二段波形による静電蓄勢式点熔接

浮 田 勇*, 橋 本 達 哉**

Electrostatic Stored Energy Type Spot Welding Performed with Welding Current of an Improved Wave Form.

By Isamu Ukita, Tatsuya Hashimoto.

Abstract

In order to reduce the defects of the usual electrostatic stored energy type spot welding, we rearranged the welding apparatus so as to be able to control the welding current wave forms, and made experiments on the welding of the light metal alloys.

In this paper are reported the actions of this controlling apparatus and the results obtained in the welding experiment.

(1) 緒 言

静電蓄勢式点熔接は、熔接に必要なエネルギーを比較的徐々に蓄電器に蓄え、熔接時にこれを瞬間的に熔接変圧器を通じて放出し、その際に得られる大電流をもつて熔接を行うものである。しかし直流電源としては三相交流を整流すればよいのであるから、不均衡負荷の問題は解消し、また充電が比較的徐々に行われかつ交流側の力率が良いので、交流式点熔接の場合に比して電源設備は小さくて済み、なお取扱操作も簡単である等少なからぬ利点を有しているのである。しかしこの方式を用いて軽合金の点熔接を行う場合、被熔接材の熔接部に龜裂を生じ易く、また熔接部の剪断強度に少なからぬ不揃があるという欠点を有している。筆者らはこれ等の欠点を軽減しようという目的をもつて、熔接電流の従来的一段波形を二段波形に改め、軽合金試材について若干の熔接実験を実施したものである。

(2) 点熔接における前駆電流

熔接結果に影響を及ぼす因子は、被熔接金属板の材質及びその厚さ、熔接電流値あるいは電極加圧力等極めて多く、しかもそれらが互に複雑に関係しながら熔接結果に影響を及ぼすのであるが、点熔接が最初被熔接板間の接触抵抗によつて発生する熱量を利用する以上、この板間接触抵抗が重大な影響を與えることは当然である。しかし接触抵抗は接触表面の状態によつて左右されこれが熔接強度の不揃に相当大きな原因となることが推量される。従つて接触抵抗を可及的に常に一樣な値にすることができ

ば強度の不揃を軽減できると思われ、このための一の方法として主熔接電流の流れる前に適当な大きさの前駆電流を予備的に流すことが考えられる。すなわち板間接触抵抗が大きい時は、前駆電流による発熱が接触抵抗の小さい時より大きく、従つて抵抗減少の程度が大となり、接触抵抗の小さい時はこれと逆になるから、接触抵抗の不揃は少くなるわけである。

またこの前駆電流は單に接触抵抗の不揃を少くするばかりでなく、冶金学的にも多少予熱の効果を與えようと考えられる。

既に交流式点熔接においては、包絡線が梯形になるように変調したいわゆる「ビルドアップ」波形の熔接電流で熔接すると、通常の交流波形の場合に比して熔接部の龜裂発生が少く、また剪断強度の不揃も減少しかつ熔接部の金属組織も良好になるとされている。

本実験は交流式の場合の「ビルドアップ」波形と同様な効果を狙つて、静電蓄勢式の場合にも前駆電流を流し、その熔接結果に及ぼす効果を考察したものである。

第1図は二段波形を得る回路の原理を示す。

蓄勢蓄電器を大(C_2)小(C_1)二群に分割する。

スイッチ S を左に倒すと、 $C_1 C_2$ はともに定められた電圧まで充電され、 S を右に倒すと、まず C_1

第 1 図

*, ** 正員, 京都大学工学研究所

のみが熔接変圧器 T を通じて放電し、前駆電流を流すが、 C_2 はイグニトロン I で放電が阻止されている。しかし C_1 が放電すると、抵抗 R に電圧降下を生じ、これが制御装置に作用して、 I を放電可能にし、 C_2 が T を通して放電して、主熔接電流を流す。

第 2 図は実験に使用した実際の回路を示す。一段波形の場合は C_1 と C_2 とを並列に接続し、全容量を公称 $1900\mu\text{F}$ とした。しかしてこの場合の回路は第 2 図の回路を少し変更して容易に得られるのであるが、その説明は省略する。

