軟鋼溶着金属の切欠靱性に及ぼす合金元素 の 影 響 (第 4 報)*

—アルミニウムおよびチタンの影響—

榊 鳳 千 代**

Effect of Alloying Elements on Notch Toughness of Basic Weld Metals (Report 4)*

—Effect of Aluminium and Titanium—

By H. Sakaki**

Abstract

Aluminium and titanium are widely used in steel making. In present paper attempts have been made to establish the quantitative effects of aluminium and titanium on the notch toughness of the weld metals which were fabricated by the manual arc welding.

At the early stage of deoxidation the maximum energy remains at low value and transition temperature is higher, but more sufficient addition of aluminium and titanium lowers transition temperature and raises maximum energy.

In case of titanium deoxidation as the amount is increased over 0.1% titanium, transition temperature begins to increase.

But in aluminium deoxidation transition temperature continues to decrease up to 0.35% aluminium.

1. 緒 言

筆者は前に低水素型溶接棒において各種の単独脱酸剤を使用して溶着金属の非金属介在物の電子顕微鏡による研究を行ったが^{1)~6)}, その際の結果によるとアルミニウム, チタン, 珪素の3元素は完全に Porosity のない溶着金属を得ることができた。この内の珪素についてはその溶着金属の切欠靱性におよぼす影響についてはすでに発表⁷⁾したが今回はアルミニウムとチタンの切欠靱性におよぼす影響について報告することにする。この2元素は珪素よりも脱酸力強いけれども slag 中より珪素を還元し溶着金属中の酸素量を0.03%以下に下げることができる。

2. 実 験 方 法

被覆中より単一脱酸剤として Table 1 のごとき組成の Fe-Al と Fe-Ti を使用した。心線は前報同様 Table 1 の組成の低炭素, 低マンガンのリムド鋼である。被覆剤は典型的な石灰螢石型で石灰 48parts, 螢石 18parts, ジルコン砂 5parts, Mica 4parts でこの基本組成に対しそれぞれ Fe-Al 7~14parts, Fe-Ti 16~25part, の 1part あて変化せしめた量を入れた被覆溶接棒を作成した。

このアルミニウム系8種, チタン系10種の計18種の溶接棒で溶着金属引張試験片および衝撃試験片各1枚に多層盛連続溶接により溶着金属を Deposit して試験片を作成した。溶接電流は 150—160 A で電圧は 24 V で層間温度は 150°C に保った。

3. 溶着金属の化学組成

溶着金属の組成を Table 2 に示す。アルミニウムはフェロアルミの添加量とともに増し同時に酸素量は減少する。チタンの系列の場合も

同様で被覆中のフェロチタンの量を増すほど溶着金属中のチタン含有量は増加し酸素量は低下する。普通の低水素型溶接棒では酸素は0.05%以下になるのでこれらの2元素とも十分低水素棒なみの脱酸能力を持っているわけである。

Table 1 Chemical Composition of Rod and Deoxidizers

	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Al	%Ti	%O
Core Rod	0.014	0.096	tr	0.003	0.014			0.066
Fe-Al	0.05	0.39	0.07	0.008	0.013	71.54		
Fe-Ti	0.05	0.38	0.20	0.002	0.010		44.67	

原稿受付, 昭和34年10月13日

* 昭和34年度秋季学術講演会にて発表 (Al)

昭和35年度春季学術講演会にて発表 (Ti)

