) が WES 化されている。

3.1 ライムチタニヤ系 (EXX03)

酸化チタン (TiO_2) 約 30%と石灰石 (CaCO_3)、ドロマイト ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 約 20%程度被覆材中に含む系統で、立向上進姿勢での作業性が良く一般用である。

3.2 高セルロース系 (EXX10, EXX11)

木材、パルプ等の有機物を約 30%含有するガスシールド系の溶接棒で、米国でパイプラインの現場溶接等に多用されている。上向、立向下進溶接が容易であるが他の溶接姿勢での作業性が劣り、我が国ではほとんど使用されていない。

3.3 高酸化チタン系 (EXX12, EXX13)

40~50%の酸化チタンを含有し、アーク安定でスパッタが少なく、美しいビード外観を示す。しかし、じん性、耐割れ性が他の系統に比べ劣るので表面の仕上げ溶接あるいは車両等の薄板に使用される。

3.4 鉄粉酸化チタン系 (EXX14, EXX24)

高酸化チタン系に多量の鉄粉を含有させたものであり、高能率指向の溶接棒 (下向・水平すみ肉溶接用) である。わが国では使用実績は殆どない。

3.5 低水素系 (EXX15, EXX16, EXX48)

被覆剤の主成分は炭酸石灰などであり、水素量が少なく、耐低温割れ性、機械的性質に優れている。従って、拘束の大きい構造物や厚板等の溶接に用いられ、高張力鋼及び低温用鋼用には本成分系を採用している。アークがやや不安定で、ビードが凸形状を示す傾向にある。

3.6 鉄粉低水素系 (EXX18, EXX28)

下向及び水平すみ肉溶接用の高能率溶接棒で、機械的性質は低水素系と同等である。

3.7 イルミナイト系 (EXX19)

被覆材中にイルミナイト ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) を約 30%含有させたものであり、日本独特の系統である。アークの状態がやや強く、溶け込みも深い。

3.8 酸化鉄系 (EXX20)

酸化鉄を主成分として水平すみ肉溶接用として使用される。

3.9 鉄粉酸化鉄系 (EXX27)

酸化鉄を主成分として、これに鉄粉を添加して厚被覆とし水平すみ肉溶接用として使用される。

3.10 特殊系 (EXX40)

特殊な要望にこたえられるよう、メーカーが開発した特殊な系統。

4. 溶接棒の適用鋼種

10種類に規格化されたうちの、代表的な被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種を表4～12に示す。

Z 3211 に規定される軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表4に、Z 3221 に規定されるステンレス鋼被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表5に⁸⁾、Z 3223 に規定されるモリブデン鋼及びクロムモリブデン鋼用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表6に、Z 3224 に規定されるニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表7に、Z 3225 に規定される9%ニッケル鋼用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表8に、Z 3227 に規定される極低温用オーステナイト系ステンレス鋼被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表9に、Z 3231 に規定される銅及び銅合金被覆アーク溶接棒の用途を表10に、Z 3251 に規定される硬化肉盛用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例を表11に、Z 3252 に規定される鋳鉄用被覆アーク溶接棒の用途を表12に示す。

表4 軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3211 : 2008)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|-------|---|--|
| E49XX | 造船、車両、建築、橋梁などに用いられる軟鋼 ボイラや各種圧力容器、造船、パイプラインなどに用いられる炭素鋼管 造船、建築、橋梁、圧力容器などに用いられる 490MPa 級高張力鋼 | SS400, SM400, SB410, SGV410, STP410, STP480, STK400, STK490, SM490, SM490Y, SM520 |
| E55XX | | |
| E57XX | ボイラや各種圧力容器などに用いられる 570MPa 級高張力鋼 | SM570 |
| E59XX | 水圧鉄管、タンク、圧力容器、橋梁、海洋構造物などに用いられる 590MPa 級高張力鋼 | SM570Q, SPV450, HW390, HW450 |
| E62XX | 寒冷地向け構造物、圧力容器、タンク、海洋構造物など低温で用いられる 590MPa 級高張力鋼 | LT490 |
| E69XX | | |
| E78XX | 水圧鉄管、圧力容器、タンク、橋梁、産業機械、建設機械、水車ケーシング、寒冷地向け構造物、海洋構造物など低温で用いられる 780MPa 級高張力鋼 | HW685 |

