電解コンデンサの放電を利用した 大型点溶接機の試作研究*

大 塚 郁 夫** 初 芝 武 美**

On the Study of a Powerful Spot Welder which is Tentatively Made by Using Electrolytic Condenser to Store and Discharge Energy

By Ikuo Otsuka and Takemi Hatsusiba

Abstract

For the purpose of spot welding of aluminum plate of appreciable thickness, we have made a powerful spot welder using huge electrolytic capacitors (125,000 μ F, 500 volts dc.). This welder being 40 KVA in capacity, a constant charging current system with thyatron control is used to minimize the loss due to charging resistor and to shorten the period of charging large capacitance.

Spot welding is carried out in a cycle per two seconds and welding current continues about 0.1 seconds. About 150 KA are used to get sound welds of 4.0 mm, 2S aluminum sheets.

1. はしがき

アルミニウムおよびその合金の点溶接にはコンデンサ放電による静電蓄勢型の点溶接機を用いるとよい結果が得られる。すなわちアルミニウムのように電気的、熱的伝導性のよい金属を点溶接する場合には瞬間的に大電流を通す必要があり、コンデンサ放電を利用することはこの目的に適合するものである。

理化学研究所において1952年以来開発された電解コンデンサの放電を利用した点溶接機は、電解コンデンサが小型で大容量が得られ、また従来の高圧コンデンサを使ったものに比べ低圧のため取扱が容易で充電装置なども比較的簡単であり、点溶接機として入力容量が小さいなどの経済性や溶接品質の向上、均一化などの信頼度、機械の耐久性などから多く使用されるようになった。

この報告はアルミニウムおよびその合金 3mm 厚以上の厚板を点溶接するため電解コンデンサを使って試作された点溶接機の設計および試作結果についての報告である。

2. 溶接機械および回路の設計

コンデンサ型点溶接機の電気回路は大別して電源部と溶接部とにわけられる。すなわち電源部はコンデンサと

充電回路、溶接部は溶接トランスおよび溶接電流回路と電極とからなる。

電源部の構成

この点溶接機は厚板用としてコンデンサの容量をふやし蓄積エネルギーの増加をはかった。そのため大容量の電解コンデンサを規定の電圧まで充電するのに従来使われている一定電圧の電源による充電方法では充電時間が長くなり充電電流も大きく回路の使用効率も悪いので新たにサイラトロン（熱陰極格子制御放電管）6本による三相全波整流の定電流充電方式によって充電効率をあげ充電時間の短縮をはかった。

すなわち従来の充電方法では電源電圧が一定であるためコンデンサ電圧の上昇にしたがい電源とコンデンサとの電圧差が少くなり、そのため充電電流はしだいに減少する。したがって充電時間は長くなる。また整流管は許容電流で制限された最初の電流値により規定されるので使用率は悪く充電回路の抵抗損失も大きかった。この点溶接機に使った新たな充電方式では充電されたコンデンサ電圧の上昇分だけ電圧がサイラトロンのプレートに加わるようにして電圧差を一定に保ち定電流充電が行われるようにした。

実際の回路は原理図に示すように制御サイラトロン2D 21を使用して充電用サイラトロン6G24または6G21(C6J)のグリッド回路でその点火位相を制御した。すなわち Fig. 1 でサイラトロンは位相角 θ_1 で動作しプレート電圧 e_{p1} で電流が流れる。この電流によってコンデンサは

* 原稿受付，昭和35年3月9日（昭和35年度溶接学会春季學術講演会において発表）

** 正員，理化学研究所 Member, The Institute of Physical and Chemical Research.

E_2 に充電され、次に同一電流を流すには $e_{p2} - E_2 = e_{p1}$ となるように位相の動作点を θ_2 にずらす。このように 2D 21 のグリッドバイアス電圧をコンデンサの充電電圧に比例した値で変化させプレート電圧の位相を進めプレート電圧をコンデンサ電圧の増加分だけおぎない電流の値を一定に保つ。使用した電解コンデンサは 250 μ F 単位の

Fig. 1 Elementary diagram of constant charging current control

もの 500 個で全容量は 125,000 μ F, 使用電圧は 500 V で蓄積エネルギーは 15,625 ジュールである。この電解コンデンサを充電するのに三相両波整流で 6 本のサイラトロンを使用し平均直流電流

溶接部回路

Fig. 2 Voltages and currents in rectifier (single phase)

Fig. 3 Basic circuit of charging voltage and constant charging current control

36 A 程度の定電流充電により点溶接 1 回当りの作業時間はほぼ 2 秒とすることができる。これにより普通なら 200KVA 以上を必要とする入力容量がわずか 40KVA とおさえることができた。電源は三相交流 200V で線電流は充電時 100A, 充電時以外 10A である。

二次側溶接回路は回路損失を少なくするため Sn, Zn 1 % 以下を含む銅鋳物のブロックを使用した。測定による全回路の直流抵抗値は 30 $\mu\Omega$ 以下であった。また上電極加動部は銀面接触により摺動する銅のバーを使用している。

