低水素系被覆アーク溶接棒*

山 根 國 秀**

Low Hydrogen Type Electrode*

by Kunihide YAMANE**

キーワード：低水素系被覆アーク溶接棒，難吸湿，超低水素，低温割れ，HT950 鋼，9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼

1. はじめに

被覆アーク溶接法は，心線に被覆剤を塗布した被覆アーク溶接棒を用いる溶接法で，古くから実用化され，現在も広く利用されている方法である。本法は，溶接機が安価に入手でき，母材に適した被覆アーク溶接棒さえあれば，溶接者に溶接技量が要求されるものの，広範囲の分野で構造物の溶接に使用できる便利な溶接法である。最近では，構造物の高性能化・高級化により，それに用いる被覆アーク溶接棒にも高性能が要求され，種々の特性を有する溶接棒が開発・実用化されている。本報では，重要構造物の溶接に用いられる低水素系被覆アーク溶接棒の特性および最近における技術開発状況の例について述べる。

2. 低水素系被覆アーク溶接棒の特性

被覆アーク溶接棒は，被覆剤の系統，溶接姿勢，電流の種類および溶着金属の機械的性質により JIS 規格に定められている。表 1 に JIS Z3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）および JIS Z3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）を示す。

被覆アーク溶接棒の被覆剤は原則として，イルミナイト系，ライムチタニヤ系，高セルローズ系，高酸化チタン系のように被覆剤の主成分にちなんだ名称がつけられているが，低水素系のみは，溶着金属の拡散性水素が少ない溶接棒であるという意味でつけられた名称である。

表 2 に各種被覆系の大体の成分範囲を示す。低水素系の被覆剤は，有機物や含水鉱物などアーク熱によって分解し，水素を発生するようなものは極力避け，石灰石や蛍石を主成分としている。一般に，被覆アーク溶接棒では，被覆剤の石灰石や有機物が溶接時のアーク熱により分解してガスを発生し，表 3 に示すような組成のガスの雰囲気を作り，空気中の窒素と酸素の溶接金属への侵入を阻止する役目を行う。低水素系被覆アーク溶接棒は，有機物をほとんど含有せず，アーク雰囲気中の H_2 ， H_2O は極めて少ない。また，スラグが塩基性のため，ややアークが不安定であるが，慣れると使い易く，特に立向上進溶接では，むしろ他の被覆系より溶接作業性が優れている。

低水素系被覆アーク溶接棒の溶接金属の機械的性質，特に切欠きじん性は，他の被覆タイプに比べ著しく優れている。また，図 1 に示すように各種溶接棒における溶着金属の拡散性水素量の比較試験結果の一例であり，低水素系の溶着金属の拡散性水素量は非常に少なく，耐低温割れ性が優れている。そのため拘束の大きい構造物や厚板の溶接および高張力鋼や低合金鋼の溶接には低水素系被覆アーク溶接棒が使用されている。

低水素系被覆アーク溶接棒には，難吸湿・超低水素化や高強度化などの種々の特性を付加したものがある。以下にそれら技術の一部を紹介する。

3. 難吸湿・超低水素系被覆アーク溶接棒

低水素系被覆アーク溶接棒は，厚板や高張力鋼の溶接に用いられるため，水素に起因する低温割れ防止の目的で溶着金属の拡散性水素量が JIS 規格により定められている。高張力鋼の低温割れ感受性が，鋼材の組成，継手の拘束度，板厚あるいは溶着金属の拡散性水素量等の

*原稿受付 平成 11 年 1 月 28 日

**正 員 日鐵溶接工業(株) Member, Nippon Steel Welding Products & Engineering Co., Ltd

表1 軟鋼・高張力鋼用被覆アーク溶接棒の JIS 規格
(JIS Z3211-1991 および JIS Z3212-1990 の抜粋)