第 2 図

さて第 2 図の回路について簡単に説明しよう。

C_1 としては公称 $100\mu\text{F}$ の蓄電器を 3 箇並列にして用い、 C_2 には同種の蓄電器 16 箇を並列に使用した。直流電源としては高圧交流を水銀整流器 M で整流した。充電電圧は変圧器 T_1 の二次側タップで調節する。図では単相交流を整流しているが、実用にはもちろん 3 相交流を整流すべきである。 C_1 が放電して抵抗 R_4 に電圧降下が生じると、これがサイラトロン TH_1 ($T \times 931$) の格子バイアスを打ち消して TH_1 が放電し抵抗 R_5 に電圧降下が生じる。これによつて抵抗 R_6 と蓄電器 C_3 との組合せで定まる一定の時間の後 C_3 の端子電圧が一定の大きさに達すると、サイラトロン TH_2 ($T \times 920$) の格子バイアスが打ち消されて TH_2 が放電可能となり、蓄電器 C_4 に予め蓄えられていた電荷が、イグニトロン I の点弧子を通して放電し、これによつて I が放電可能の状態となり、 C_2 が熔接変圧器 T_2 を通じて放電し主熔接電流が流れる。

第 3 図 (B) はこの回路によつて得た二段波形のオツシログラムで同図 (A) は通常の一段波形のそれである。ともに充電電圧 3200V の場合である。

第 3 図 (B) の前駆電流の流通時間 t_1 は TH_2 の

第 3 図 (A)

第 3 図 (B)

格子バイアスが一定とすれば R_6 と C_3 との積で定まり、 R_6 を調節することによつて加減され、また前駆電流の最大値 I_{1m} は抵抗 R_3 によつて加減される。

前駆電流の効果は I_{1m} の大小によつて変化することもちろんであるが、 I_{1m} が同一でも t_1 の大小によつて左右される。これは熔接部が多少の熱容量を有し、従つてこれを加熱するのに若干のエネルギーを必要とすることから明らかである。

第 3 図において逆方向の電流波形すなわち (A) の F_a と (B) の F_b 部分の波形が少し異っているが、これは次の理由による。二段波形の場合には、 C_2 はイグニトロン I を通して放電するのであるから主回路のインダクタンス L と C_2 とによつて電流が振動を起そうとする場合でも、逆方向の電流は流れず、従つて第 3 図 (B) の逆方向の電流は C_1 のみによるものであつて、しかも比較的大きな抵抗 R_3 を通して放電するので非振動となるからである。従つてこの時同図 (A) の F_a の部分と (B) の F_b の部分の差に相当するエネルギーが、最初とは逆極性となつて C_2 に充電されたまま残るわけである。

第 2 図の回路から容易に気付き得ることは、 C_1 が放電して t_1 時間の後では多少 C_1 の端子電圧が降下するから、 C_2 が放電する時 T_2 を通しての外 R_3 と R_4 を通して C_2 と同電位になるまで、瞬間

的に C_1 を充電することである。これについては R_3 がこの充電電流を制限する役目をもなして、前駆電流あるいは時間 t_1 があまり大きくない限り、これに費されるエネルギーは極めて少く問題とするにたらない。

抵抗 R_1 と R_2 とは充電電流を制限するためのものである。

次に一段式の場合と二段式の場合のそれぞれの充電電圧における電流最大値 I_{1m} と I_{2m} とを比較すると第4図のごとくである。すべての電流値は電極

→ 電 圧、
第 4 図

間に試片を挿入した状態で、抵抗 R_7 にかかる電圧降下の電磁オシログラムから測定した。

第4図で I_{2m} が I_{1m} の約93%となつてゐるが、これは前者の場合の主電流放電用の蓄電器 C_2 が後者の場合のそれ ($C_1 + C_2$) より小さいため主熔接エネルギー (Eb に相当するもの) が減少したことに基く。

(3) 熔接実験

第3図に示したような二種の波形の熔接電流で軽合金の熔接を行い、それぞれの波形が熔接結果に及ぼす効果、主として剪断強度、強度の不揃及び熔接部龜裂に対する影響を考察した。