表 5 ステンレス鋼被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3221 : 2013)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|----------|--|--------------------|
| ES209 | AISI タイプ 209 (UNS S20910) の溶接。窒素強化型オーステナイト系ステンレス鋼で、広範囲の温度で良好なじん性と高い強度を示す。 | |
| ES219 | AISI タイプ 219 (UNS S21900) の溶接。窒素強化型オーステナイト系ステンレス鋼で、広範囲の温度で良好なじん性と高い強度を示す。 | |
| ES240 | AISI タイプ 240 及び 241 の溶接。窒素強化型オーステナイト系ステンレス鋼で、広範囲の温度で良好なじん性と高い強度を示す。 | |
| ES307 | 組織は、オーステナイト単相であるが、高温割れが発生し難く、非磁性鋼の材料及び低温で使用される材料のほか、水車などのキャビテーション防止のための肉盛りとして使用される。 | |
| ES308 | 同様の組成の SUS304 のほか、類似組成の耐熱鋼材の溶接に使用される。 | SUS304 |
| ES308L | ES308 よりも炭素量を低くしたもの。SUS304L の溶接低炭素鋼用。炭素量が低く、溶接のままでも粒界腐食に優れている。 | SUS304L |
| ES308H | ES308 の炭素量を 0.04~0.08% に規定したもの。類似組成の鋼材の溶接用。炭素が高いために、高温での引張強さ及びクリープ強さに優れている。 | SUS304H |
| ES308N2 | ES308 と類似しているが、構造用強度部材 SUS304N2 の溶接用に 0.12~0.30% 窒素を添加した日本独自の種類である。延性の低下を防止しながら耐力と引張強さを向上している。窒素の添加に伴うフェライト量を調整のため、ES308 及び ES308L と比較してクロムを多く含有している。 | SUS304N2 |
| ES308Mo | ES308 にモリブデンを 3% 含む。類似組成の鋼材の溶接に使用される。又、SUS316 の溶接に際して ES316 ではフェライト量が不足する場合に使用される。 | |
| ES308MoJ | 溶着金属の組成は、ES308Mo とほぼ同じであるが、建築構造用として耐力と引張強さを向上させた日本独自の種類である。 | |
| ES308LMo | ES308Mo の炭素量を低くしたもの。類似組成の鋼材の溶接に使用される。又、SUS316L の溶接に際して ES316L ではフェライト量が不足する場合に使用される。 | |
| ES309 | 溶接棒と類似組成の鋼材の SUS309S の溶接に用いられ、ときには腐食性の強い場所で使われる。SUS304 系の溶接に用いることもある。また、異種金属の溶接、例えば、炭素鋼と SUS304、SUS304 クラッド鋼のクラッド側及び炭素鋼への肉盛り溶接に用いる。 | |
| ES309L | ES309 の炭素含有量を低くしたもの。主として炭素鋼と SUS304L の異材溶接、SUS304L クラッド鋼の初層溶接及び 308L、316L などの低炭素の肉盛り金属を得る場合の初層溶接に使用される。その他、SUS309S の溶接にも用いられる。 | |
| ES309Mo | ES309 に 2.5% のモリブデンを含むもの。例えば炭素鋼と SUS316 などの異種金属の溶接、316 組成の肉盛り金属を得るための初層溶接、又は SUS316 クラッド鋼のクラッド側の初層溶接に使用される。 | |
| ES309LMo | ES309Mo の炭素量を低くしたもの。用途は、316L 組成の肉盛り金属を得る際の初層溶接又は SUS316L クラッド鋼のクラッド側の初層溶接に使用される。 | |
| ES309Nb | ES309 にニオブを添加したもの。ニオブの添加により、耐粒界腐食性及び高温使用での強度を確保するのに有効である。主として 347 系のクラッド鋼の溶接及び 347 系ステンレス鋼と炭素鋼などとの異種金属の溶接に使用される。 | |
| ES309LNb | ES309Nb の炭素量を低くしたもの。ニオブの添加は、耐粒界腐食性及び高温使用での強度を確保するのに有効である。肉盛り溶接で初層から、347 の組成を必要とする場合の下層溶接、SUS347 クラッド鋼の溶接及び SUS347 と炭素鋼などとの異種金属の溶接に使用される。 | |
| ES310 | 同様の組成の SUS310S 及び SUH310 の溶接に用いられる。焼入性能の高い鋼の溶接に使用されて、じん性が大きいという特徴もあり、更に炭素鋼の溶接に用いても希釈された溶着金属が十分にじん性をもつので効果的である。また、この種の溶接棒は合金度が高いために、クラッド鋼の溶接時に炭素鋼からの希釈が大きくなっても、その悪影響を完全に防ぎ得る場合がある。また、同様な理由で、例えば、SUS304 と炭素鋼の溶接にも使われる。しかし、割れが発生しやすいので注意を要する。 | SUS310, SUS310S |
| ES310H | ES310 の炭素量を 0.35~0.45% と規定したもの。主に耐熱鋼及び耐熱鋼鋳鋼品 SCH21、SCH22 (ASTM HK) の溶接及び補修に使用される。この合金は、930℃以上の温度で高い強度を有する。しかし、高硫化雰囲気又は厳しい熱衝撃が生じる場所には推奨されない。760~870℃の温度に長時間さらされると、シグマ相及び二次炭化物の形成が引き起こされ、耐食性、じん性を低下させる危険性がある。 | |
| ES310Mo | ES310 にモリブデンを添加し、炭素量を 0.12% 以下にしたもの。ES310Mo は、耐熱鋳鋼、SUS316 クラッド鋼及び炭素鋼への肉盛り使用される。 | |

