— 技術論文 —

潜弧熔接用熔剤に關する研究(第1報)*

久保田全俊** 岡田泰治**

Researches on Flux for Submerged Arc Welding. (Report I)*

By T. Kubota**, Y. Okada**

Abstract

In order to find a good flux for submerged arc welding on the rod which contains max. 0.15% C, max. 0.10% Si and 1.2—1.4% Mn, various experiments were made with the following results:

- 1) For the two types of flux compositions, i. e. $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO—MnO}$ and $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO}$ system, proper range of each oxide component was decided and given in a table. The mechanical property and weldability of weld steel were very effective within this range of flux composition.
- 2) Increase of alumina content is likely to give bad effect on weldability and to extend depth of weld in both types of flux composition.
- 3) Ability of desulphurizing weld steel depends upon the basicity of $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO—MnO}$ type of composition.
- 4) Mechanical properties of weld steel were good but the shock value was poor.

緒 言

潜弧熔接用芯線として、 $\text{C} < 0.15\%$, $\text{Si} < 0.1\%$, $\text{Mn} 1.2 \sim 1.4\%$ の成分を有するものを用いた時、これに使用する熔剤の試作研究を行った。熔剤の系統として $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO—MnO}$ 系及 $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO}$ 系の2系統について種々成分を変え、これらの成分組成の変化及びその他の成分すなわち Al_2O_3 , BaO , Na_2O , TiO_2 の含有により起る熔接性を調べ、熔剤の化学組織を決定する実験を行ったものである。

§ 1 成分の決定

本邦における研究機関及び各社で試作研究された熔剤の化学組織を第1表に示した。これによると主成分は SiO_2 , MnO , CaO , MgO 及び TiO_2 が主体となって色々組合せた系統のものを試作している、また米国では Linde 社, Lincoln 社において前述成分が主体となっているものを使用している。

そしてこれ等の熔接作業性を良好にする為に Al_2O_3 , 弗化物, 脱酸剤, 酸化剤等が好条件に配合されているものゝ

ようであるから、一応 SiO_2 , CaO , MnO , MgO の4成分を用いたものと、熔剤の一般的な SiO_2 , CaO , MgO の3成分のものを試作実験することとした。そこで熔剤としての性質は第一に熔剤の比重が小で且つ熔剤が熔鋼中に巻込まないような流動性に富むこと、第二に熔接速度が手熔接に較べ非常に大であるから化学反応が速に行われ熔鋼の機械的性質が良好な成分範囲になること、第三に電弧が安定でか

表 1 各研究所及各会社において試作されたる熔剤の成分

	SiO_2	MnO	MnO_2	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	Al_2O_3	TiO_2	その他
A	53.0	0.45		0.92		32.42	11.25	3.96		^F 0.80
〃	44.1	25.9	18.45	6.90		1.50	3.00	4.50		^E 0.70
B	30.1		22.9		17.8	1.20	1.00	5.80	21.9	
C	40.5	29.5		4.24		15.37	5.20	3.85	0.48	
D	48.2	5.99		9.74		20.86	0.84	9.87	4.47	
E	54.5				2.3	30.50	11.60	4.50		
F	40.9		10.9		4.64			4.80		
〃	47.5	12.17		9.40		21.10	1.48	3.40		

* 原稿受付 昭和27年7月

** 正員 新大同製鋼株式会社 Member, Daido Steel Company Ltd.

つビードの表面が美麗なること、第四に熔剤中より瓦斯を発生しないようなものであることが望ましいのである。

以上の点を考えに入れて第2表に示す如き原料の配合を

表 2 原 料 配 合 割 合

	CaCO ₃	ホルスライト	MnO ₂	シヤモット	SiO ₂	BaCO ₃	Na ₂ CO ₃	砂 鉄	其ノ他
M 1	21.0	11.5	37.0	16.0	38.0				
M 2	24.0	12.5	41.0	16.6	33.0	1.28	2.0		
L 7	55.0	16.0	15.0	18.0	30.0				
L 9	19.0		44.0	53.0	5.5	0.2		イルミナイト 7.5	
K 1	40.0	4.0	21.0	10.0	38.0			19.0	
J 1	55.0	3.8	4.2	60.0	7.2			10.0	
J 2	60.0	3.5	3.5	47.0	20.0			10.0	
L 8	47.0	25.0	12.0	37.0	11.5		4.0		
D 2	Fe-MnSlag 59.0		8.0	13.0	18.0			6.0	イルミナイト 11.0
D 3	62.0	18.6		7.5	33.8	1.9	水硝子 11.2		

