アルミニウムのハーフサブマージド・アーク溶接*

村 木 徹 五 郎**

Half-Submerged Arc Welding of Aluminium*

By Tetsugorō Muramoto**

1. ハーフサブマージドアーク溶接

アルミニウムは軽くて丈夫でかつ耐食性が高いため、化学工業を始めとして近年益々広く使用されつつある。これら設備の生産において溶接は重要な技術のプロセスであり、その能率を高めるためには自動溶接法を十分に利用することが必要である。アルミニウムの自動溶接には従来イナートガスアーク溶接法がもっぱら用いられているが、ソ連ではアルミニウムのハーフサブマージド・アーク溶接法が開発され、近年共産圏諸国に普及し始めた。ここにこの溶接法を文献^{1,2)}により紹介するしだいである。

アルミニウムのサブマージド・アーク溶接には次に述べる特殊なフラックスが使用される。このフラックスは熔融状態において電気伝導度が高いので、完全潜弧にすると電流がスラグによってシャントされ、アークの安定性が乱される。そこでフラックスを薄い層に散布しそこで溶接が行なわれる。このようにすると、溶接中のアークの一部がフラックス層上に露出するので、ハーフサブマージド・アーク溶接と呼ばれている。

溶接アークの大気からの保護は、一部はフラックス層によってなされるが、これに加えてフラックスに含まれているアルカリ金属の塩素塩と氷晶石が溶接熱で反応して気体状の塩化アルミニウムが発生し、これがアークの大気からの保護に役立つと考えられている。

なおこの方法は工業用純アルミおよびマグネシウムを含まないアルミ合金に用いられものであると文献に述べられている¹⁾。

2. フラックス

2.1 フラックスの組成

アルミニウムのサブマージド・アーク溶接用フラックスは次の要求を満たすものでなければならない。

- (1) アークが安定でビード形成が良好であること

- (2) 溶接部にプロホールや割れがないこと。
- (3) 酸化膜を除去し、スラグの剝離性が良好であること。
- (4) 溶接部の耐食性および機械的性質が良好であること。

以上のような要求に応ずるフラックスとして、ソ連では塩化カリウム-塩化ナトリウム-氷晶石の組成系のものが用いられている。特にパトン研究所で開発された次の組成を有する AH-A1 が著名で、よく使用されている。

2.2 原料

フラックス製造に使用される原料としては、ソ連およびチェコではそれぞれ次の規格のものが用いられている。

- (1) ソ 連

KCl, NaCl : それぞれ国家規格 4234-48 および 4233-48 による “Q 種” のもの

Na_3AlF_6 (氷晶石) : TV 952-41 による “K-1” のもの

- (2) チェコ

NaCl : 食品用目的に適用されるチェコ国家規格 508919 によるもの

KCl : 化学的に純粋と表示された純度をもつこと

... Na_3AlF_6 : ガラス製造用に適する品質で、生産者により合成材料と表示されているもの

2.3 フラックスの製造法

ソ連ではこのフラックスは溶製されている。その一例をあげると次のようである。溶製前に KCl および NaCl を 300°C に加熱、 Na_3AlF_6 を 600°C に加熱し乾燥する。800°C で溶融し、5 分間保持した後乾式で粒状化する。このようにすると反応生成物がほとんどなく、組成原料と成品フラックスの化学成分はきわめて近いものが得られる。(表-1 参照)。

これに対しチェコでは原料を乾燥して水分を除去するだけで十分であり、したがって溶製する必要はないとして、非溶製法が用いられている。

* 原稿受付、昭和36年12月16日 (昭和36年度特殊溶接研究委員会A分科会において講演)

** 正員、鉄道技術研究所 Member, Railway Technical Research Institute, J.N.R.

表一 原料と溶製フラックスの化学組成比較¹⁾

番 号	試 料	化 学 成 分 %				
		K	Na	Al	F	Cl
1	原 料 フラックス	—	38.6	1.3	5.4	54.7
		—	39.1	1.6	5.2	54.2
15	原 料 フラックス	21.0	22.1	2.6	10.9	43.4
		20.9	22.6	2.9	10.8	43.0
25 (AH-A1)	原 料 フラックス	26.2	17.5	4.0	16.3	36.0
		26.4	17.8	4.6	15.9	35.4

