

建設機械・クレーン溶接 「材料編」*

栗山 良平**, 佐藤 統宣**



栗山 良平

佐藤 統宣

Welding Consumables for Construction Machinery and Crane*

by KURIYAMA Ryohei** and SATO Munenobu**

キーワード

ガスシールドアーク溶接, ソリッドワイヤ, フラックス入りワイヤ, 衝撃性能, 引張性能, 溶接入熱, HT780, 窓枠拘束割れ試験

1. はじめに

建設機械は土木、掘削、建設等の工事や、各種の製造・生産現場、また災害復興等の現場で広く適用されており、それぞれにおいて不可欠な機械装置と言ってよい。代表的な機械としてブルドーザ、ホイールローダ、油圧ショベル、クレーンが挙げられる¹⁾。これらの装置は鋼構造で製作されており、溶接が多くの箇所でも適用されている。本稿では、油圧ショベル、クレーンを例として、これらの溶接方法と適用されている溶接材料について、最近の動向を踏まえて紹介する。

2. 油圧ショベル・クレーンの種類／溶接箇所

油圧ショベルは、油圧シリンダーにより作動する複数関節のアームを動作させ、先端にはオペレータの居るキャビン側に向けたバケット部（ショベル）が取り付けられているものが代表的であり、土木・建設の土地開発など様々な用途に適用されている。陸上を移動する走行方式はクローラ式が主流であり、土地開発の不整地での走行に適している。なお、ホイール走行方式の油圧ショベルはタイヤ付きの車軸で支えられ公道を走ることが可能である。クローラ部またはホイール部はローフレームと呼ばれている。

クローラ式油圧ショベルの概念図を図1に示す。ローフレームとアッパーフレーム間は旋回する構造となっており、アッパーフレームのセンターセクション部から油圧シリンダー付きのブームが突き出しており、さらに油圧シリンダーで駆動するアーム、バケットを支持する構造をとっている。ローフレームのクローラ・カーボディ、アッ

パーフレームのセンターセクション、ブーム・アームは、平板を組み合わせる製缶加工の溶接が主であり、溶接継手はすみ肉溶接が代表的である。

クレーンは、動力によって荷をつり上げ（人力ではない）、これを水平に運搬することを目的とする装置で定義されており、港湾、各種工場、建設現場等で幅広く用いられている。その用途によっていろいろな構造、形状があり、天井クレーン、ジブクレーン、橋形クレーン、アンローダ等²⁾に分類されている。ここでは、天井クレーンに次いで多く用いられジブクレーンに分類されている、移動するための原動機を有する移動式クレーンについて述べる。移動式クレーンは陸上、レール、水上を移動するものがあるが、陸上を移動するクレーンの主な分類を表1に示す³⁾。トラッ

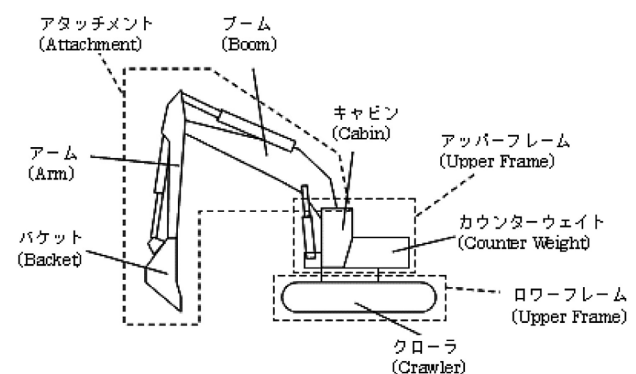


図1 クローラ式油圧ショベルの概念図

表1 移動式クレーンの主な分類

トラッククレーン	トラッククレーン
	車両積載形クレーン
ホイールクレーン	レッカー形クレーン
	オールテレンクレーン
クローラクレーン	ラフテレンクレーン
	クローラクレーン

*原稿受付 平成24年1月26日

** 株式会社神戸製鋼所 溶接事業部門 開発部 溶接開発室

クレーン (Truck crane) は国内では少なくなっており、比較的吊り上げ荷重も小さく、吊り上げ部であるブーム (Boom) (又はジブ (Jib)) の長さも短い。ホイールクレーン (Wheel crane) はタイヤ付きの車軸で支えられ公道を走ることが可能で、伸縮ブームを有し機動性に優れている。吊り上げ能力はラフテレンクレーン (Rough terrain crane) で約百トンまで可能である。