決定した。

表 3 試 作 熔 剤 の 化 学 組 織

	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂
M 1	50.60	1.93	9.32	9.57	8.90	12.45	2.19
M 2	46.70	1.93	6.98	13.18	9.80	13.80	1.74
L 7	46.48	3.44	4.84	27.66	6.58	7.86	1.76
L 9	35.06	5.45	13.15	8.62	4.06	17.79	14.44
K 1	48.52	1.93	5.64	15.57	15.94	9.87	1.78
J 1	41.35	4.02	13.79	21.37	8.44	3.94	5.76
J 2	42.57	5.53	13.75	18.36	10.40	1.96	6.15
L 8	43.86	2.37	8.86	14.70	15.74	6.42	2.51
D 2	48.66	5.89	9.08	21.67	1.52	7.52	1.67
D 3	48.20	1.60	4.90	31.40	8.25		BaO 1.42

§ 2 熔 剤 の 熔 融

第1図に示す如き電気熔融炉を作成し、炉内の寸法は横20cm、縦25cm 深さ15cm に成る如く、黒鉛煉瓦にて内

図 1 図 熔 融 炉 設 備 配 線 図

張りを行い、電極は2吋径のものを使用した。熔剤の作成に当つては使用電圧は最低75V、最高100Vを使用し、熔解初めは500~600A程度で熔融を行い、少量熔融して、兩電極間の電極に電流が通じた時、電流を200~300Aに落し、熔剤が無暗に高温度になることを避け、電極の昇降を加減しつつ熔解した。

操業の最初は珪石、シヤモット、石灰石、フォルステライト等の比較的安定な酸化物のみを配合して熔融し、その後イルミナイト、砂鉄、二酸化マンガン、炭酸ソーダ、炭酸バリウムと段々に不安定な酸化物を投入して、充分電氣的攪拌されるのを待つて出滓した。出滓せる熔剤の冷却を待つて粒度12~20メツシュに成る如くクラシャーにて粉碎し、鉄粉をマグネットセパレーターにて完全に除去し、150°Cの乾燥炉に4時間放置した後、実験に供した。この粉碎物の化学成分は第3表に示す如くで、大体予定配合計算に

近い値と成っているが MnO のみ非常に歩留りが悪いことが解った。

§ 3 3 試 作 せ る 熔 剤 の 作 業 性

前述の10種類の熔剤を第4、5表に示すような熔接条件

表 4 表 熔 接 条 件

符 号	一次電圧	制御電圧	熔接速度	熔接電圧	熔接電流	心線径	Flux
	V	V	cm/min	V	A	mm	
101	200	210	24	32	620	5	M-1
102	205	210	24	32	600	5	M-2
104	205	210	24	32	600	5	L-7
106	210	210	24	32	650	5	L-9
108	210	210	24	30	650	5	K-1
109	210	210	24	32	650	5	J-1
110	210	210	24	32	600	5	J-2
112	200	210	25	30	650	5	K-8
113	200	210	25	32	650	5	D-3
114	200	210	25	32	650	5	D-2

表 5 溶 接 条 件

符 号	一次電圧	制御電圧	溶接速度	溶接電圧	溶接電流	心線径	Flux
	V	V	cm/min	V	A	mm	
201	200	210	68	32	550	5	M-1
202	210	210	68	30	600	5	M-2
204	205	210	70	30	600	5	L-7
206	210	210	70	30	600	5	L-9
208	210	210	68	30	590	5	K-1
209	220	210	68	30	610	5	J-1
210	210	210	68	30	590	5	J-2
212	200	210	70	30	550	5	L-8
213	200	210	70	30	550	5	D-3
214	200	210	70	30	550	5	D-2