鋼種	溶接棒の種類	被覆剤の系統	溶接姿勢	電流の種類	溶着金属の機械的性質(下限値)				
					引張強さ N/mm ²	降伏点 N/mm ²	伸び %	試験温度 ℃	シャルビ吸 収エネルギー J
軟鋼	D4301	イルミナイト系	F,V,O,H	AC又はDC(±)	≥420	≥345	≥22	0	≥47
	D4303	ライムチタニヤ系	F,V,O,H	AC又はDC(±)	≥420	≥345	≥22	0	≥27
	D4311	高セルロース系	F,V,O,H	AC又はDC(±)	≥420	≥345	≥22	0	≥27
	D4313	高酸化チタン系	F,V,O,H	AC又はDC(-)	≥420	≥345	≥17	—	—
	D4316	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥420	≥345	≥25	0	≥47
	D4324	鉄粉酸化チタン系	F,H	AC又はDC(±)	≥420	≥345	≥17	—	—
	D4326	鉄粉低水素系	F,H	AC又はDC(+)	≥420	≥345	≥25	0	≥47
	D4327	鉄粉酸化鉄系	F,H	FではAC又はDC(±), HではAC又はDC(-)	≥420	≥345	≥25	0	≥27
高張力鋼	D4340	特殊系	F,V,O,H又はい ずれかの姿勢	AC又はDC(±)	≥420	≥345	≥22	0	≥27
	D5001	イルミナイト系	F,V,O,H	AC又はDC(±)	≥490	≥390	≥20	0	≥47
	D5003	ライムチタニヤ系	F,V,O,H	AC又はDC(±)	≥490	≥390	≥20	0	≥47
	D5016	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥490	≥390	≥23	0	≥47
	D5316	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥520	≥410	≥20	0	≥47
	D5816	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥570	≥490	≥18	-5	≥47
	D6216	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥610	≥500	≥17	-20	≥39
	D7016	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥690	≥550	≥16	-20	≥39
	D7616	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥750	≥620	≥15	-20	≥39
	D8016	低水素系	F,V,O,H	AC又はDC(+)	≥780	≥665	≥15	-20	≥39
	D5026	鉄粉低水素系	F,H	AC又はDC(+)	≥490	≥390	≥23	0	≥47
	D5326	鉄粉低水素系	F,H	AC又はDC(+)	≥520	≥410	≥20	0	≥47
	D5826	鉄粉低水素系	F,H	AC又はDC(+)	≥570	≥490	≥18	-5	≥47
	D6226	鉄粉低水素系	F,H	AC又はDC(+)	≥610	≥500	≥17	-20	≥39
	D5000	特殊系	F,V,O,H又はい ずれかの姿勢	AC又はDC(±)	≥490	≥390	≥20	0	≥47
	D8000				≥780	≥665	≥13	0	≥34

備考1. 溶接姿勢の記号 F:下向 V:立向 O:上向 H:横向又は水平すみ肉
2. 電流の種類 AC:交流 DC(±):直流(棒プラス及び棒マイナス) DC(-):直流(棒マイナス) DC(+):直流(棒プラス)

表2 軟鋼用被覆アーク溶接棒の被覆剤成分例 (%)

成分	イルミナイト系	高セルロース系	高酸化チタン系	ライムチタニヤ系	低水素系
SiO ₂	23~28	20~26	15~31	19~28	5~25
TiO ₂	10~18	11~15	24~48	25~35	<22
MnO	10~19	6~8	5~17	8~15	2~7
FeO	7~25	2~12	4~22	3~10	2~20
MgO	1~8	3~5	<5	<5	<5
Al ₂ O ₃	3~9	9~10	4~16	<7	<12
CaO	4~8	<2	<2	6~11	15~32
CaF ₂	—	—	—	—	10~20
ガス化成分	2~10	27~31	<12	7~15	<20

図1 各被覆系統における拡散性水素量の比較
(JISZ3118 グリセリン法)