| | | |
|----------|---|-------------------|
| ES310Nb | ES310 に、ニオブを添加したこと及び炭素量を 0.12%以下にしたもの。耐熱鋳鋼、SUS347 クラッド鋼及び炭素鋼への肉盛に使用される。 | |
| ES312 | 溶着金属の代表的組成は、29%Cr-9%Ni で、オーステナイト地に多量のフェライトを含む二相合金である。異種金属の溶接で、一方のニッケル量が多い場合に使用され、溶接金属中にニッケルのような、オーステナイト形成元素が著しく増加しても、二相組織を維持できるので、溶接割れやマイクロ割れに対しても優れている。ただし、二次ぜい化相の形成をさけるため、使用温度を 420℃以下に制限することが望ましい。SUS312L には適用しない。 | |
| ES316 | SUS316 の溶接が主である。モリブデンを含むと高温のクリープ強度が増すので、耐熱鋼の溶接にも使用される。 | SUS316 |
| ES316L | ES316 の炭素量を低くしたもの。SUS316L の溶接に適する。炭素量が低いため、溶接のままで粒界腐食を防ぎ得るため、固溶化熱処理の不可能な場所に使用される。耐食性を確保するため、SUS304L の溶接にも使用される。 | SUS316L |
| ES316H | ES316 の炭素量を 0.04~0.08% と規定したもの。類似組成の鋼材の溶接に使用される。炭素が高いために、高温での引張強さ及びクリープ強さに優れている。 | |
| ES316LCu | SUS316J1L の溶接に使用する。硫酸環境で使用される機器の溶接に適し、炭素量が低く、溶接のままで粒界腐食を防ぎ得るため、固溶化熱処理の不可能な場所に使用される。 | SUS316J1L |
| ES317 | ES316 よりもモリブデンを多く含む。SUS317 の溶接に用いられる。硫酸又は亜硫酸及びこれらの塩を含む腐食液を扱う機器の溶接に使用される。 | SUS317 |
| ES317L | ES317 の炭素量が低いもの。ES316L よりもモリブデンが多く、同組成の SUS317 及び SUS317L の溶接に用いられる。この系統は普通、硫酸又は亜硫酸及びこれらの塩を含む腐食液を扱う機器の溶接に使用される。 | SUS317L |
| ES318 | ES316 にニオブを添加したもの。粒界腐食に対する抵抗性及び耐熱性が大きく、SUS316 にチタン又はニオブが添加されている材料及び SUS316 の溶接に使用される。 | |
| ES320 | 溶着金属の代表的組成は、20%Cr-34%Ni-2.5%Mo-3.5%Cu で、耐粒界腐食性を向上させるため、ニオブを添加している。ES320 は、主に硫酸又は亜硫酸及びこれらの塩を含む腐食液を扱う機器の溶接に使用される。また、溶接後熱処理なしで、類似組成の鋳鋼及び鍛造品の溶接に使用できる。 | |
| ES320LR | 溶着金属の組成は ES320 と類似であるが、炭素、けい素、りん及び硫黄の上限を抑え、ニオブ及びマンガンに狭い範囲で規制している。これらの規定は、耐食性を維持したままで、完全オーステナイトステンレス鋼の溶接金属において問題となる高温割れの低減に効果がある。 | |
| ES329J1 | 溶着金属の代表的組成は、25%Cr-7%Ni-2%Mo で、類似組成の二相ステンレス鋼の溶接に使用される。溶着金属の組織は、オーステナイトとフェライトの混合した二相組織である。耐孔食性及び耐応力腐食割れに有効で、しかも耐海水性、耐りん酸性にも優れた日本独自の種類である。 | SUS329J1 |
| ES329J4L | 溶着金属の代表的組成は、26%Cr-10%Ni-3%Mo に窒素を添加したもので、類似組成の二相ステンレス鋼の溶接に使用される。溶着金属の組織は、オーステナイトとフェライトの混合した二相組織である。耐孔食性、耐応力腐食割れ、耐海水性及び耐りん酸性のいずれにおいても ES329J1 よりさらに優れた日本独自の種類である。 | SUS329J4L |
| ES330 | 溶着金属の代表的組成は、15%Cr-35%Ni である。ES330 は、980℃以上で耐熱及び耐スケール性を要求される箇所に使用されるが、高硫化雰囲気では推奨されない。ES330 は、主に合金鋳鋼の補修、類似組成の鋳鋼及び鍛造合金の溶接に使用される。 | SUH330 |
| E330H | ES330 の溶着金属の組成は炭素が 0.35~0.45% で規定されているもの。主に耐熱鋼及び耐熱鋼鋳鋼品 SCH15 (ASTM HT) の溶接及び補修に使用される。この合金系は、酸化性雰囲気では 1150℃まで、還元性雰囲気では 1090℃まで使用可能であるが、高硫化雰囲気では推奨されない。 | |
| ES347 | 溶着金属の代表的組成は、19%Cr-9%Ni に炭素を固定するためのニオブを含んだもので、割れ防止の点からクロム含有量はニッケル含有量の 1.9 倍以上であることが望ましい。一般には 18-8Nb、19-9Nb と呼ばれているものである。用途は溶接棒と同様の組成の SUS347 又はチタンを含む SUS321 の溶接が主で、粒界腐食を防止するのに有効である。また、耐熱の用途にも適する。 | SUS321, SUS347 |
| ES347L | ES347 の低炭素タイプ。耐食性を向上させるために低炭素としたもので、主に軟鋼又は低合金鋼の上に溶接材料と類似組成のステンレス鋼を肉盛溶接する場合の 2 層目以上に使用される。 | SUS347, SUS321 |
| ES349 | 溶着金属の組成は、19%Cr-9%Ni-1%Nb-0.5%Mo-1.5%W で、一般には 19-9WMo と呼ばれている。溶着金属の組成は、耐割れ性を増すため、若干のフェライトを含むように調整されている。通常、類似組成の鋼板の溶接に使用し、高温で良好なラプチャー強度が必要な場所に使用される。 | |

| | | |
|-----------|--|-----------------|
| ES383 | 溶着金属の代表的組成は、28%Cr-32%Ni-3.5%Mo-Cu である。ES383 は、類似組成の鋼板及び他のステンレス鋼の溶接にも使用され、硫酸及びりん酸雰囲気推奨される。炭素、けい素、りん及び硫黄は、完全オーステナイトステンレス鋼の溶接金属において問題となる高温割れを減少させるため、上限を規制している。 | |
| ES385 | 主に硫酸及び多量の塩素含有溶液を取扱う SUS890 (UNS N08904) の溶接に使用される。また、SUS317L の溶接部にさらなる耐食性が要求される場合にも使用される。高温割れを防止するため、炭素、けい素、りん及び硫黄を調整している。 | |
| ES409Nb | ES410 にニオブを添加したもの。溶接金属はフェライト組織であり、自硬性がないため 410 よりも溶接性が良好である。SUS403、405、410 などの鋼材の溶接に使用するほか、炭素鋼及び低合金鋼に対する肉盛溶接又は SUS405、410 クラッド鋼の 2 層目以上の溶接に使用される。 | SUS403,405, 410 |
| ES410 | 溶着金属の代表的成分は 13%Cr で、溶接棒と同様の組成の SUS405、410S、410 などの鋼材の溶接用又は耐食性、耐摩耗性を与えるための肉盛溶接用としても多く使用される。溶着金属はマルテンサイト組織となり自硬性があるので、溶接に際しては、割れを防止するための予熱及び延性を得るための後熱処理が必要である。 | SUS403,410 |
| ES410NiMo | 溶着金属の代表的組成は 12%Cr-4%Ni-Mo で、溶接棒と類似組成の鋼材の溶接に使用される。この種類は、機械的性質を阻害するフェライトを除去するために、ES410 に比べクロムを低下させニッケルを含有させている。溶接後熱処理温度が 620℃を超えると、冷却中に生じる焼戻しを受けていないマルテンサイトのために再度硬化する。 | |
| ES430 | 溶着金属はフェライト組織を呈し、SUS430 の溶接用として使用される。一般にクロム量が高いと、じん性は低下する傾向にある。ES430 による同系母材の溶接には予熱及びパス間温度の管理が必要で、十分な機械的性質及び耐食性を得るには、溶接部の後熱処理が必要である。 | SUS430 |
| ES430Nb | ES430 にニオブを添加したもの。微細なフェライト組織であり、自硬性がないのは 409Nb、430 と同様であるが、430 よりも溶接性が良好である。SUS430 鋼材の溶接に使用するほか、肉盛溶接又は SUS405、410 クラッド鋼の母材側初層の溶接にも使用される。 | SUS430 |
| ES630 | 溶接金属でマルテンサイト地中のフェライト量を調整したものであり、析出硬化型ステンレス鋼 SUS630 の溶接に使用される。溶接のまま使用されることもあるが、主に析出硬化処理を行って使用する。また、溶接後に固溶化処理を行い、さらに析出硬化処理を行って使用することもある。 | SUS630 |
| ES16-8-2 | 溶着金属の代表的組成は 16%Cr-8%Ni-2%Mo である。組織はオーステナイト系で、通常フェライトナンバ 5 (5FN) 以下である。溶着金属は高温延性が良好であり、厳しい拘束状態でも溶接割れやクレータ割れを起こさない。溶接のままでも、固溶化熱処理を施した状態でも溶接部は、良好な性能を確保している。 | |
| ES2209 | 二相ステンレス鋼 SUS329J3L、UNS S31803 の溶接用。溶接金属は耐応力腐食割れ及び孔食に対して優れている。 | SUS329J3L |
| ES2553 | 類似の 25%Cr 系二相ステンレス鋼などの溶接用溶接金属は耐応力腐食割れ及び孔食に対して優れている。 | |
| ES2593 | スーパー二相ステンレス鋼、SUS327L1、UNS S32750、UNS S32760 などの溶接用。溶接金属は耐応力腐食割れ及び孔食に対して優れている。 | SUS327L1 |