にて心線成分 0.12%C, 0.03%Si, 1.33%Mn, 0.28%Cu の鋼線材を使用して、自動溶接を行った。外観的に良好なるものは、M-2, L-7, L-9, K-1 は最優秀のビード面を

写真 1 ビード外観

写真 2 ビード外観

有し、多少悪いものは M-1, J-1, J-2, L-8, D-3, D-2 であることが写真 1 および 2 でわかる。これらの外観の良いものはスラグの裏面を見ると写真 3, 4 で解る如く、良好なものはスラグの面が滑らかで且つ気泡の少いことが見られ手溶接の場合と大分異つていることが解つた。

この結果と第 3 表に示す化学成分と比較して検討を加えると、次の如きことがいえる。即ち

① K-1 と L-8 とは成分的に非常に類似しているが、L-8 は K-1

に比較して、 Al_2O_3 が多く MnO が多いので多少塩基度の強い方が作業性が良く、 Al_2O_3 は作業性を悪くする傾向が有るのではないかと考えられる。 MnO

大体 10% 前後を適当とするように思われる。また MgO を 15% 入れた場合に MgO は FeO と非常に親和力が強い為鉄板の清浄度の悪い時にも適するよう配合を行ったのであるが、実験においてもその効果は多少認められた。

② M-1 と M-2 を比較すれば、これも前述のように M-1 は Al_2O_3 が 10% 近く存在している為に作業性を悪くしたのではないかと考えられ、 Al_2O_3 はこの系統すなわち、 SiO_2 45~50%, CaO 10~15%, MgO 8~10%, MnO 10~15% では 5% 以下とした時が良好と考えられる。

③ L-9, J-1, J-2 と比較して検討すると L-7 もこれらの他の溶剤より Al_2O_3 が低いので、作業性が良好であり、また J-1, J-2 においても、J-1 は MnO が多い為にその溶剤の流動性が良好となり作業性を増加したものと考えられる。

以上の 10 種類の試作せる溶剤を考えると、 SiO_2 - CaO - MgO - MnO 系においては Al_2O_3 は作業性を悪くすることが解り、この系統の成分範囲は SiO_2 45~50%, CaO 13~17%, MnO 7~13%, MgO 12~17%, Al_2O_3 5% 以下、 FeO 2% 以下の点が良好と考える。

また SiO_2 - CaO - MgO 系においては

写真 3 熔 接 の 裏 面

写真 4 熔 接 の 裏 面

オ 2 図 Bead の 熔 込 測 定 箇 所

および 6 の左に表わした。この腐蝕面について第 2 図に示した箇所から熔込みを測定し、

熔着金属の共晶点を予定成分として行ったが、熔着金属のみでは熔込みが大で Sulphur Crack に対し敏感性を有す

その結果を第 6 および 7 表に示した。すなわちビードの巾と熔込みの深さの比をとれば、この比の大きいもの程熔け

るの下、これを減ずる為に電圧を減少する Ba の酸化物を加えて熔込を減少し、また Na_2O を混合して脱酸性を増加するようにしたものである。これ等のことを考えると SiO_2 45~50%, CaO 27~32%, MgO 8~10%, Al_2O_3 5% 以下、 FeO 2% 以下の点が良いと思われる。