クローラクレーン (Crawler crane) の一例を図 2 に示す³⁾。クローラクレーンは走行体が起動輪、遊動輪、下部ローラ、上部ローラおよびクローラ (履帯) を巻いた装置で構成された台車の上にクレーン装置 (上部旋回体) を架装した形式である。クローラを有することで安定性が良く、不整地や比較的軟弱な地盤でも走行が出来る利点を有している。国内では、このクローラクレーンとラフテレンクレーンが多く作られ、また建設現場等で広く使われている。

3. 油圧ショベル・クレーンの溶接施工と溶接材料

油圧ショベルに適用されている溶接部の鋼種、溶接方法等の一例を表 2 に示す。油圧ショベルは溶接に適した 400~490 MPa 級の鋼材 (SS, SM など) が広く適用されており、アタッチメント部位のジョイント部や油圧シリンダー接続部などには鋳鋼や鋳鍛鋼が適用されている。なお、この鋳鋼や鋳鍛鋼はアーク溶接に適した素材を選択される

ことが一般的であり、これらも含めて油圧ショベルのアーク溶接には、表 2 に示すとおり JIS Z3312 で 490 MPa 級に分類されるソリッドワイヤを適用されることが主流である。また、油圧ショベルの製造工程において、アームやブームなど比較的溶接長の長い箇所の溶接施工は、ロボットによる自動化が多く適用されており、連続溶接に適したペイルパック入りの溶接用ワイヤが広く採用されている。昨今のロボットによる自動化の進展に伴い、溶接材料としての機械的性能のみならず、自動化された連続溶接で停止しないことが溶接ワイヤにとって必要不可欠な要求品質となっている。

油圧ショベルの製造工程において、溶接時に発生するスパッタは除去作業を伴うデメリットがあるという観点から、スパッタ発生量の低減が望まれている。フラックス入りワイヤにはワイヤの芯部にアーク安定剤を配合し、CO₂ ガスシールド溶接においてもスパッタ発生量は比較的少ないが、最も多く採用されているソリッドワイヤを用いたガスシールドアーク溶接では、CO₂ ガスシールド溶接においてスパッタ発生量が増加するという問題がある。この問題を解決するため、油圧ショベルのロボットを用いた自動化溶接では、シールドガスに Ar-CO₂ 混合ガスを採用することで、スパッタ発生量の低減を実現する例が多くなっている。

ラフテレンクレーンとクローラクレーンに適用されている溶接部の鋼種、溶接方法等の一例を表 3 と表 4 に示



図 2 クローラクレーンの一例

表 2 油圧ショベルの主な溶接部と溶接方法の一例

部位	母材強度の一例	代表的な板厚	代表的な継手形状	代表的な開先形状	代表的な溶接姿勢	代表的な溶接方法	溶接材料の JIS 規格・分類 (ソリッドワイヤ)
ローラ	400~490 MPa 級	6~16mm	・突合せ継手 ・Tすみ肉継手	・レ形開先 ・V形開先	下向 水平	ガスシールド アーク溶接 (CO ₂ または Ar+ CO ₂)	JIS Z3312 ・YGW11 ・YGW12 ・YGW15 ・YGW16
カーボナリ							
メインフレーム		6~32mm					
ブーム		6~16mm					
アーム							

表3 ラフテレンクレーンの主な溶接部と溶接方法の一例

部位	母材鋼種	板厚	継手形状	溶接姿勢	溶接方法(シールドガス)	溶接材料(JIS規格)
フレーム	HT570 HT780 HT980	12~25mm	T継手 レ形開先 V形開先	水平隅肉 下向	被覆アーク溶接 ガスシールドアーク溶接 (CO ₂ , Ar-CO ₂)	E4316(Z3211) E6216-NIM1U(Z3211) YGW11(Z3312) G59JA1UC3M1T(Z3312) G78A4MN5CM3T(Z3312)
ブーム	HT570 HT690 HT780 HT980	≦12mm			ガスシールドアーク溶接 (Ar-CO ₂)	G59JA1UC3M1T(Z3312) G78A4MN5CM3T(Z3312)