** 正員, KK 神戸製鋼所 Member, Kobe Steel Works Co., Ltd.

Table 2 Chemical Composition of Weld Metals

75% Fe-Al	Charge No.	C %	Mn%	Si%	P %	S %	N %	O %	Element Varied
Parts									(Al)
7	IA - 1	0.038	0.057	0.047	0.006	0.013	0.013	0.073	0.018
8	2	0.033	0.070	0.055	0.007	0.009	0.012	0.040	0.027
9	3	0.041	0.132	0.055	0.010	0.009	0.011	0.031	0.034
10	4	0.045	0.094	0.202	0.009	0.008	0.010	0.026	0.069
11	5	0.047	0.103	0.257	0.008	0.007	0.008	0.026	0.127
12	6	0.070	0.114	0.319	0.009	0.006	0.008	0.012	0.183
13	7	0.090	0.158	0.403	0.009	0.006	0.008	0.008	0.250
14	8	0.090	0.106	0.523	0.008	0.007	0.007	0.007	0.357
45% Fe-Ti									(Ti)
16	IT - 21	0.053	0.039	0.030	0.006	0.010	0.010	0.064	0.028
17	18	0.044	0.049	0.040	0.006	0.010	0.010	0.054	0.041
18	19	0.053	0.058	0.041	0.008	0.008	0.010	0.039	0.052
19	20	0.047	0.070	0.050	0.007	0.008	0.009	0.029	0.059
20	22	0.038	0.084	0.093	0.009	0.007	0.010	0.024	0.068
21	23	0.052	0.092	0.125	0.008	0.008	0.010	0.021	0.075
22	24	0.056	0.089	0.132	0.009	0.006	0.011	0.026	0.085
23	25	0.061	0.097	0.125	0.008	0.007	0.010	0.021	0.095
24	26	0.058	0.105	0.187	0.008	0.005	0.010	0.026	0.105
25	27	0.053	0.091	0.179	0.007	0.007	0.010	0.024	0.123

Table 3 Mechanical Properties of Weld Metals

Charge No.	Element Varied %	Yield Strength kg/mm ²	Tensile Strength kg/mm ²	Elonga- tion 50mm %	Reduc- tion %	15ft-lb Trans Temp. °C	Average Energy T. Temp. °C	10% Fibrosi- hy T. Temp. °C	50% Fibrosity T. Temp. °C	Max. Energy kg-m/cm ²
IA - 1	(Al)									
2	0.018	31.2	36.9	16.0	22.5	-19	-15	-29	-9	7.5
3	0.027	32.9	41.2	34.0	76.3	-25	-11	-30	-13	16.5
4	0.034	33.9	42.4	38.0	74.6	-50	-32	-40	-28	26.0
5	0.069	34.2	42.4	36.5	76.2	-59	-47	-56	-40	24.8
6	0.127	33.4	43.3	36.5	72.1	-61	-47	-55	-44	25.5
7	0.183	34.6	45.3	37.0	73.8	-65	-49	-58	-43	23.2
8	0.250	32.7	46.6	35.0	73.0	-71	-51	-60	-42	22.5
8	0.357	33.7	47.6	39.4	76.2	-80	-54	-66	-41	22.3
IT - 21	(Ti)									
18	0.028	30.2	37.2	23.2	50.4	0	+18	-5	+19	12.5
19	0.041	33.1	39.1	29.8	44.6	-5	+11	-10	+8	19.5
20	0.052	37.4	42.1	38.2	76.8	-11	+4	-15	+3	25.0
22	0.059	35.6	41.4	38.4	79.9	-15	+1	-17	-3	28.0
23	0.068	40.1	45.5	36.2	80.7	-22	-8	-22	-8	32.0
24	0.075	40.0	45.6	39.4	80.7	-17	+2	-15	0	32.5
26	0.085	38.9	46.0	34.0	79.2	-20	0	-18	-2	34.0
27	0.095	39.3	45.2	34.8	80.6	-26	-5	-28	-8	36.0
27	0.104	43.3	49.9	26.8	76.8	-24	-3	-24	-6	35.5
27	0.123	40.3	47.3	32.0	89.1	-10	+15	-8	-24	28.0

またこの2元素は slag 中より珪素を還元し、アルミニウムでは0.069%で珪素は0.020%となり、チタンでは0.105%で珪素量は0.187%となる。このように同一量ではアルミニウムのほうが珪素を還元する能力は大きい。

4. 溶着金属の機械的性質

Table 3 に溶着金属の引張性質を示している。溶着金属の引張試験片は 620°C に 1hr 焼鈍後 12.5mm. 標点距離 50 mm に加工後引張試験を行った。溶着金属中のアルミニウム、チタンの増加とともに抗張力は高くなるが、降伏点の場合アルミニウムの系列はほとんど増加しない。降伏比を比較するとチタン脱酸では0.85%~0.89%に達するが、アルミニウム脱酸では0.72%~0.80%、珪素脱酸では0.78%~0.83%でいずれもチタン脱酸の場合よりは低くなっている。伸び、絞りには酸素量の高い試料を除いて良好で