オ 6 表 熔 込 測 定 結 果

	B Bead 巾	H 熔込み	h 補強盛り	L Overlap	B/H	h/H	a 影響部巾	d 影響部深
101	20.7	7.5	4.0	0.6	2.76	0.534	24.4	10.1
102	24.3	7.4	3.3	0	3.28	0.447	28.0	9.7
104	24.8	6.5	3.2	0	3.35	0.493	27.8	9.0
106	23.3	8.5	3.0	0	2.74	0.353	26.7	10.8
108	23.6	8.6	3.6	0	2.75	0.418	27.4	10.7
109	25.6	7.9	3.6	0	3.24	0.455	28.0	9.9
110	20.6	7.3	4.4	0.6	2.82	0.603	24.7	9.4
112	21.5	5.7	3.6	0.3	3.77	0.631	24.6	8.1
113	23.2	6.0	3.6	0.2	3.87	0.600	27.9	9.0
114	21.0	7.2	4.0	0	2.92	0.556	24.5	9.7

§ 4 熔剤と熔込

Sulphur crack の防止策として、母材に対する熔込量が少い程発生する量が少いとされているので、熔剤と熔込量の関係を調べる為にビードに直角方向に切断し、その断面を、Villala and Bain 試薬にてマクロ組織を出した。これらを写真 5

オ 7 表 熔 込 測 定 結 果

符 号	B Bead 巾	H 熔込み	h 補強盛り	L Overlap	B/H	h/H	a 影響部巾	c 影響部深
201	12.4	4.9	2.3	0	2.53	0.468	14.5	6.1
202	13.7	5.3	2.4	0	2.58	0.453	15.7	5.8
204	12.8	4.0	2.1	0	3.20	0.525	14.3	5.0
206	13.3	4.8	2.5	0	2.77	0.521	14.7	6.1
208	13.5	4.7	2.4	0	2.87	0.511	15.5	6.0
209	13.4	5.7	3.0	0	2.35	0.526	15.6	7.1
210	13.3	4.5	2.7	0	2.96	0.600	15.1	5.9
212	13.0	5.0	2.5	0	2.70	0.500	15.4	5.5
213	13.6	4.8	2.3	0	2.84	0.479	14.9	5.2
214	13.0	4.8	3.1	0	2.71	0.645	15.5	5.3

写真 5 マクロ組織及サルファープリント組織

込み浅く Sulphur band の影響を受けない訳であるから、高電流、[低速度の場合にこの比が、3.0 以上のものを見るとすなわち 101(M₂) 104(L-7) 109(J-1) 112(L-8) 113(D-3)、低電流高速度溶接においては、この比2.8以上について考えると 204(L-7) 208(K-1) 210(J-2) 213(P-3) である。熔込みの少ないものは L-7, D-3 のごとく溶剤の化学成分中の Al₂O₃ が少ない場合が多く、また熔込みの大きい溶剤では L-9 のごとく Al₂O₃ が 13.15% で多い。以上の点より Al₂O₃ は熔込みを大にする性質が有る

と考えて差支え無いと思う。すなわち Sulphur crack に対し、感受性を強くする因子と考えられる。D-3 は BaO の影響を受けて高電流低速度の場合最も熔込みが浅い結果となり、その効果は大きいものと見られる。また写真 5, 6 の右は sulphur print した結果を写真に撮つたもので母材の sulphur band が熔着鋼に熔込んでいることが見られる。

§ 5 溶剤と全熔着鋼の機械的性質

全熔着鋼の機械的性質を調べる為に、第3図に示す如き寸法に SS41 の鋼材を切削して、試験片を作成し、図の位置に置いて裏当金を上部試験板と完全に裏面より隅肉溶接を行って下記に示す条件にて肉盛を行った。

第3図 試片採取寸法図

層	溶接電流 (A)	溶接速度 (cm/min)	溶接電圧 (V)
1	800	10	30
2	850	10	35

上記に示す如く 2 pass にて溶接を行い、この肉盛部の図に示す位置から抗張力試験片 (JIS 規格寸法) および衝撃試験片を採取して試験した結果を第8表に示した。この結果より実用的になる機械的性質を示すものは M₂, K-1, D-3 の3種類の溶剤で、抗張力は 45kg/mm² 程度であり伸は 30% 以上を示す良好な値であったが、衝撃値は 4~5 程度を示し熔着鋼として多少低い値である。これは溶