表3 アーク雰囲気ガスの組成例

溶接棒	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O
イルミナイト系	48.1	4.8	36.6	10.5
高酸化チタン系	46.7	5.3	34.5	13.5
低水素系	79.8	16.9	1.8	1.5

要因に影響されることはよく知られている。WES-135 には、1パス溶接のルート部の割れ発生状況によって耐低温割れ性を評価する溶接割れ感受性指数 (Pw) が規定され、y 形溶接割れ試験の多くの実験結果から Pw は(1)

式によって表され、Pw が大きいほど溶接割れ感受性が高いことになる。

そこで、溶接材料の観点からは、被覆アーク溶接棒の吸湿によって拡散性水素量が増加することを防止するため、適正な管理が必要となる。被覆アーク溶接棒の吸湿性を極力抑えることができれば、水素による悪影響が低減でき、安全に溶接施工を進めることができる。即ち、被覆剤を難吸湿化することにより被覆アーク溶接棒の管理が容易となる。

$$P_w = P_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{R_f}{400,000} = P_{cm} + \frac{H}{60} + \frac{t}{600} \dots\dots\dots(1)$$

P_w : 溶接割れ感受性指数

P_{cm} : 溶接割れ感受性組成

$$P_{cm} (\%) = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

H : 溶着金属の拡散性水素量 (グリセリン法 ml/100g)

t : 板厚 (mm)

R_f : 溶接継手の拘束度 (N/mm・mm)

そこで、溶接棒の難吸湿化・超低水素化を達成する手段の例としては以下の方法がある。第一に被覆剤中の水素源を極力下げることである。図2は、被覆剤中の水分量と拡散性水素量の関係を示したもので、被覆剤中の水分量が少なければ拡散性水素が低いことがわかる。つまり含有水分量の少ない原料の選択が必要である。

第二に低水素系被覆アーク溶接棒の製造段階において高温焼成することにより、拡散性水素量が著しく減少し、かつ難吸湿性の被覆となる。図3に示すように拡散性水素量は、焼成温度を高くすることにより減少することができる。また、図4に示すように被覆剤は、焼成温度が高いほど難吸湿性になる。この傾向は、大気雰囲気よりCO₂雰囲気で焼成する方がより効果的である。これは、吸湿しやすい水ガラス中のSiO₂がガラス化するためである^{1,2)}。

ところで、単純に焼成温度を高くすると被覆の固着性の劣化、脱酸剤の酸化消耗による溶接金属の性能劣化あるいはCaCO₃の分解によるアークのシールド不良の原因となる。従って、溶接材料メーカーにおいては、この点については充分配慮して製造されている。

図5は、溶接棒を開封し、種々の雰囲気条件下で放置

図2 各種被覆水分含有量と拡散性水素量

した場合の吸湿曲線の一例である。難吸湿溶接棒の吸湿特性は、一般の低水素系に比べて著しく改善されている

図3 拡散性水素量に及ぼす焼成温度の影響

図4 被覆の吸湿性に及ぼす焼成温度の影響

図5 HT780 鋼用溶接棒における吸湿曲線

表 4 HT590 および 780 鋼の U 形溶接割れ試験結果 (JIS Z3157)

鋼板	試験条件	溶接棒	予熱温度(℃)					
			5	30	50	75	100	125
HT590 板厚;38mm Ceq;0.36%	400℃×1h 乾燥	HT590 用 一般低水素タイプ			●●●	●○○	○○○	
		HT590 用難吸湿・ 超低水素タイプ	○○○	○○○	○○○			
	30℃×80% 1h 吸湿	HT590 用 一般低水素タイプ			●●●	●●●	○○○	
		HT590 用難吸湿・ 超低水素タイプ	○○○	○○○	○○○			
HT780 板厚;40mm Ceq;0.49%	400℃×1h 乾燥	HT780 用 一般低水素タイプ			●●●	●○○	○○○	
		HT780 用難吸湿・ 超低水素タイプ		●○○	○○○	○○○		
	30℃×80% 1h 吸湿	HT780 用 一般低水素タイプ				●●●	●○○	○○○
		HT780 用難吸湿・ 超低水素タイプ		●●●	○○○	○○○		