熔接条件は次のごとくである。

試材：S. D. H. 1.0mm, S. D. C. H. 1.0mm,
S. D. C. H. 0.8mm

表面処理法：10%の弗酸水溶液に1分間浸漬した後水洗乾燥

電極材質：硬銅

電極先端形状：上部電極は半径 35mm の球面
下部電極は平面

板間接触抵抗は電極加圧力によつて、少からぬ影響を受けることが推察されるので、これを観るために、300kg, 250kg, 200kg の三様の加圧力で実験を行つた。また前駆電流としては、予備的熔接実験で、それ以上の電流値では、前駆電流のみで熔接が行われるような値を上限とし、接触抵抗に幾分でも影響を興えると思われるような値を下限とする範囲内に I_{2m} を選定した。

実験は同一条件で6対の試片について、各対一点の熔接を行い、熔接後直ちに拡大鏡で熔接部表面を検査し、龜裂の有無或はその程度を調べ、熔接後6時間以内にアムスラー試験機で剪断試験を行い剪断強度を測定した。しかして剪断強度の不揃率は次式で算出した。

$$\text{不揃率} = \frac{\text{強半平均} - \text{弱半平均}}{2 \times \text{全平均}} \times 100\%$$

得られた代表的な実験結果を第1表、2表及び第3表に示す。第1表は S. D. H. 1.0mm について充電電圧を 3440V とし、大中小の三様の前駆電

第 1 表
S. S. H. 1.0mm, 充電電圧 3440V

項目 記号		電流 波形	電極 加圧力 kg	電流値 kA		平均 剪断強度 kg	強度 不崩率 %	亀裂 発生率
				I_{1m}	I_{0m} 又 は I_{2m}			
A	a	1 段	300		42.1	278.3	10.4	5/6
	b	〃	250		〃	339.5	11.5	6/6
	c	〃	200		〃	317.3	3.8	6/6
B	a	2 段	300	7.2	38.6	271.7	6.7	6/6
	b	〃	250	〃	〃	245.7	7.6	6/6
	c	〃	200	〃	〃	299.0	1.9	6/6
C	a	〃	300	9.3	38.6	213.3	7.7	2/6
	b	〃	250	〃	〃	253.5	1.4	2/6
	c	〃	200	〃	〃	245.8	13.9	6/6
D	a	〃	300	11.7	38.6	209.5	22.0	3/6
	b	〃	250	〃	〃	226.7	14.0	5/6
	c	〃	200	〃	〃	264.3	7.1	4/6

第 2 表
S. D. C. H. 1.0mm

充電 電圧	項 目 記 号	電 流 波 形	電 極 加圧内 kg	電 流 値 kA		平 均 剪断強度	強 度 不揃率 %	亀 裂 発生率
				I_{1m}	I_{0m} 又 は I_{2m}			
3200V	A	a	1 段	300	37.8	210.5	5.6	6/6
		b	〃	250	〃	248.2	16.5	5/6
		c	〃	200	〃	284.0	11.7	6/6
	B	a	2 段	300	10.4	201.5	27.2	0/6
		b	〃	250	〃	230.3	11.3	3/6
		c	〃	200	〃	232.7	11.2	6/6
3440V	A	a	1 段	300	42.1	300.8	16.0	6/6
		b	〃	250	〃	326.5	12.7	6/6
		c	〃	200	〃	293.0	8.5	6/6
	B	a	2 段	300	10.4	228.5	9.4	3/6
		b	〃	250	〃	265.3	9.9	6/6
		c	〃	200	〃	280.0	5.4	6/6