接進行方向に採取した為樹状晶の原因によるものかと考えられるが、低い値を示す傾向がある。

§ 6 溶剤と熔着鋼の化学成分

溶剤と熔着鋼の化学成分との関係を検討した結果、第9表に示す如く、SiO₂-CaO-MgO 系と SiO₂-CaO-MgO-MnO 系とを比較すると前者は 0.041% に対し後者は 0.030% 以下の値を示している故、後者の系統の方が、溶剤よりの影響が僅少で有る。すなわち塩基度の強い溶剤の

写真 6 マクロ組織及サルファープリント組織

表 9 全熔着鋼の化学組成

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
M 1	.14	.33	.65	.028	.026	.27	.12	.05
M 2	.11	.25	.63	.025	.024	.28	.12	.04
L-7	.14	.28	.69	.032	.026	.28	.12	.05
L-8	.17	.26	.64	.030	.032	.27	.13	.05
L-9	.14	.26	.73	.029	.026	.28	.12	.04
K-1	.12	.35	.64	.028	.026	.28	.12	.05
J-1	.10	.32	.52	.028	.029	.28	.13	.04
J-2	.13	.28	.50	.028	.026	.28	.12	.05
D-2	.13	.32	.48	.037	.026	.26	.12	.04
D-3	.14	.31	.62	.030	.041	.28	.12	.04

§ 7 総 括

- ① 心線 C 0.15% 以下 Si 0.10% 以下 Mn 1.2~1.4% の潜弧熔接用芯線を使用した時の熔劑として $\text{SiO}_2\text{—MgO—CaO—MnO}$ 系にては SiO_2 45~50% CaO 13~17% MnO 7~13% MgO 12~17% の成分を有する熔劑が適当と思われる。また $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO}$ 系にては SiO_2 45~50%, CaO 29~32%, MgO 8~10% これに BaO を適当に配合したものが熔劑として良好である。
- ② 熔劑の Al_2O_3 は $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO—MnO}$ 系および $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO}$ 系兩者に対してできるだけ僅少の方が作業性を良好にしかつ熔込みが浅くなる。■

表 8 全熔着鋼の機械的性質

	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	断面状態	切断位置	硬度 BHN	シャルピー kg-m/cm ²	備 考
M 1	27.3	48.7	32.0	55.9	cup	¼内	163	4.68*	—
M 2	—	—	—	—	—	—	167	2.53	—
L-7	30.5	48.1	9.8	13.8	G	点外	163	5.31	巢
L-8	30.1	44.0	10.8	18.2	G	¼内	152	4.68	巢
L-9	30.1	42.7	8.0	16.7	G	¼外	159	3.46	巢
K-1	28.1	45.4	32.6	43.5	sh	¼内	163	4.68	—
J-1	—	—	—	—	—	—	156	4.55	巢
J-2	30.9	46.2	12.4	12.3	G	¼外	159	3.84	—
D-2	30.9	41.9	6.0	7.8	G	¼内	152	3.50	巢
D-3	25.9	45.2	33.2	55.9	cup	¼内	149	5.15	—

方が良好であって Sulphur crack に対しても影響が僅少と考えられる。従って $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO}$ 系は一般に使用して機械的性質等の点からは差支えないが crack に対して敏感性が強いから注意しなければならないであろう。また $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO—MnO}$ 系は機械的性質良好で crack に対しても影響が少いと考えられる。次に機械的性質良好な時の熔着鋼の成分は C 0.10~0.15% Si 0.25~0.35% Mn 0.60~0.70% 程度の範囲と考えられる。

③ Sulphur の影響は $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO—MnO}$ 系の方が $\text{SiO}_2\text{—CaO—MgO}$ 系に比して小である。

④ 兩者の系統共機械的性質は良好であるが衝撃値が多少劣る感が有るので熔接後適当な処理すなわち焼鈍等を行えば良好となるであろう。また硬度は BHN で 150~170 程度であるから熔接後の機械加工等には差支えないと考える。

本研究遂行に当り、種々御指導を賜った関口春次郎博士並びに磐城部長、浅田課長に感謝致します。