備考1. ●:割れ発生 ○:割れなし

表 5 HT950 鋼用被覆アーク溶接棒の性能例

溶着金属の化学成分 (%)								溶着金属の機械的性質				水素試験(JIS Z3118 ガスクロ法)	
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	₂ vE-20℃ (J)	拡散性水素量 (ml/100g)	備考
0.06	0.24	1.67	0.008	0.004	2.01	0.90	0.75	930	1000	20	74	4.5 4.7	吸湿なし 30℃,80%R.H.×1h 吸湿

備考1. 水素試験の溶接雰囲気;30℃×80%R.H. 2. 溶接棒は、400℃で1時間乾燥。

ことがわかる。

表 4 は、590 および 780N/mm²級高張力鋼を用いて U 形溶接割れ試験により耐低温割れ性を調査した結果の例である。難吸湿・超低水素系被覆アーク溶接棒は、一般の低水素系被覆アーク溶接棒に比べ割れ停止温度が 50℃以上低くなっている。このことは、一般低水素系被覆アーク溶接棒より予熱温度を下げられることを意味し、溶接施工上大きなメリットが得られる。その例としては、本四連結構明石大橋の溶接施工において予熱軽減型 780N/mm²級高張力鋼と難吸湿・超低水素系被覆アーク溶接棒の組合せにより、予熱温度の低下すなわち工数低減の効果があったことなどが挙げられる³⁾。

4. 950N/mm²級高張力鋼用被覆アーク溶接棒

最近では、鋼構造物の大型化にともなって、工程短縮およびコスト低減に対するニーズはますます高まっている。代表的な大型溶接構造物の一つである水力発電所の水圧鉄管では、高落差化・大容量化のため、より高い強度を有する鋼材を適用することが検討されている。このようなことから、HT950 鋼および溶接材料の開発・実

表 6 HT950 鋼の溶接割れ試験結果

(U 形溶接割れ試験; JIS Z3157, y 形溶接割れ試験; JIS Z3158)

鋼板	試験条件	試験方法	予熱温度(℃)			
			75	100	125	150
HT950 板厚;50mm Ceq;0.65% Pcm;0.33%	30℃×80% 1h 吸湿	U形溶接割れ試験	—	●●●	○○○	○○○
		y形溶接割れ試験	○○○	○○○	○○○	—

備考1. ●:割れ発生 ○:割れなし

用化が進められている⁴⁻⁷⁾。

HT950 鋼の溶接においては、水素による低温割れの防止が最大の課題であり、被覆アーク溶接棒については前述の難吸湿・超低水素化技術が適用され、一層の低水素化が図られている。HT950 鋼用被覆アーク溶接棒の溶着金属の化学成分、機械的性質および拡散性水素量の一例を表 5 に示す。この HT950 鋼用被覆アーク溶接棒を用いた耐低温割れ性を U 形溶接割れ試験および y 形溶接割れ試験で調査した結果の一例を表 6 に示す。これら試験は、実際の溶接施工を考慮して 30℃×80% R. H.の雰囲気で、1 時間溶接棒を吸湿させて行った。y 形溶接割れ試験では予熱温度 75℃で割れがなく、また、極めて厳しい割れ試験方法である U

表 7 HT950 鋼用被覆アーク溶接棒の継手試験結果例(板厚: 50 mm)

溶着金属の機械的性質							
常温引張			600℃高温引張			衝撃試験	
0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	5E0 (J)	5E+20 (J)
670	790	20	270	380	25	44	58

備考1. PWHT 条件: 740℃×4h

表 8 9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼母材および被覆アーク溶接棒による溶接金属の化学成分例