その一例をあげると次のようである。原料を固着剤でねり、これを 400°C で 2 時間乾燥した後これを粉碎し、最大 0.8 mm 目のふるいでふるったものを使用する。

2.4 フラックスの組成と作業性との関係

ソ連では従来から AH-A1 が広く使用されているが、AH-A1 以外の組成のものも提案されており（たとえば $\text{KCl} : \text{NaCl} : \text{Na}_3\text{AlF}_6 = 40 : 30 : 30$ ），原料比が基本の AH-A1 と相違した場合、どのような影響があるかが調査された。

組成の変化範囲は図一に示すとおりで、各試験フラックスに番号が付されている。

溶接は厚さ 6 mm のアルミニウム板 A1-1 の I 型突合溶接で、ワイヤは直径 1.3 mm のものを使用した。電流は直流逆極性で、溶接条件は次に示すようである。

溶接電流：170±15 A，アーク電圧：30±2 V，溶接速度：23.5 m/h，ワイヤ送給速度：537 m/h

なおフラックスは深さ 7 mm，上面の巾 18 mm，下面の巾 25 mm の梯形断面に散布した。

フラックスのビード形成能力は図二に示すようである。図中数字 3 はビード形成がきわめて良好なもの、2 はかなり良好なもの、1 はやや不良なものを示す。かな

り広い組成範囲（氷晶石 30%，NaCl 10-40%，KCl 30-60%）にわたってビード形成能力がすぐれている。

スラグ剥離性に関する成績は図一 3 に示すようで、ビード形成が良好な場合はスラグ剥離性も良好という結果を得ている。

3. 溶 接 装 置

アルミニウムのハーフサブマージド・アーク溶接用電源としては、直流、定電圧特性のものが使用される。セレン整流器がよいが、オシロ測定の結果によると、MG 型直流溶接機も適している。

図一 4 に MG 型溶接機の配線図の一例を、また図一 5 にセレン整流器および MG 型溶接機の静的特性の一例を示す。

図一 2 フラックス組成とビード形成能力との関係¹⁾
3：良，2：やや良，1：不可

図一 1 フラックスの組成

図一 3 フラックス組成とスラグ剥離性との関係¹⁾
3：良，2：やや良，1：不可

図—4 MG型溶接機の配線図

図—5 a: 500 A 15~40 V セレン整流器の静的特性
b: Hobart MR 600-P 型 MG 溶接機の静的特性

図—6 に溶接頭の一例を示す。フラックスフィーダは、図—7 に示すようにフラックス散布の深さを正しくコントロールするためのもので、アルミニウムの溶接ではフラックス層の厚さがビード形成におよぼす影響がきわめて大きいところから、フラックスフィーダは重要な役割を果たす。近い将来、アルミニウムの自動溶接専用機にはフラックスフィーダが取付けられるであろうと述べられている²⁾。

4. 溶 接 施 工

4.1 溶接準備

アルミニウムのサブマージド・アーク溶接では溶込が大きいから、かなりの板厚まで開先をとる必要はない。板厚が 20 mm でも I 型で片側一層（当板を使用）で溶接することが可能である。また予備実験の結果によると、厚さ 60~70 mm の板でも開先削磨が不用であるとされている。