表 6 モリブデン鋼及びクロムモリブデン鋼用被覆アーク溶接棒の
用途と適用鋼種例 (Z 3223 : 2010)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|----------------|--|-----------------|
| E49XX-1M3 | 0.5%Mo 鋼 | |
| E55XX-CM | 0.5%Cr-0.5%Mo 鋼 | ASTM A387 Gr.2 |
| E55XX-C1M | 0.5%Cr-1%Mo 鋼 | ASTM A387 Gr.12 |
| ES55XX-1CM | 1.25%Cr-0.5%Mo 鋼 | ASTM A387 Gr.11 |
| E52XX-1CML | 炭素含有量が 0.5%以下で、1.25%Cr-0.5%Mo 鋼 | |
| E62XX-2C1M | 2.25%Cr-1%Mo 鋼 | ASTM A387 Gr.21 |
| E55XX-2C1ML | 炭素含有量が 0.5%以下で、1.25%Cr-1%Mo 鋼 | |
| E55XX-2CML | 炭素含有量が 0.5%以下で、2.25%Cr-0.5%Mo 鋼 | |
| E57XX-2CMWV | 2.25%Cr-0.25%Mo-1.5%W-Nb-V 鋼 | ASTM A213 TP23 |
| E57XX-2CMWV-Ni | 2.25%Cr-1%Ni-1.5%W-Nb-V 鋼 | |
| E62XX-2C1MV | 2.3%Cr-1%Mo-Nb-V 鋼 | |
| E62XX-3C1MV | 3%Cr-1%Mo-Nb-V 鋼 | |
| E55XX-5CM | 5%Cr-0.5%Mo 鋼 | ASTM A387 Gr.5 |
| E55XX-5CML | 炭素含有量が 0.5%以下で、5%Cr-0.5%Mo 鋼 | |
| E62XX-9C1M | 9%Cr-1%Mo 鋼 | ASTM A387 Gr.9 |
| E62XX-9C1ML | 炭素含有量が 0.5%以下で、9%Cr-1%Mo 鋼 | |
| E62XX-9C1MV | 9%Cr-1%Mo-Nb-V-N 鋼 | ASTM A387 Gr.91 |
| E62XX-9C1MV1 | 9%Cr-1%Mo-Nb-V-N 鋼 | |
| E69XX-9CMWV-Co | 9%Cr-1%Mo-1%Co-1.5%W-0.8%Ni-Nb-V-N 鋼 | |
| E69XX-9CMWV-Cu | 9%Cr-1%Mo-1.5%Cu-1.5%W-0.8%Ni-Nb-V-N 鋼 | |
| E83XX-10C1MV | 10%Cr-1%Mo-Nb-V-N 鋼 | |