種類	化 学 成 分 (%)												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	Nb	V	N	
母材	0.10	0.04	0.46	0.008	0.001	—	8.96	0.47	1.84	0.07	0.20	0.051	
溶接金属	0.07	0.25	1.39	0.003	0.002	0.62	8.83	0.47	1.39	0.05	0.24	0.057	

形溶接割れ試験においても割れ防止予熱温度 125℃が得られており、十分な耐低温割れ性能を有していることがわかる。

継手溶接金属の機械的性質結果の一例を表 7 に示す。母材は、板厚 50mm の HT950 鋼で U 形開先の片面溶接を行った。継手引張強度は 950N/mm²以上であり、低温におけるじん性も良好である。HT950 鋼用被覆アーク溶接棒は、水圧鉄管で本格的に適用されつつあり、溶接施工コストの削減、工期の短縮に大きく寄与できるものと期待されている。

5. 低合金耐熱鋼用被覆アーク溶接棒

脱硫リアクターなどに使用される 2.25Cr-1Mo 鋼や 3Cr-1Mo 鋼の高強度化に対応して、V などの析出強化元素を添加した各種 Cr-Mo 鋼用溶接棒が開発・実用化されている。また、発電効率の向上を目的として火力発電用ボイラーは、より高温高压で稼働する方向にある。それに伴い、使用される鋼材もより高温強度の優れたものが要求されるようになっている。鋼材としては、実績のある Mod.9Cr-1Mo 鋼よりも更に高強度のフェライト系耐熱鋼が強く要求され、例えば Mod.9Cr-1Mo 鋼の Mo の一部を W に置換えた 9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼が開発されており、それに対応する被覆アーク溶接棒も開発されている。溶着金属の成分は、W 添加による固溶強化や V, Nb の増加による析出強化などが図られている¹⁰⁻¹³⁾。

一方、本鋼における予熱温度は Mod. 9Cr-1Mo 鋼と同等の温度が要望され、そこで、被覆に難吸湿・超低水素化の技術を適用した溶接棒が開発されている。表 8 に溶着金属および母材の化学成分の一例を示す。溶着金属の化学成分は、母材と同様の共金系を基本として、高温強度特性など溶接金属に要求される特性を得るように成分設計を行っている。表 9 には、溶着金属の機械的性質の一例を示す。溶接性については、図 6 に示す形状の全

表 9 9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼用溶接棒の溶着金属機械的性質例

溶接入熱 (kJ/cm)	溶接金属試験				継手引張試験		側曲げ試験
	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	5E-30 (J)	引張強さ (N/mm ²)	破断位置	
30	980	1020	22	65	980 990	HAZ HAZ	良好

図 6 全周拘束タイプ y 形溶接割れ試験板

表 10 9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼用溶接棒の低温割れ試験結果

溶接棒	予 熱 温 度 (℃)							
	20	100	125	150	175	200	225	300
9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼用溶接棒	—	—	●	●	○	○	○	—
Mod.9Cr-1Mo 鋼用溶接棒	●	●	—	●	—	○	—	○

備考1. ●: 割れ発生 ○: 割れなし

図 7 9Cr-0.5Mo-1.8W 鋼用溶接棒の溶接継手クリープ破断特性

周拘束タイプ y 形溶接割れ試験板を用いた溶接割れ試験結果を表 10 に示す。割れ防止予熱温度はほぼ 175℃であり、Mod.9Cr-1Mo 鋼用溶接棒の割れ防止予熱温度と同程度であることがわかる¹⁴⁾。

溶接継手のクリープ破断強度を図 7 に示す。溶接継手のクリープ破断強度は、母材と同程度で良好な値を示し、ボイラー操業の効率化に寄与するものと期待される。

6. 使用上の 2, 3 の注意事項

(1) 溶接棒の乾燥

溶接金属の拡散性水素の水素源は、被覆剤成分や吸湿が関係していることを述べた。吸湿量が多くなればなるほど水素量が増加し、低温割れなどの溶接欠陥が発生し

やすくなる。難吸湿化が施されている被覆アーク溶接棒においても吸湿はゼロではない。そこで低水素系被覆アーク溶接棒の性能を発揮させるためには、溶接前に溶接棒の乾燥を行うことが必要である。表 11 に乾燥条件の一例を示すが、被覆の系統、対象鋼種によって異なり、溶接材料メーカーの推奨条件で乾燥や保管管理を行う必要がある。