板の突合間隔はなるべく小さくする必要がある。間隔

図—6 溶接機主要部略図

図—7 フラックスフィーダ

があるとプロホールが発生しやすい。これは溶接時フラックスが当板上に落ち、溶接熱によって当板を化学的に侵し、発生したガスが溶接部に入ることによると考えられている。

溶接には銅その他の当板を行なう。

なう。

フラックスはかなり吸湿性であり、水分があると原子水素が発生し、これはアルミに溶解されるため、プロホールが発生しやすい。

その他、母材やワイヤの清掃が大切である。

4.2 溶接条件

チェコで研究された適正溶接条件の一例を表—2 に示す。溶接条件の制御には細かい注意を払う必要がある。

5. 溶 接 部 の 品 質

5.1 機械的性質

チェコで行なわれた、アルミニウムの溶接部の機械試験の結果を表—3 に示す。

引張強さはなんらの処理を加えない軟かい状態では標準に合致しているが、半硬化状態においては少しこれに

表—2 各種の板厚と適正な溶接条件²⁾

板 厚 mm	棒 径 mm	フラックス厚さ mm	溶 接 電 流 A	アーク電圧 V	溶 接 速 度 m/h	溶接棒の自由長 mm	棒の送り速度 m/h
6	1.2	4	180~200	27	27	155	540
10	1.5	4	270~280	28	23	160	453
16	2.5	8	350~370	28	13	180	228
20	3.15	8	450~470	28	13	175	191

表-3 アルミニウム溶接部の機械的性能 (引張強さ kg/mm^2)²⁾

材 質	板 厚	母 材	溶接金属	標 準 品 質		曲げ角度
				軟 部	半硬化部	
Al 99.5	10	10.3~10.4	8.3~8.3			
"	16	8.3~ 8.0	7.5~7.6	(7) 最大 10	最小 9	180°
"	20	7.9~ 8.1	7.3~7.2

図-8 溶接部の機械的性質とフラックス組成の関係¹⁾

劣っている。硬さ分布は、溶接部の中央ではやや高いが、母材と大して変らないことが示された。

ソ連では図-1に示す組成の各フラックスによる溶接部の機械的性質が調査された。その結果は図-8に示すようであった。図中分子の数字は引張強さを、分母の数字は曲げ角度を表わす。各データは3個の平均値である。氷晶石が30%のときに良好な機械的性質が得られている。氷晶石が少なく(10%以下)および多く(40%以上)になると、プロホールが発生し、溶接部の機械的性質を劣化させる。

5.2 耐 食 性

アルミニウムは化学工業によく用いられ、したがってその耐食性は重要な意義をもっている。

図-9はソ連におけるアルミニウムの溶接部の耐食性試験結果を表わすものである。

試験はバトン研究所で採用している50%硝酸中に2時間浸漬する方法により行ない、図中の数字は、腐食に関する係数A(溶接部と母材の腐食速度の差と母材の腐食速度との比)の平均値を示す。(3回の平均値)。

フラックス組成が氷晶石30%、NaCl 20-40%、残りKClの場合に耐食性が良好である。

この範囲は機械的性質が良好な範囲と一致している。これらの試験により、良好な溶接が得られるNaCl-KCl-氷晶石の組成範囲はかなり広いことが知られるが、

図-9 溶接金属の耐食性係数Aとフラックス組成との関係¹⁾

NaCl 中にはフラックスの吸湿性を高める塩化マグネシウムが不可避免的に含まれているため、フラックス組成中のNaClはなるべく低いことが望ましい。ソ連のAH-A1は上記の条件に合致した、良好な組成のものに相当する。

チェコではアルミニウムのハーフサブマージド・アーク溶接部とアルゴンアーク溶接部とに対し、沸騰硝酸中の腐食試験が行なわれた。溶接部の耐食性は母材のそれに比しやや劣るが、両者の溶接の場合で、ほとんど差がなかった。

5.3 溶接欠陥

アルミニウムの他の溶接方法におけると同様に、溶接部にもっとも多い欠陥はプロホール、割れ、スラグ介在である。このような欠陥は適正な溶接施工法の採用により、減少させることができる。

プロホールの最大の原因は湿気である。フラックスの保管に注意し、使用前の乾燥がもっとも必要である。また溶接する板の間に間隙があると、プロホールが発生しやすい。

フラックス中にSiやFeの酸化物が含まれていると、溶接時Alによって還元され、これがある量に達すると割れが生ずる。

化学分析の結果によるとアルミニウムの溶接金属は一

般に母材や溶接棒よりも若干純度が高く、溶融金属に対するフラックスの清浄化作用があることが示されている。この作用はフラックス原料の純度に関係するもので、チェコの試験では、厚さ 6-20 mm の Al 99.5 の溶接部において、鉄の含有量は 0.15~0.18%，シリコンは 0.17~0.20，亜鉛は 0.02~0.04%，マンガンは 0.02~0.03% であった。