表7 ニッケル及びニッケル合金被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3224 : 2010)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|----------|--|---------|
| ENi 2061 | 工業用純ニッケル（特に UNS N02200 または N02201）の鍛造及び鋳造材の溶接、純ニッケルクラッド鋼のクラッド側の溶接、鋼への肉盛溶接及び異種金属の溶接 | 純ニッケル |
| ENi 4060 | ニッケル-銅合金（特に UNS N04400）の溶接、ニッケル-銅合金クラッド鋼のクラッド側の溶接、鋼への肉盛溶接に用いられる。また、溶接後熱処理を行う環境下での使用にも適している。 | モネル |
| ENi 4061 | ニッケル-銅合金（特に UNS N04400）の溶接、ニッケル-銅合金クラッド鋼のクラッド側の溶接に用いられ、特に鋼への肉盛溶接など異種金属の溶接にも使用される。ただし、ニオブが耐食性を悪化させるような環境下では、Ni 4060 を使用することが望ましい。 | |
| ENi 6082 | ニッケル-クロム合金（特に UNS N06075、UNS N07080）及びニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06600、UNS N06601）の溶接に用いられる。溶接金属はこれらの用途に使う他の合金溶接金属と比べて、クロム含有量が高いことが特徴である。また、肉盛溶接及び異種金属の継手溶接にも用いられ、極低温用途のニッケル鋼の溶接に用いられることもある。 | |
| ENi 6231 | ニッケル-クロム-タングステン-モリブデン合金（特に UNS N06230）の溶接に用いられる。 | |
| ENi 6025 | ニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06025 及び UNS N06603）の溶接に用いられる。溶接部は、優れた耐酸化性、耐炭化性及び耐硫化性を有し、1200℃までの温度で用いられる。 | |
| ENi 6062 | ニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06600、UNS N06601）の溶接、ニッケル-クロム-鉄合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び鋼への肉盛溶接に用いられ、異種金属の溶接において良好な溶接性能を示す。この分類の溶接棒は、約 980℃までの温度での適用が可能であるが、820℃を超える温度では、最適な耐酸化性や強度を示さない。 | |
| ENi 6093 | 9%ニッケル鋼（特に UNS K81340）の溶接に用いられ、溶着金属は Ni 6133 より高い強度を有する。 | |
| ENi 6094 | 9%ニッケル鋼（特に UNS K81340）の溶接に用いられ、溶着金属は Ni 6133 より高い強度を有する。 | |
| ENi 6095 | 9%ニッケル鋼（特に UNS K81340）の溶接に用いられ、溶着金属は Ni 6133 より高い強度を有する。 | |
| ENi 6133 | ニッケル-鉄-クロム合金（特に UNS N08800）及びニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06600）の溶接に用いられ、特に異種材料の溶接に適用される。約 980℃までの温度で適用が可能であるが、820℃を超える温度では、最適な耐酸化性や強度を示さない。 | |
| ENi 6152 | 本規格に定められている他のニッケル-クロム-鉄合金溶接棒に比べて、より高いクロム含有量の溶接金属が得られるため、高クロム-ニッケル基合金（特に UNS N06690）の溶接に用いられる。さらに、耐食性の向上を目的とした低合金鋼及びステンレス鋼への肉盛溶接、異種金属の継手の溶接に用いられることもある。 | |
| ENi 6182 | ニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06600）の溶接、ニッケル-クロム-鉄合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び鋼への肉盛溶接に用いられ、さらに、鋼と他のニッケル基合金との溶接にも用いることができる。後者の適用方法の場合、温度は約 480℃が上限であるが、前者の場合、高い温度で用いることができる。また、耐高温割れ性は、このグループの他の溶接金属より優れている。 | |
| ENi 6333 | ニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06333）の溶接に用いられる。溶接部は、優れた耐酸化性、耐炭化性及び耐硫化性を示し、1000℃までの温度あるいはそれ以上の温度で使用される。 | |
| ENi 6701 | 類似の成分を持つニッケル基合金鋳造品の溶接に用いられる。溶接部は、優れた耐酸化性を示し、1200℃までの温度で使用される。 | |
| ENi 6702 | 類似の成分を持つニッケル基合金鋳造品の溶接に用いられる。溶接部は、優れた耐酸化性を示し、1200℃までの温度で使用される。 | |
| ENi 6704 | ニッケル-クロム-鉄合金（特に UNS N06025 及び UNS N06603 などの）の溶接に用いられる。溶接部は、優れた耐酸化性、耐炭化性及び耐硫化性を示し、1200℃までの温度で使用される。 | |
| ENi 6002 | ニッケル-クロム-モリブデン合金（特に UNS N06002）の溶接、ニッケル-クロム-モリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及びニッケル-クロム-モリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ X |

| | | |
|----------|---|------------|
| ENi 6012 | 6%Mo タイプの高オーステナイト系ステンレス鋼の溶接に用いられる。溶接部は、塩化物含有の環境において非常に良好な耐孔食性及び耐隙間腐食性を示し、ニオブ含有量が低いので溶接性が良好である。 | |
| ENi 6022 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06022）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ C22 |
| ENi 6024 | オーステナイト・フェライト二相組織を有するステンレス鋼の溶接に用いられ、溶接金属は優れた強度と耐食性を有しているため、スーパー二相ステンレス鋼（特に UNS S32750 など）の溶接に適している。 | |
| ENi 6030 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06030）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ G30 |
| ENi 6059 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06059）及びクロムニッケルモリブデン組成のオーステナイト系ステンレス鋼の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | アロイ 59 |
| ENi 6200 | ニッケルクロムモリブデン銅合金（特に UNS N06200）の溶接に用いられる。 | |
| ENi 6205 | ニッケルクロムモリブデン銅合金（特に UNS N06200）の溶接に用いられる。 | |
| ENi 6275 | ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N10002）の溶接、この合金と鋼との溶接及びニッケルクロムモリブデン合金を鋼に肉盛溶接するために用いられる。 | |
| ENi 6276 | ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N10276）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ C276 |
| ENi 6452 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06455）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | |
| ENi 6455 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06455）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ C4 |
| ENi 6620 | 9%ニッケル鋼（特に UNS K81340）の溶接に用いられ、溶接は、磁気吹きを防ぐために交流が推奨される。また、溶着金属は、鋼に類似した線膨張係数を有する。 | |
| ENi 6625 | ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06625）の溶接、この合金と鋼との溶接、鋼へのニッケルクロムモリブデン合金の肉盛溶接及び極低温用 9%ニッケル鋼の溶接に用いられる。溶接金属の耐食性は UNS N06625 に匹敵し、約 540℃までの温度で使用できる。 | インコネル 625 |
| ENi 6627 | クロムニッケルモリブデン組成のオーステナイト系ステンレス鋼の溶接、このステンレス鋼と二相ステンレス鋼の溶接、このステンレス鋼とニッケルクロムモリブデン合金の溶接、あるいはこのステンレス鋼と他の鋼材との溶接に用いられる。耐食性に有害な結果をもたらす可能性のある母材との反応を減少させるために、溶接金属はバランスのとれた組成を有している。 | |
| ENi 6650 | 海洋構造物あるいは化学工業用の低炭素ニッケルクロムモリブデン合金及びクロムニッケルモリブデン組成のオーステナイト系ステンレス鋼（特に UNS N08926）の溶接に用いられる。さらに、肉盛溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と炭素鋼またはニッケル基合金との異種金属の継手の溶接、9%ニッケル鋼の溶接にも使用される。 | |
| ENi 6686 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06686）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | |
| ENi 6985 | 低炭素ニッケルクロムモリブデン合金（特に UNS N06985）の溶接、低炭素ニッケルクロムモリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及び低炭素ニッケルクロムモリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | |
| ENi 6117 | ニッケルクロムコバルトモリブデン合金（特に UNS N06617）の溶接、この合金と鋼との溶接及び鋼への肉盛溶接に用いられる。さらに、ニッケル鉄クロム合金（特に UNS N08800、UNS N08811）及び高ニッケル铸造合金など、約 1150℃までの高温強度と耐酸化性が求められる耐熱合金の溶接にも用いられる。 | インコネル 617 |