(2) 予熱温度

予熱は、主に低温割れの防止を目的として行うものである。割れ防止に必要な予熱温度は、鋼種、板厚、拘束度、使用溶接棒、溶接条件、溶接環境条件などにより異なり、表 12 に示すように鋼道路橋や鋼鉄道橋などの示方書によって必要な予熱温度が決められている。

(3) 入熱制限

一般に溶接入熱が過大になると、溶接金属の衝撃値や降伏点の低下を招き、継手性能が劣化するので入熱制限が必要である。特に、高張力鋼の溶接では、入熱管理が必要である。表 13 は、HT780 鋼に対する入熱制限の

表 11 高張力鋼用溶接棒の乾燥条件例

区 分	被覆の系統	温度(°C)	時間(分)
HT490 鋼	ライムチタニヤ系	70~120	30~60
	低水素系 鉄粉低水素系	300~350	30~60
HT590 鋼	低水素系 鉄粉低水素系	350~400	60
HT690 ~780 鋼	低水素系 鉄粉低水素系	350~400	60
HT950 鋼	低水素系 鉄粉低水素系	420~440	60

表 12 各種示方書における予熱および層間温度の規定

区分	規格	適用鋼種		板厚	低水素系以外の被覆アーク溶接棒	低水素系被覆アーク溶接棒
		JIS	ASTM			
I 主として HT400 鋼	鋼道路橋	SS400, SM400		t<25 25≤t<38 38≤t≤50	予熱なし*1 40~60°C —	予熱なし*1 予熱なし*1 40~60°C
	鋼鉄道橋	SS400, SM400 SMA400		t<32 32≤t	予熱なし*2 ≥ 50°C	予熱なし*2 ≥ 50°C
	AWS AISC		A36, A53GrB A375, A500 A501, A570 GrD, E	t≤19 19<t≤38 38<t≤63.5 63.5<t	予熱なし*3 ≥ 65°C ≥ 110°C ≥ 150°C	予熱なし*3 ≥ 20°C ≥ 65°C ≥ 110°C
II 主として HT490 鋼	鋼道路橋	SS400, SM400		t<25 25≤t<38 38≤t≤50	— — —	予熱なし*1 40~60°C 80~100°C
	鋼鉄道橋	SM490, SM490Y SM520, SMA490		t<25 25≤t<38 38≤t	— — —	予熱なし*2 ≥ 50°C ≥ 100°C
	AWS AISC		A242, A441 A572Gr42, 45, 50 A588	t≤19 19<t≤38 38<t≤63.5 63.5<t	— — — —	予熱なし*3 ≥ 20°C ≥ 65°C ≥ 110°C
	AASHO		A36, A242 A441, A572 A588	t≤19 19<t≤38 38<t≤63.5 63.5<t	— — — —	≥ 10°C ≥ 20°C ≥ 65°C ≥ 110°C
III 主として HT540, 570 鋼	鋼道路橋	SM490Y, SM520 SMA490, SM570 SMA570		t<25 25≤t<38 38≤t≤50	— — —	40~60°C 80~100°C 80~100°C
	AWS AISC		A572Gr55, 60, 65	t≤19 19<t≤38 38<t≤63.5 63.5<t	— — — —	≥ 20°C ≥ 65°C ≥ 110°C ≥ 150°C
主として HT780 鋼	AASHO		A514, A517	t≤19 19<t≤38 38<t≤63.5 63.5<t	— — — —	≥ 10°C ≥ 50°C ≥ 80°C ≥ 110°C