Fig. 5 Welding circuit

Fig. 4 Oscillogram of charging current and voltage across capacitors. (60,000 μ F)

電極部

電極は空気加圧方式でダイヤフラムを用い溶接圧、鍛圧の二段加圧が加わる。加圧力は 300 ~ 3000 kg で溶接時に流れる電流による電磁力に耐えるようピストン部、アームその他の構造を強力なものにした。電極チップは径 30 mm のサイ頭円スリ形のものを使用した。

Photo. 1 Spot welder which is tentatively made in this research

3. 試作結果

コンデンサ型点溶接機では蓄積されたエネルギーを損失少く有効に溶接回路に流し、その溶接能力を向上させることが必要である。そのため溶接回路定数および溶接電流の測定を行い、また厚板試料による点溶接性能試験を行った。

溶接回路定数

table 1 は各種測定方法による溶接二次回路定数の測定値でインダクタンスは $1\mu\text{H}$ 、直流抵抗は $30\mu\Omega$ 以下におさえられている。抵抗値は回路導体の接触面の仕上げの精度によって大きな差が生じるのでその値が最小となるよう留意されている。また抵抗値は測定法の違いによ

って溶接加圧部分の接触抵抗、二次側短絡片の抵抗、一次側等価抵抗が含まれるので測定値に差が生じる。ブリッジ法による測定では測定周波数によって表皮効果による値の違いが大きい。

溶接電流波形 試作した点溶接機によるアルミニウム 3.0mm 厚試料の溶接電流の測定値を尖頭電流値と時間について Fig. 6 に示す。測定はトロイダルコイルと積分回路によって行い、電磁オシロに記録した。溶接条件は

Fig. 6 Peak secondary current, time from zero to peak and duration of secondary current (3.0 mm 2S Aluminum, 125,000 μF , 500 volts)

コンデンサの静電容量 125,000 μF 、電圧 500V として放電を行い溶接トランスの変圧比は 40, 50, 60 ターンで、波形はややオシレーションしている。尖頭電流値は変圧比 40 で 140 kA である。Fig. 7 は静電容量 125,000 μF 、電圧 500V、変圧比 60 の溶接条件でアルミニウム 2S- $\frac{1}{2}$ H, 4 mm 厚板 2 枚を点溶接したときの溶接電流波形および板間電圧のオシログラムを示し、これから求めた抵抗値を示している。

性能試験

溶接能力の試験をアルミニウム 2S の試片（引張強さ 13 kg/mm²）を使って行った。試片の厚さは 3 mm と 4 mm で大きさは 30 × 66 mm² の 2 枚の板を点溶接しその引張セン断強度を 5 個の平均として求め、また切断によってナゲット断面の検査をした。

溶接条件は静電容量 125,000 μF 、変圧比 60 とし、コンデンサ電圧と電極加圧とを変化させ試

Table 1 Resistance and Inductance of Secondary Circuit

Measurement	Frequency (c/s)	Resistance (μ)	Inductance (μH)	
			circuit	Transformer
Wattmeter method	50	75.2	0.72	0.086
Anderson-bridge method	50	72	0.66	0.042
	500	500	0.50	0.028
	2000	1055	0.41	0.024
Secondary current wave shape	—	109	0.93	—
Voltage drop method	d.c.	22.7

Fig. 7 Oscillogram of welding current and voltage across sheets (4.0 mm 2S-Aluminum, $c=125,000\mu\text{F}$, $v=500\text{V}$, $n=60\text{turns}$)

Fig. 8 Relation of static shear strength to capacitor voltage (3.0 mm 2S Aluminum, $125,000\mu\text{F}$, 60 turns)

Fig. 10 Relation of static shear strength to capacitor voltage (4.0 mm 2S. Aluminum, $125,000\mu\text{F}$, 60 turns)

Fig. 9 Relation of percent coefficient of variation to static shear strength (3.0 mm 2S Aluminum)

Fig. 11 Relation of percent coefficient of variation to static shear strength (4.0 mm 2S. Aluminum)

験を行った。加圧は溶接加圧のみの一段で行い電極チップは径16mmφ、120°のC形（サイ頭円スイ形）のチップを使用した。

Fig. 8 以下の図は試験結果を示すもので、Fig. 8, Fig. 9 は 3mm 厚, Fig. 10, Fig. 11 は 4 mm 厚のアルミ試料による引張せん断強度の平均値と各同一条件における強度のばらつきを変動係数としてあらわしたものを示している。これらの結果は試作された点溶接機によるアルミニウム 2S, 4mm 厚試料の点溶接の可能性を示しているが、4 mm 厚の点溶接では電極チップ径は1.6mmでは不足でありとび散りがあるので 20 mm またはそれ以上が適当である。