| | | |
|----------|--|----------------------|
| ENi 8025 | 銅を含有するオーステナイト系ステンレスのクロム-ニッケル-モリブデン合金（特に UNS N08904）及びニッケル-クロム-モリブデン合金（特に UNS N08825）の溶接に用いられる。さらに、鋼への肉盛溶接にも用いることができるが、この場合ニッケル-クロム-鉄合金で下盛溶接した後に用いなければならない。 | |
| ENi 8165 | 銅を含有するオーステナイト系ステンレスのクロム-ニッケル-モリブデン合金（特に UNS N08904）及びニッケル-クロム-モリブデン合金（特に UNS N08825）の溶接に用いられる。さらに、鋼への肉盛溶接にも用いることができるが、この場合ニッケル-クロム-鉄合金で下盛溶接した後に用いなければならない。 | |
| ENi 1001 | 類似の成分を持つニッケル-モリブデン合金（特に UNS N10001）の溶接、ニッケル-モリブデン合金クラッド鋼継手のクラッド側の溶接及びニッケル-モリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ B |
| ENi 1004 | ニッケル基合金、コバルト基合金及び鉄基合金などの異種金属の組合せの溶接に用いられる。 | |
| ENi 1008 | 9%ニッケル鋼（特に UNS K81340）の溶接に用いられ、溶着金属は Ni 6133 より高い強度を有する。 | |
| ENi 1009 | 9%ニッケル鋼（特に UNS K81340）の溶接に用いられ、溶着金属は Ni 6133 より高い強度を有する。 | |
| ENi 1062 | ニッケル-モリブデン合金（特に UNS N10629）の溶接、ニッケル-モリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及びニッケル-モリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | |
| ENi 1066 | ニッケル-モリブデン合金（特に UNS N10665）の溶接、ニッケル-モリブデン合金クラッド鋼のクラッド側の溶接及びニッケル-モリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ B2 |
| ENi 1067 | ニッケル-モリブデン合金（特に UNS N10665 及び N10675）の溶接及びニッケル-モリブデン合金と鋼、あるいは他のニッケル基合金との溶接に用いられる。 | ハステロイ B2 ハステロイ B3 |
| ENi 1069 | ニッケル基合金、コバルト基合金及び鉄基合金などの異種金属の組合せの溶接に用いられる。 | |

注) モネル、インコネル、インコロイは、スペシャルメタル社の登録商標です。
ハステロイは、ヘインズインターナショナル社の登録商標です。

表 8 9%ニッケル鋼用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3225 : 1999)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|--------|--|-----------------|
| D9Ni-1 | 主成分がニッケル-クロム-ニオブ系の溶接棒で、9%ニッケル鋼の溶接 | SL9N520,SL9N590 |
| D9Ni-2 | 主成分がニッケル-クロム-モリブデン-タングステン系の溶接棒で、9%ニッケル鋼の溶接 | SL9N520,SL9N590 |

表 9 極低温用オーステナイト系ステンレス鋼被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3227 : 2013)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|------------|--|---------|
| CES308L-X5 | 低温じん性に優れた SUS304L 溶接用、直流専用で被覆剤が塩基性 | SUS304L |
| CES308L-X6 | 低温じん性に優れた SUS304L 溶接用、交流、直流で溶接可能、被覆剤はルチールタイプ | SUS304L |
| CES308L-X7 | 低温じん性に優れた SUS304L 溶接用、直流専用で被覆剤にシリカを含むタイプ | SUS304L |
| CES316L-X5 | 低温じん性に優れた SUS316L 溶接用、直流専用で被覆剤が塩基性 | SUS316L |
| CES316L-X6 | 低温じん性に優れた SUS316L 溶接用、交流、直流で溶接可能、被覆剤はルチールタイプ | SUS316L |
| CES316L-X7 | 低温じん性に優れた SUS316L 溶接用、直流専用で被覆剤にシリカを含むタイプ | SUS316L |

表 10 銅及び銅合金被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3231 : 1999)

| 記号 | 用途 |
|---------|--|
| DCu | 純銅の溶接及び肉盛、純銅と異種金属の溶接 |
| DCuSiA | 純銅、エバジュール(けい素青銅)、黄銅の溶接及び肉盛、銅合金と軟鋼の継手、鋼へのライニング |
| DCuSiB | 純銅、エバジュール(けい素青銅)、黄銅の溶接及び肉盛、銅合金と軟鋼の継手、鋼へのライニング |
| DCuSnA | 黄銅、銅の溶接及び肉盛、補修溶接 |
| DCuSnB | りん青銅、黄銅、銅合金の溶接、銅合金と炭素鋼などの異材溶接、青銅鋳物の補修溶接 |
| DCuAl | アルミ青銅、黄銅、青銅の溶接、アームスブロンズクラッド鋼の初層溶接及び肉盛溶接 |
| DCuAlNi | アルミ青銅の溶接、DCuAl より耐食性、耐摩耗性が良好 |
| DCuNi-1 | 9/1 キュプロニッケル (90%Cu-10%Ni) の溶接、肉盛溶接、異材継手 |
| DCuNi-3 | 7/3 キュプロニッケル (70%Cu-30%Ni) 、9/1 キュプロニッケルの溶接、肉盛溶接 |

表 11 硬化肉盛用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3251 : 2000)