表4 クローラクレーンの主な溶接部と溶接方法の一例

部位	母材鋼種	板厚	継手形状	溶接姿勢	溶接方法(シールドガス)	溶接材料(JIS規格)
フレーム	HT490 HT570 HT780	25~100mm	T継手 レ形開先 V形開先	水平隅肉 下向	ガスシールドアーク溶接 (CO ₂ , Ar-CO ₂)	E4316(Z3211) E6216-NIM1U(Z3211) YGW11(Z3312) G59JA1UC3M1T(Z3312)
ブーム	HT490 HT570 HT780	≦12mm	T継手 レ形開先	全姿勢	ガスシールドアーク溶接 (CO ₂ , Ar-CO ₂)	YGW12(Z3312) G59JA1UC3M1T(Z3312) T49J0T1-1CA-U(Z3313)

す。台車部のフレームと吊り上げ部のブームに分けているが、母材鋼種はHT490(引張強さ≧490MPa)からHT980(同≧980MPa)まで使われており、ブームでは板厚12mm以下、フレームでは最大100mm程度までの幅広い鋼種と板厚範囲を有する。靱性は使用環境から-20℃程度までの衝撃性能を一般的に考慮している。溶接方法は耐低温割れ性と低スパッタ量の観点からAr-CO₂によるソリッドワイヤを用いたガスシールドアーク溶接が多用されており、水平と下向の隅肉と開先内溶接が適用されている。一部能率性からフラックス入りワイヤ(FCW)や補修溶接で被覆アーク溶接棒が使われたりしている。また、ブームはラフテレンクレーンが平板を組合わせた箱形で、クローラクレーンはパイプ構造となっており、全姿勢の溶接も要求されている。溶接材料は、継手特性を考慮してHT780の母材に対してHT570クラスの材料といった強度の低い材料を選択するケースが多い。最近では、高強度鋼での予熱温度低減の観点から低P_{CM}鋼を適用したり、新しい溶接方法としてレーザー・アークハイブリッド溶接⁹⁾が検討されたりしている。

4. 油圧ショベルに適用される溶接材料の品質

油圧ショベルの製造に広く適用されている490MPa級鋼用ソリッドワイヤYGW11の溶着金属の機械的性能の一例を表5に示す。YGW11はYGW12と同じくCO₂用のソリッドワイヤに分類されているが、Tiを含有するという点でYGW12と異なっている。ワイヤ中に含有しているTiの作用により、CO₂ガスシールドアーク溶接の高電流溶接でアーク安定性が向上するという効果は広く知られており、ロボット化による自動化と高能率(高溶着量)の要求が高い溶接施工用として高電流溶接に適したYGW11が

広く適用されている。YGW11ワイヤを用いて、Ar-CO₂混合ガスを用いたときの溶着金属の機械的性能の一例を表6に示す。シールドガスをAr-CO₂混合ガスに変更することで、全溶着金属の引張性能および衝撃性能は向上することが判っている。ワイヤ中のSi, Mnなどの合金元素は、シールドガス中のCO₂に含まれる酸素により、酸化Siや酸化Mnのスラグとなり、溶接金属中の含有量が減少する。図3に一例を示すとおり、同じYGW11ソリッドワイヤを用いた場合、シールドガスのAr比率が高くなるに従い全溶着金属中のSi, Mn含有量が増加することが引張性能および衝撃性能の向上の要因の一つである。なお、油圧ショベルの製造工程における生産効率の向上を図る場合、溶接施工時の入熱やパス間温度の上昇により、溶接金属の冷却速度が低下して引張性能および衝撃性能は低下するが、Ar-CO₂混合ガスを採用することで、同じYGW11ソリッドワイヤであっても溶着金属の機械的性能の低下を回避するには有利であるということがいえる。

ロボットを用いた連続溶接において、溶接電流を上昇させ高能率化を図った場合、さまざまな要因による送給トラブルのリスクが高くなるということも判っている。高溶着化を達成するための最近の動向として、ロボットによるタンデム溶接施工や500Aを超えるような領域の高電流溶接などの開発が盛んに行われているが、そのいずれに関しても、ガスシールドアーク溶接用ワイヤの送給トラブルが発生しないということが共通の前提条件であるといえる。