6. 経 済 性

溶接の能率化に自動溶接の採用はもっとも有利であるが、従来のアルゴンアーク溶接に比し、アルミニウムのハーフサブマージド・アーク溶接では、フラックスを使用するため、若干の得失がある。

(1) 利点 (イ) ハーフサブマージド・アーク溶接における、もっとも重要な利点は、母材を予熱する必要がないことである。アルゴンアーク法においてはこの予熱作業のために多大の困難が伴う。たとえば板の変形が大となり、あるいは予熱温度においてアルミの強さが低下するために大きな構造部材では自重によって変形することがあるなどということが起こる。

(ロ) 溶込が深く、溶接層数が少なくすむ。以上に

よって溶接作業が著しく能率化される。

(ハ) アルゴンに比し、フラックスは安価である。

(2) 欠 点

(イ) 欠点としてはまず当板を必要とすることがあげられる。特に円周溶接の場合、困難を伴うことが多い。

(ロ) 余盛が高くなる傾向があり、余盛を削除する必要がある場合に手間が大となる。

(ハ) スラグは耐食性を低下させるので、溶接後入念に除去する必要がある。

以上を比較して、利点は欠点をはるかに上回るということができよう。溶接生産性はアルゴンアーク法の約 8 倍で、コストは約 10~20% 低減することができる。

文献によればチェコでは第 3 次 5 年計画にこの方法を大巾に利用するため、1961 年から、さらにこの方法の開発利用を研究するというのである。

文 献

- 1) デ、エム、ラプキン：“アルミニウムの自動溶接用フラックス” 自動溶接 (ソ連誌), 1961, No. 5, 37~42.
- 2) インドリツヒ、ヴァニヤ：“アルミニウムのサブマージド・アーク溶接” 溶接 (チェコ誌), 1961, No 2, 42~46.

研 究 会 の 動 き [1]

◎特殊溶接研究委員会

37. 2. 22, 23, 24, 場所 下松市日立笠戸工場

▷本委員会 (37. 2. 22)

出席者：杉原副委員長 他 57 名

議事：1) 会則修正の件, 2) 役員改選の件, 3) 37 年度年間計画及び予算の件

▷A 分科会 (37. 2. 22)

出席者：中根主査 他 60 名

講演：1) 「サブマージドアーク溶接による肉盛」
(大変, 木谷聰生)

2) 「サブマージドアーク溶接用フラックスの二三の性能試験」(鉄研, 村本徹五郎)

▷B 分科会 (37. 2. 23)

出席者：杉原主査 他 65 名

講演：1) 「炭酸マス溶接における新しい溶接条件」
(松下電器, 奥 武)

2) 「鉄道車輪の製における炭酸ガスアーク溶接の応用」(日立笠戸, 小林年夫)

3) 「水蒸気溶接」(名大, 益木 功)

▷C 分科会 (37. 2. 23)

出席者：安藤主査 他 57 名

講演：1) 「純銅溶接実験」(浦賀ドック, 守政弘安)

2) 「Al 及びその合金溶接部の諸性質におよぼす含有 H_2 ガスについて」(原研 藤村理人)

3) 「アルキヤン講習会の報告」(住友軽金属 杉山禎彦)

▷D 分科会 (37. 2. 22)

出席者：杉原副委員長 他 62 名

講演：1) 「高圧ガスアークプラズマの性質」(大変 長谷川光雄)

2) 「プラズマジェットとその利用」(阪大 丸尾 大)

3) 「プラズマジェットの装置と切斷」(大電 原谷育夫)

4) 「プラズマジェットの研究」(新明和工業 中村武三)

▷見学会 (37. 2. 24)

参加者：杉原副委員長 外 55 名

見学先：1) 八幡製鉄 KK 光製鉄所

2) 八幡鋼管 KK 光工場

3) 日立製作所笠戸工場