| 記号 | 用途 | 適用鋼種例 |
|---------|---|---|
| DF2A | 炭素低合金組成のものはパーライト組織、高炭素高合金組成のものはマルテンサイト組織となる。被覆材の系統には、塩基性、高酸化チタン及びライムチタニアの3種類がある。 | 歯車、まくらピン、車軸、クレーンホイール、スプロケット、建設機械部品などの肉盛溶接 |
| DF2B | 低炭素低合金組成のものはマルテンサイト組織、高炭素高合金組成のものは残留オーステナイトが混ざったマルテンサイト組織となる。被覆材の系統には、塩基性、高酸化チタン及びライムチタニアの3種類がある。 | 建設機械、鉱山機械、歯車、ピンなどの肉盛溶接 |
| DF3B | 3~9%のクロムを含む。耐食、耐熱性に優れる。炭素含有量により金属組織が異なり、低炭素低クロム組成では、マルテンサイトとパーライトの混合組織、中炭素組成では、マルテンサイト組織、高炭素高クロム組成では、マルテンサイト組織に多量の残留オーステナイトを混ぜた組織となる。溶接のままの硬さは、HV450~700程度。 | |
| DF3C | 3~9%のクロムを含む。耐食、耐熱性に優れる。炭素含有量により金属組織が異なり、低炭素低クロム組成では、マルテンサイトとパーライトの混合組織、中炭素組成では、マルテンサイト組織、高炭素高クロム組成では、マルテンサイト組織に多量の残留オーステナイトを混ぜた組織となる。溶接のままの硬さは、HV550~900程度。ホウ素を含む材料は、HV700~900程度を示し、耐食、耐熱性が要求される部品や工具に用いられる。 | |
| DF4A | 13Cr ステンレス鋼系で、マルテンサイト組織となる。低炭素組成のものはフェライトを含む組織となる。耐食、耐熱性に富み、高温強度と耐摩耗性に優れている。475℃ぜい性や空冷硬化による溶接割れが発生しやすいので、予熱、後熱を行い溶接金属を徐冷させる必要がある。溶接のままの硬さは、HV350~600程度。 | 高温高圧バルブ、発電用水車ランナ、ガイドページ、高温工具の刃先などの肉盛溶接 |
| DF4B | 13Cr ステンレス鋼系で、マルテンサイト組織となる。高炭素組成のものはレーデブライトを含む組織となる。耐食、耐熱性に富み、高温強度と耐摩耗性に優れている。475℃ぜい性や空冷硬化による溶接割れが発生しやすいので、予熱、後熱を行い溶接金属を徐冷させる必要がある。炭素含有量が高いものは、加工硬化しやすく、溶接のまま HV350程度のもので衝撃を受けて HV500~600程度まで硬化し、優れた耐摩耗性を発揮するものがある。 | 高温高圧バルブ、発電用水車ランナ、ガイドページ、高温工具の刃先などの肉盛溶接 |
| DF5A | 高速度鋼系。モリブデンを含む系統。金属組織は硬質の炭化物粒子が析出した、残留オーステナイトが混ざったマルテンサイト組織となる。硬さは HV600~800程度。 | 高速度鋼より安価な鋼材に肉盛溶接して、トリマナイフ、各種カッタ、バイト、ダイスなどの製造 |
| DF5B | 高速度鋼系。タングステンを含む系統。金属組織は硬質の炭化物粒子が析出した、残留オーステナイトが混ざったマルテンサイト組織となる。硬さは HV600~800程度。 | 高速度鋼より安価な鋼材に肉盛溶接して、トリマナイフ、各種カッタ、バイト、ダイスなどの製造 |
| DFMA | 13%マンガンを含み、高マンガンオーステナイト系。溶接のままの硬さは HV150~300程度であるが、加工硬化により HV400~550となる。 | 各種クラッシュなどの重衝撃を受ける部品の溶接 |
| DFMB | 13%マンガンを含み、高マンガンオーステナイト系。溶接のままの硬さは HV150~300程度であるが、加工硬化により HV400~550となる。若干のニッケルを含み、延性に富むが、DFMA に比べて強度がやや劣る。 | 各種クラッシュなどの重衝撃を受ける部品の溶接 |
| DFCrA | 2.5~6%の炭素と 20~35%のクロムをベースとして、マンガン、モリブデン、タングステン、コバルト、ニオブ、バナジウムなどを含み、オーステナイト地、マルテンサイト地、又はその混合組織に多量のクロム炭化物と複炭化物が分散したもの。硬さは HV550~1000程度。パス間温度などの冷却速度の変化による硬さの変化がほとんど無い。耐研磨性及び約 500℃以上での高温下での耐摩耗性に優れている。 | ロールクラッシャ、クラッシュングプレート、ポンプケーシング、サンドブラスト、ミキサブレード、ショベルティース、コークスカップなど、土木建設、製鉄関係の刃先類の肉盛溶接 |
| DFWA | タングステン炭化物系。鋼系の素地にタングステン炭化物が混在している金属組織となる。硬化肉盛用としては最も硬い部類。HV600~1100。アーク熱で分解したタングステンと炭素が若干溶解しもろくなり、亀甲状の割れが発生しやすくなるので、3層盛以上の多層盛溶接は避ける。 | ドレッシングのカッタナイフ、スピードマーラ、コンベアスクリーなど肉盛溶接 |
| DFCoCrA | コバルト合金、ステライト No.6 の溶接棒。じん性と耐割れ性に優れ、熱間と冷間の強い衝撃にも耐える。硬度は、HV350~450程度。溶接後の機械加工が可能。 | 高温高圧バルブ、鍛造金型、熱間シャー、ダイスなどの肉盛溶接 |

| | | |
|---------|--|--------------------------------|
| DFCoCrB | コバルト合金、ステライト No.12 の溶接棒。硬さ、じん性、耐割れ性は、DFCoCrA と DFCoCrC の中間の性能を示す。硬度は HV400～550 程度。機械加工はやや困難。 | カッターナイフ、バルブシートなどの肉盛溶接 |
| DFCoCrC | コバルト合金、ステライト No.1 の溶接棒。最も高い硬度と耐熱耐摩耗性を有する。硬度は HV500～700 程度。耐衝撃性にはやや劣る。溶接後の機械加工は不可能。 | カッターナイフ、コンベアスクリュー、粉碎機部品などの肉盛溶接 |
| DFCoCrD | コバルト合金、ステライト No.21 の溶接棒。耐割れ性が最も良好で、熱間での衝撃摩耗や耐酸化性に優れる。機械加工は容易であるが、加工硬化性を有する。硬さは、HV300～380 程度。 | 鍛造金型、ホットシャーなどの肉盛溶接 |