5. HT780 鋼用溶接材料

クレーンで使われているHT780(引張強さ≧780MPa)鋼に関して、フラックス入りワイヤが開発され他業種であるが一部適用され始めている⁹⁾。その溶接材料について以下に紹介する。

表5 YGW11 ソリッドワイヤの溶着金属の機械的性能の一例 (100%CO₂)

Welding Condition		Tensile Properties			Notch Toughness	
Heat Input Avg. [kJ/cm]	Interpass Temperature Max.[°C]	Tensile Strength [MPa]	Proof Stress [MPa]	Elongation [%]	Absorbed Energy[J]	
					-20°C	0°C
19.2	150	531	440	30	-	143
29.3	250	511	407	33	-	139
39.8	350	489	372	36	-	120

表6 YGW11 ソリッドワイヤの溶着金属の機械的性能の一例 (80%Ar+20%CO₂)

Welding Condition		Tensile Properties			Notch Toughness	
Heat Input Avg. [kJ/cm]	Interpass Temperature Max.[°C]	Tensile Strength [MPa]	Proof Stress [MPa]	Elongation [%]	Absorbed Energy[J]	
					-20°C	0°C
19.2	150	617	523	28	168	190
29.3	250	572	462	31	150	173
39.8	350	530	411	34	123	152

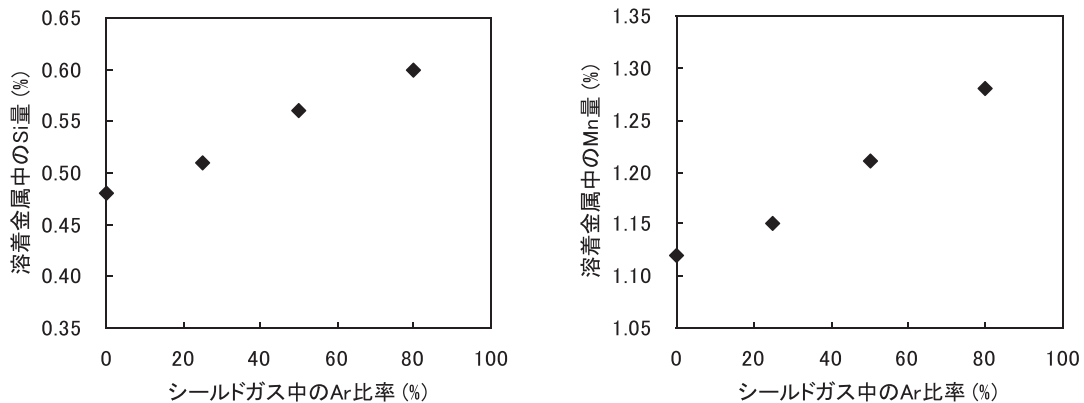


図3 シールドガス中の Ar 比率による全溶着金属の Si, Mn 量の一例 (YGW 11 1.2 mm ; 280 A 入熱 20 kJ/cm)

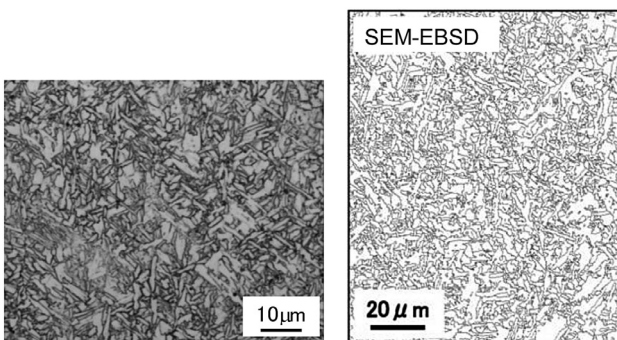


図4 溶着金属のマイクロ組織 (左) と EBSD 粒界マップ

全姿勢溶接用 FCW はスラグ成分は TiO₂ が主体であり、HT780 クラスまでの高強度鋼用 FCW の場合にも良好な溶接作業性が得られやすい。しかし TiO₂ 系スラグを主体とする FCW で形成された溶着金属は酸素量が高く、含有される氧化物系介在物量が多くなるため良好な靱性を得ることが困難となる。ただ、酸素量を低減できる高塩基性