4. む す び

低圧大容量の電解コンデンサを使いその放電を利用した大型点溶接機の試作を行い、アルミニウム 4mm 厚程度の厚板の点溶接を行うことができた。

電解コンデンサは直流 500V 程度の比較的低压で使われるので厚板の点溶接に必要なエネルギーを得るためには大容量のものを必要とする。しかしコンデンサの静電容量が大きくなるに従い充電装置の入力容量も大きくなり充電時間も長くなるので、点溶接の作業能率を下げないでコンデンサの充電を行うために定電流充電方法を

考案して入力容量を大きくせず大容量電解コンデンサの短時間充電を行いまた回路損失も少くすることができた。

この点溶接機の試作によって最大尖頭電流値 150KA 程度の溶接電流を得ることができ、車輻、建造物などに使われるアルミニウム厚板の点溶接ができるようになり、またスタッド溶接やプロジェクション、シリーズスポット溶接などによって特殊なものの溶接にも試作された点溶接機が使われることがわかった。

終りに本研究に対し終始御指導いただいた本研究所主任研究員宮田聰博士に厚く感謝いたします。

研 究 会 の 動 き

12 月

特殊溶接研究委員会 A 分科会 (第 1 回)

昭和 35 年 12 月 8 日 (木) 本郷学生会館において開催され、福田委員長以下 38 名が参加した。

当日の講演および議事は次の通りである。

1) 講 演

- a. 「サブマージドアーク溶接における溶着金属の割れについて」

石川島播磨重工業 KK 前田 豊生君

- b. 「自動溶接部の割れ感受性におよぼす溶接条件の影響」(I.I.W.-XII 資料の紹介)

鉄 研 村本徹五郎君

- c. 「鋼板のサルファバンドと溶接割れについて」

汽車製造 KK 大阪 潮田 茂男君

- d. 「最近のサブマージドアーク溶接法」

大阪変圧器 KK 木原 聰生君

- e. "A Proposal Concerning the Automatic Submerged Welding Procedures for Ship's Hull". および

「単層自動溶接施工に対する一考案とその実用化」

川崎重工業 KK 岡西 達也君

- f. 「ASTM : A302-Cr. B の潜弧溶接について」

新三菱重工業 KK 神戸 高木 乙磨君

2) 議 事

- a. I.I.W.-XII Circular letter について鉄研村本幹事より紹介がありその主内容であるサブマージドアーク溶接用フラックスの共同試験に日本が参加するか否か討議され、その結果時期尚早であるとして参加しないことに決定した。

- b. I.I.W., J.I.W. の関係について検討され、J.I.W. 12 委員会の活動方針がまだ明確になっていない現状であるので、中根 A 分科会主査が I.I.W.-XII Sub Comm. A の連絡者となり、I.I.W. へもその旨通知することになった。

溶接冶金研究委員会

日 時 昭和 35 年 12 月 17 日 10.00~16.30

場 所 石川島播磨重工業 KK 豊洲ビル会議室

出席者 関口委員長以下 31 名

講 演

- 1) 「鋼の溶接における水素についての諸問題」

鉄 研 安藤 精一君

- 2) 「被覆溶接棒の脱酸反応」

神戸製鋼所 榊 鳳千代君

- 3) 特別講演

「耐熱材料の溶接の問題点」

石川島播磨重工業 KK 中村 素君

- 4) 「アルミニウムの溶接における水素」

原 研 藤村 理人君

- 5) 「ジルコニウムおよびその合金の溶接雰囲気溶接結果に及ぼす影響について」

材技研 松田 福久君

今回のテーマは「高温性能」とし計画立案は担当幹事に依頼することになった。

J.I.W.-IX 委員会

日 時 昭和 36 年 12 月 7 日 10.00~15.00

場 所 東大船舶工学科学学生図書室

出席者 吉識委員長以下 18 名

議 事

I.I.W. 1961 年度大会第 9 委員会への出席者および提出論文について検討し次の通り決定した。

1. 出席者 (略)

2. 提出論文

- 1) 「高温予歪が鋼の残留延性におよぼす影響」

寺沢一雄, 大谷碧, 吉田俊雄, 寺井清

- 2) 「高温予歪が鋼の切欠脆性におよぼす影響」

大阪大学工学部, 川崎重工業 KK

- 3) 「厚板調質 HT-80 高張力鋼 (K-0 鋼) の工作性に關する研究」

川崎重工業 KK

- 4) 「再現熱影響部延性試験による高張力鋼の溶接性の評価」

鈴木春義, 田村博

- 5) 「高張力鋼の溶接割れ試験について」

木原博, 鈴木春義, 中村治方

その他、参考資料として "Researches on Brittle Fracture Mechanism" by T. Kanazawa を Mr. Lagasse 宛送付することになった。

なお、1960 年度 I.I.W.-IX 委員会で審議された "Co-operative Study of Brittle Fracture in Service" は、関係学協会に紹介し協力を求めることになった。

J.I.W.-IX. 「溶接割れ試験」特別小委員会

日 時 昭和 35 年 12 月 9 日 場 所 造船協会々議室

I.I.W. Doc. IX-273-60 "Study of Weldability Test-Information to be gathered on cracking tests" に対する日本側の回答を作成した。