伸びは30%以上、絞りは70%以上を示している。

Fig. 1 は引張試験片の外観写真で酸素の高い始めの部分を除きよく絞れた破面を表わしている。

5. 溶着金属の顕微鏡組織

Fig. 2 は溶着金属のマイクロ組織である。アルミニウムとチタンの系列では結晶粒の大きさには大差はないがチタンの系列のほうが若干粒の形状が乱れている。IA-2(0.027% Al) は若干粒が粗いがアルミニウムの増加とともに微細化する。A.S.T.M によるフェライト粒度番号は10.5から11.0の範囲である。しかしこれは次の Bead で焼鈍された部分で、焼鈍されぬ部分は結晶粒は粗く細長いものが多く大きさも不整である。

6. 溶着金属の衝撃値

各 charge の被覆棒で試験板に溶接後、as weld の状態で所定の温度で衝撃試験を行った。

アルミニウムおよびチタンによって溶着金属の脱酸を行った場合ある一定量の添加で完全に Porosity のない溶着金属を得ることが出来るがその後の添加で溶着金属の切欠靱性にいかなる影響を与えるかを調べた。

Fig. 1 Tensile appearance of tensile specimens

Fig. 2 Microstructure of weld metals ($\times 300$ nital etch)

Fig. 3 Effect of aluminium on the energy-temperature relationship.

Fig. 5 Effect of titanium on the energy-temperature relationship

Fig. 3 と 5 はエネルギー-温度曲線におよぼすアルミニウムとチタンの影響を, Fig. 4 と 6 は Fibrosity におよぼす影響を示している。

両系列とも溶着金属の脱酸が不足で酸素量の高い間は遷移温度は高く, 最高衝撃エネルギーは低い。添加するフェ

Fig. 4 Effect of aluminium on the fibrosity-temperature relationship.

Fig. 6 Effect of titanium on the fibrosity-temperature relationship

ロアルミ, フェロチタンの増加とともに溶着金属中に止まるこれらの元素の量は高くなり酸素量は低下して行く。同時に溶着金属の最高衝撃値は大となり, 遷移曲線は低温側に移り遷移温度は低下する。

しかしチタンの場合は 0.1% を超えると再び最高衝撃値は低くなり, 遷移曲線は高温側に移り遷移温度は上昇する。

これに反しアルミニウムの場合は脱酸の完了後もそのまま遷移温度は低下を続ける。

この傾向は Fibrosity の場合も同様でアルミニウムの系列ではアルミニウムの増加とともに遷移曲線は低温側に移るが IA-4 以降はあまり変化せずアルミの増加とともに遷移帯は広がり 10% Fibrosity は低温側に移るが脆性破面の出始める温度は高温側に移る。チタンの場合は 0.1% を超えると全体の遷移曲線は高温側に移る。

Fig. 7 には珪素を含めての 3 元素の遷移温度におよぼす

影響を示している。この場合 4 種の Criterion による遷移温度をそのまま掲げたが、アルミニウムの場合、 Trs のみ 0.15% から上昇の傾向があるが、他の 3 種の遷移温度はいずれも下降を続け、中でも Tr_{15} は最もその程度は大きい。

チタンの場合は脱酸の進行とともに遷移温度はいずれも低下するが 0.1% を超えると再び遷移温度は上昇を始める。珪素の系列も酸素量の低下とともに遷移温度は低下するが脱酸の完了する 0.4% の前後から再び上昇する。

この 3 元素を比較した場合遷移温度を低下する能力はアルミニウムが最も大きく次に珪素でチタンが最も劣る。また珪素とチタンは過剰を加えると再び遷移温度を上昇せしめ

Fig. 7 Effect of silicon aluminum and titanium upon transition temperature

Fig. 8 Fractured appearance of Charpy specimens (Al-series)

Fig. 9 Fractured appearance of Charpy specimens (Ti-series)

る。

Fig. 8 と 9 は V-notch Charpy 試験片の外観写真を示す。Fig. 8 はアルミニウムの系列のもので IA-1 から IA-4 までは剪断破面の始まる温度は急激に低下するが IA-4 以降はあまり変っていない。チタンの系列では IT-20 以降は剪断破面の始まる温度の差異は少いが 0.1% 以上の IT-27 では急激に上昇している。

アルミニウムの影響については Rinebolt と Harris⁽⁸⁾ はアルミニウムを入れない場合の遷移温度の高いのを結晶粒と関連せしめて考えている。たとえば 50% fibrosity の