タイプの FCW では、全姿勢溶接が出来ない等の問題があり、高強度鋼を溶接する際の全姿勢での溶接作業性と靱性を両立するには、溶着金属中の酸素の制御が重要となってくる。今回開発したワイヤでは、スラグ形成剤の組成に検討を加え、溶接作業性と靱性の両立を図っている。図4に開発したワイヤで作製した溶着金属のマイクロ組織写真 (左図) および SEM-EBSD により解析した粒界マップ (右図) を示す。全面にわたって酸化物を核として放射状に生成する粒内ベイナイトが認められ、非常に微細な組織が形成されている。粒界マップより測定した組織サイズは約 1.56 μm であった。

開発ワイヤの継手溶着金属の引張試験とシャルピー衝撃試験結果を表7に示す。板厚は 50 mm で X 開先による両面溶接を行っているが、引張強さは 780 MPa を満足し、靱性は -40 ~ -60 °C においても良好な吸収エネルギーが得られている。また、HT780 鋼の溶接では、しばしば溶接時に侵入する水素による低温割れが問題となる。そこで、板厚 50 mm (Y 開先) を用いた窓枠拘束溶接割れ試験による溶着金属の耐低温割れ特性の評価を行った。この試験は、

表7 HT780 鋼用 FCW の機械性能

Plate thickness	Welding position	Heat input (kJ/mm)	Location*3	Tensile properties*1			Notch toughness*2			FATT (°C)
				0.2% PS (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	Absorbed energy: J (Brittle fracture: %)			
							-60°C	-40°C	-20°C	
50mm	Vertical upward (3G)	1.7	F	736	811	23	52 (39)	68 (32)	79 (22)	<-60
			B	738	817	24	62 (29)	72 (22)	83 (18)	<-60
	Horizontal (2G)	0.9	F	784	825	20	67 (14)	74 (6)	75 (4)	<-60
			B	818	848	22	66 (14)	73 (9)	77 (7)	<-60

*1 JIS Z 3111 No.A2 specimen (dia.=6.0mm, G.L.=24mm)

*2 Charpy impact test. JIS Z 3111 No.4 specimen.

*3 F: 7mm from 2nd side, B: 7mm from 1st side

表8 HT780 鋼用 FCW の窓枠拘束割れ試験結果

Plate thickness	Welding position	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Heat input (kJ/mm)	Minimum preheat and inter-pass temperature to prevent cold cracking
50mm	Flat (1G)	280	29	1.7	≤50°C
	Horizontal (2G)	280	29	1.0	75°C

厚板に多層の隅肉溶接によって拘束した試験板の開先内を多層溶接することで、実構造物に近い厳しい拘束状態を再現するものである。溶接条件、及び割れ試験の結果を表8に示す。低温割れを防止するために必要な最低予熱・パス間温度は、溶接入熱が1.7kJ/mmの場合は50°C以下で、入熱1.0kJ/mmの場合は75°Cであった。本ワイヤは低水素化の検討もなされており、それにより比較的良好な耐低温割れ性を達成している。

6. おわりに

本稿では、建設機械とクレーンの溶接及び溶接材料について記述した。今後も建設機械・クレーンの需要は世界的にはまだまだ旺盛であると共に技術的進歩も目を見張る産業である。また、日本の建機メーカーは海外他社と比べて

技術的にリードする立場でもあり、溶接技術についても更なる高能率化と高張力化が図られていくと推測される。溶接材料メーカーとしては溶接技術、溶接材料についてもその動きを的確に捉え、技術や品質の向上に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人日本建設機械工業会、建設機械産業のあゆみ（日本建設機械工業会20年史）、平成22年5月。
- 2) 社団法人日本クレーン協会 ホームページより。
- 3) コベルコクレーン株式会社 ホームページより。
- 4) 菅、村井、小橋、上山、恵良、上田、佐藤、原：HT780鋼のレーザ・アークハイブリッド溶接に関する検討、溶接学会全国大会講演概要、第87集（2010）、362-363。
- 5) 北川：海洋構造物用高強度・高じん性溶接材料の開発状況、溶接技術、59-4（2011）、82-88。