表 12 鋳鉄用被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種例 (Z 3252 : 2012)

| 記号 | 用途 |
|-------------|--|
| ECFeC-1 | 主に、ねずみ鋳鉄の溶接に用いられ、鋳鉄心線を用いた被覆アーク溶接棒。被覆は塩基性黒鉛である。溶着金属は片状黒鉛を晶出したねずみ鋳鉄で形成される。 |
| ECFeC-2 | 主に、ねずみ鋳鉄の溶接に用いられ、非合金鋼の心線で塩基性黒鉛被覆のアーク溶接棒。溶接金属は片状黒鉛を晶出したねずみ鋳鉄で形成される。 |
| ECFeC-3 | ねずみ鋳鉄の溶接に用いられる。心線はねずみ鋳鉄または非合金鋼を使用した塩基性黒鉛被覆のアーク溶接棒。溶接金属は片状黒鉛を晶出したねずみ鋳鉄で形成される。 |
| ECFeC-GF | 主に、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の溶接に用いられる。心線は非合金鋼で塩基性黒鉛被覆のアーク溶接棒。この溶接材料は、球状黒鉛鋳鉄の溶接金属を生成する。温度条件及び化学成分によって異なるが、FeC-GF タイプは主にフェライト組織を呈する。 |
| ECFeC-CP2 | 主に、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の溶接に用いられる。心線は非合金鋼で塩基性黒鉛被覆のアーク溶接棒。この溶接材料は、球状黒鉛鋳鉄の溶接金属を生成する。温度条件及び化学成分によって異なるが、FeC-GP2 タイプは主にパーライト組織を呈する。 |
| ECZ | この分類の溶接材料は、化学成分を規定せず、受渡当事者間の協定による鋳鉄用の溶接材料を示す。 |
| ECFe-1 | 特殊な被覆を有し、腐食あるいは酸化した鋳鉄表面の単層肉盛に適しており、母材との融合が良好である。このタイプの被覆アーク溶接棒は硬化しやすいので、多層溶接には適さない。 |
| ECSt | 低融点の被覆剤を有する非合金鋼被覆アーク溶接棒。これは主として、鋳鉄の微小なピットや割れの補修に用いられる。この溶接金属は、鋳鉄母材からの炭素拡散によってマルテンサイトを生成しやすい。 |
| ECFe-2 | 主に、ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の溶接に用いられる。心線は非合金鋼が使用される。被覆剤及び心線は、炭化物生成元素を含有しており、鋳鉄を溶接すると、初層の金属組織は炭化物の多いフェライトを呈している。炭素が炭化物生成元素と結合するので、マルテンサイトの生成による過度の硬化を防ぐことができる。 |
| ECNi-C1 | 黒鉛をある程度含有した高ニッケル合金の溶接金属が得られる。鋳鉄表面の単層溶接金属は、ニッケル・鉄系溶接材料で得られる溶接金属よりも延性が高く、機械加工性もよい。その反面、リン含有量の高い鋳鉄の溶接における耐高温割れ性は劣る。 |
| ECNi-C1-A | ECNi-C1 と概ね同じ化学成分で、多くのアルミニウムを含有しているため、溶接作業性が向上している。その反面、アルミニウムは溶接金属中に合金を形成し、延性を低下させる傾向がある。 |
| ECNiFe-1 | 溶着金属の強度は ECNi-C1 タイプの溶接金属より高い。 |
| ECNiFe-2 | 主に、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の多層溶接に用いられる。 |
| ECNiFe-C1 | ニッケル・鉄系溶接材料で得られる溶接金属は、高ニッケルの溶接金属に比べ、リン含有量の高い鋳鉄の溶接で耐割れ性が優れている。単層溶接金属の機械加工性は劣るが、多層溶接部の機械加工は容易である。 |
| ECNiFe-C1-A | アルミニウム含有量が高いので、溶接金属は NiFe-C1 に比べ、耐気孔性が優れているが、多少延性が低下する。 |
| ECNiFeMn-C1 | 主に、高強度の球状黒鉛鋳鉄の接合溶接及び補修溶接に用いられる。ニッケル・鉄・マンガン系溶接材料で得られる溶接金属は、延性が高く、ニッケル・鉄系溶接材料で得られる溶接金属に比べ、強度が高い。 |
| ECNiCu | 主に、ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の開先多層溶接に用いられる。 |
| ECNiCu-A | 溶着金属成分が、55%ニッケル-40%銅で、ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の溶接に用いられる。溶け込みが浅く、溶接金属は延性に富むため機械加工が可能である。 |
| ECNiCu-B | 溶着金属成分が、65%ニッケル-35%銅で、ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄及び可鍛鋳鉄の溶接に用いられる。溶け込みが浅く、溶接金属は延性に富むため機械加工が可能である。 |

5. おわりに

被覆アーク溶接棒の歴史は古く、日本では能率向上のためフラックス入りワイヤに需要は変化したもの、その種別の豊富さと長年に亘る品質、性能の実績から現在も使用され続けている。

本編では各種被覆アーク溶接棒の用途と適用鋼種について代表的な例を示したが、特殊な用途、特別なスペック対応ほか選択、判断が難解なケースについてはメーカー、各種溶接に関係する機関と相談して進めることを推奨する。

参考文献

- 1) 百合岡：新日鐵技報、No.355(1995)、P2
- 2) 日鉄溶接工業(株)：溶接フォーラム、F083、被覆アーク溶接棒について
- 3) 水本：特殊鋼、Vol.64(2015)、No6、P5
- 4) 産報出版(株)：SANPOWEB、溶接の歴史、1950年～1955年
- 5) (社)日本溶接協会：溶接棒部会 技術委員会 40年史 (1998年3月)
- 6) (社)日本溶接協会：日本溶接協会 50年史
- 7) (一社)日本溶接材料工業会：日本溶接材料工業会 40年の歩み (ダイジェスト版)、P16
- 8) 日本溶接協会 特殊材料溶接研究委員会：ステンレス鋼溶接トラブル事例集、P182-184、P209

<略歴>

長崎 肇 (ながさき はじめ)

1974年 日本大学 生産工学部 機械工学科 卒業
1974年 日鉄溶接工業(株) (現・日鉄溶接工業(株)) 入社 福知山工場配属
1994年 【新日本製鉄(株) (現・日本製鉄(株)) 第二技術研究所 派遣】 研究員
2002年 ステンレス・特品室長
2009年 参与 富津研究長
2011年 執行役員 営業企画部長
2012年 取締役 技術部門管掌
2013年 常務取締役 技術部門管掌 海外事業部長
2019年 研究所 部長
現在に至る