遷移温度は Al 0.001% で 49°C であるが Al が 0.019% になると 4°C に低下すると述べている。このとき結晶粒は 6 から 7 に低下する。またチタンの場合 0.1% まで遷移温度を上昇せしめ以下 0.4% まで低下せしめるとのべている

がこの結果は今回の実験とは反対である。

7. 結 論

以上をまとめると次のごとくなる。

(1) アルミニウム、チタンによる脱酸によりいずれも酸素量は0.05%以下に低下し、珪素を slag 中より還元せしめる。

(2) 溶着金属の抗張力はアルミニウム、チタンの増加とともに高くなるが、降伏点はアルミニウムの場合変化は少い。降伏比はチタン脱酸の場合が最も高い。

(3) 溶着金属のフェライト結晶粒度は10.5~11.0の範囲でチタンはアルミニウムに比し結晶粒の形状が不整である。

(4) 溶着金属の衝撃値は酸素の高い間は最高衝撃エネルギーが低く遷移温度も高いが脱酸の進行とともに最高エネルギーが増加し遷移温度も低下する。しかしチタン脱酸では0.1%を超えると再び最高衝撃値は低くなり、遷移曲

線は高温側に移るが、アルミニウムは脱酸の完了後もそのまゝ遷移温度は低下を続ける。

(5) 珪素、アルミニウム、チタンの3元素を比較した場合、アルミニウムが最も遷移温度を低下せしめる能力が大きく珪素がこれに続き、チタンが最も劣る。

文 献

- 1) 榊, 溶接学会誌, Vol. 27 (1958), P.660~P664
 - 2) " Vol. 27 (1958), P.737~P739
 - 3) " Vol. 27 (1958), P.740~P743
 - 4) " Vol. 28 (1959), P. 22~P 24
 - 5) " Vol. 28 (1959), P. 94~P 96
 - 6) " Vol. 28 (1959), P.719~P722
 - 7) " Vol. 28 (1959), P.858~P763
- " J. A. Rinebolt and W. J. Harris, "Effect of Alloying Elements on Notch Toughness of Pearlitic steels," Trans. A.S.M, Vol. 43 (1951), 1175~1214

＜ 会 告 ＞

(45ページに続く)

第二回溶接工学夏季講習会御案内

来る8月24日より27日迄、4日間下記要領によって「第二回溶接工学夏季講習会」を開催致します。本講習会の内容は特に軽量鉄骨建築構造物と仮設工作物との溶接について溶接施工係員と溶接工とを対照として計画して居りますので、何卒御多数御参加下さいませよう御案内申します。

また、各位の関係方向にも御協力下さいますようお願い申し上げます。

主 催	労働省産業安全研究所	後 援	財団法人 日本軽量鉄骨建築協会
主 催	財団法人 溶接研究所	後 援	社団法人 鋼管構造クラブ
後 援	社団法人 日本建築学会	後 援	社団法人 鋼材クラブ
後 援	社団法人 溶接学会		

○開催期日 昭和35年8月24日(水)~8月27日(土) 4日間

毎日午前9時から午後4時まで

○場 所 講 演 東京都文京区本富士町東京大学工学部1号館15号教室
実 習 東京都品川区平塚6丁目167八幡溶接棒株式会社東京工場
見 学 同 上
港区赤坂青山高樹町6大和ハウス株式会社

○開会の辞 8月24日午前9時30分 溶接研究所理事長東大名誉教授 田 中 豊

○閉会の辞 8月26日午後3時30分 労働省産業安全研究所長 高 梨 湛

○映 画 8月26日(金)閉会式後より約1時間半の予定

「新しい建築・軽量形鋼の家」 中之島製鋼株式会社提供
「軽量形鋼の溶接」 八幡溶接棒株式会社提供
「鋼管建築」 鋼管構造クラブ提供

○定 員 150名(申込順)

○会 費 1人2,000円(テキスト代を含む)

○申込み要領 申込書に氏名、現住所、勤務先、職名を御記入の上、会費2,000円をそえて来る8月15日までに「東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番地大和屋ビル芝産業株式会社内」溶接研究所事務局あてにお申込み下さい。申込書受理の上聴講券をお送りします。定員打切としますが定員未満の節は当日会場でも受付けることがあります。