備考. *1 気温が 0°C 以下の場合は原則として溶接を行ってはならないが、-15°C 以上であれば適当な予熱を行って溶接をしてもよい。

*2 気温が 0°C 以下の場合は溶接を行ってはならない。

*3 気温が 0°C 以下の場合は 20°C 以上に予熱。

表 13 HT780 鋼の限界入熱量例 (kJ/cm)

予熱 温度 (°C)	板 厚 (mm)								
	5	12	16	20	25	30	32	36	40
20	21	36	49	56	60	—	—	—	—
100	—	29	40	47	50	52	56	58	59
150	—	24	33	41	44	46	49	51	52
200	—	—	29	35	38	40	41	43	44

例であるが、各鋼種に対する制限入熱量は、溶接材料メーカー推奨の条件で施工することが肝要である。

7. お わ り に

最近における低水素系被覆アーク溶接棒の現状について概説した。今後も、新開発鋼に対応した溶接棒や高強度・高じん性化などの性能向上に対応した低水素系被覆アーク溶接棒の開発が進められると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 永野, 高見, 小山: 焼成条件と水素量の関係, 本会講概, 51 (1981), 124-125.

- 2) 永野, 長沼, 品田, 林: 低水素系溶接棒の焼成条件による鉱物相変化と水分量, 本会講概, 51 (1981), 123-124.
- 3) 金崎, 大江, 井上: 明石海峡大橋トラスの設計, 本四技報, 19-75 (1995), 23-37.
- 4) 松川, 有持, 大石: ペンストック用 HT980 鋼板の開発, 住友金属, 50-1 (1998), 105-109.
- 5) 池田, 大井, 安田, 中野: ペンストック用予熱低減 HT950 鋼の溶接継手設計 (第 1 報), 本会講概, 60 (1997), 240-241.
- 6) 山口, 元松, 鈴木, 小山, 大北: HT950 鋼用溶接材料の開発 (第 1 報), 本会講概, 59 (1996), 410-411.
- 7) 原, 杉野, 佐藤: HT950 用溶接材料の高靱性化について, 溶接構造シンポジウム'97 講演論文集, (1997), 44-47.
- 8) 夏目, 後藤: 高強度 Cr-Mo 鋼用溶接材料の開発, 日本金属学会会報, 30-5 (1991), 61-63.
- 9) 南部, 元尾, 長谷川, 石黒, 田原: 高強度 Cr-Mo 鋼による石油精製高圧容器の製作, 日本製鋼所技報, 45 (1991), 65-69.
- 10) H. Mimura, M. Ohgami, H. Naoi and T. Fujita: Materials for Advanced Power Engineering 1994, Liege, Belgium, October 1994, p. 361
- 11) Y. Sawaragi, A. Iseda, K. Ogawa and F. Masuyama: Materials for Advanced Power Engineering 1994, Liege, Belgium, October 1994, p. 361
- 12) T. Tanaka, H. Sakurai, H. Morimoto and T. Miyake: Materials for Advanced Power Engineering 1994, Liege, Belgium, October 1994, p. 365
- 13) 森本, 大北, 藤, 三宅, 山根: W 含有 9Cr フェライト系耐熱鋼溶接部の特性, 平成 9 年度第 1 回特殊材料溶接研究委員会資料, (1997)
- 14) 森本, 大北, 青山, 山根, 結城, 山本: 9Cr-0.5Mo-1.8W フェライト系耐熱鋼用 SMAW 溶接材料の開発, 本会講概, 61 (1997), 410-411.

[新 版]

軽構造接合加工研究委員会 ワーキンググループ報告

1. 接合加工システムの知能化現状
2. 薄板構造物の溶接変形とその抑制策
3. スポット溶接部の品質モニタリングと検査方法

社会法人溶接学会
軽構造接合加工研究委員会編
1998年3月発行 定価 5,000円

ご注文その他については下記へお問い合わせ下さい。

社団法人 溶接学会
〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間1-11
☎ 03-3253-0488 ファックス 03-3253-3059