第 3 表
S. D. C. H. 0.8mm, 充電電圧 3200V

項 目 記 号	電 流 波 形	電 極 加圧力 kg	電 流 値 kA		平 均 剪断強度 kg	強 度 不揃率 %	亀 裂 発生率
			I_{1m}	I_{0m} 又 は I_{2m}			
A	a	1 段	300	37.8	282.3	12.8	1/6
	b	〃	250	〃	248.5	10.5	4/6
	c	〃	200	〃	302.8	8.6	6/6
B	a	2 段	300	7.8	203.5	5.3	0/6
	b	〃	250	〃	229.7	5.5	0/6
	c	〃	200	〃	249.7	8.1	6/6
C	a	〃	300	8.7	230.5	4.3	0/6
	b	〃	250	〃	220.7	6.8	2/6
	c	〃	200	〃	259.0	5.8	4/6
D	a	〃	300	9.5	222.5	7.1	0/6
	b	〃	250	〃	237.3	6.0	0/6
	c	〃	200	〃	266.3	4.1	3/6

流で実験を行い、第2表は S. D. C. H. 1.0mm について、前駆電流を 10.4kA として、3440V と 3200V の二様の充電電圧で実験を行い、そして第3表は S. D. C. H. 0.8mm について、第1表の場合と同様な実験を行ったものである。

なお各表の亀裂発生率の項で例えば 3/6 とあるのは 6 枚の試片の中 3 枚に亀裂を生じたことを示す。

(4) 実験結果に対する考察

a. 剪断強度に対する効果

同じ充電電圧、同じ電極加圧力では、二段式の方

が一段式に比べて明らかに剪断強度が小さい。これは二段式の場合に蓄電器容量を分割したため I_{2m} が I_{0m} より小さく、主熔接エネルギーが一段式に比して少くなつたことももちろん影響しているであろうが、第1表の前駆電流の大きい C, D が、それより小さい B に比して一層強度が小さくなつていことから明らかに前駆電流によつて接触抵抗が小さくなり、そのため発生熱量が一層減少することが大きく作用していることが解る。弊研究室の設備としては、この実験で行つた程度が最大限であるが、さらに C_0 の容量を増すか充電電圧を増すかして、主熔接エネルギーを増大することができれば強度もさらに増加し得るであろう。

第3表では前駆電流が増す程強度が増加するような結果が見られるが、これは実験に際して表面処理における腐蝕程度及び処理後の乾燥状態等に多少の相違があつて、たまたま前駆電流の大きな場合の試片の接触抵抗が大きかつたものと思われる。

実験の範囲内では、電極加圧力を減するほど、一段式では必ずしもそうでないが、二段式で

は概して強度を増している。これはもちろん接触抵抗の増加に基く発生熱量増大のためである。従つて二段式の場合には一段式の時より少し加圧力を小さくした方がよいことになる。

b. 強度の不揃に対する効果

強度の不揃は概して二段式の方が一段式より少い。しかし第1表の C の c 及び D の a, b あるいは第2表充電電圧 3200V の B の a のごとく二段式の方が却つて大きい場合がある。これらの場合には 6 枚の中特に強度の弱いものが 1 乃至 2 枚生じ

た。この原因としては第一に不揃は強度の小さくなるにつれて増大するという一般の傾向と等しく、発生熱量が充分でないことと、第二に何らかの原因によつて接触抵抗の特に大きなものがあつて、前駆電流のみで既に熔接されてしまい、主熔接エネルギーがあまり効果的に作用しないことが考えられる。第1表のCのcは例外として同じ表のDのa, b及び第2表のBのaのごとく同じ前駆電流でも加圧力の大きい場合すなわち接触抵抗の少ない場合に起り易いことを思うと、あまり前駆電流の大きくない限り第一の理由が主であると考えてよからう。従つて前駆電流の大きくなるほど不揃も多くなり易いから、この時は主熔接エネルギーを大にしなければならない。

第3表は板厚0.8mmの場合であるが、この時は明らかに二段式の方が一段式より不揃が少い。板厚が小さく、熱容量の小さい関係上この場合の熔接エネルギーが厚い場合より少くてよいわけであつて、これから観てもある程度以上の主熔接エネルギーをもつてすれば二段式の方が一段式より強度の不揃が少くなることが解る。

加圧力の効果を観ると加圧力の小さくなる程強度が大きくなり不揃が少くなっているから前項で述べたと同様に二段式では一段式より加圧力を小さくした方がよいことになる。

c. 熔接部亀裂に対する効果

同じ充電電圧、同じ電極加圧力では、二段式の方が、しかも前駆電流の大きいほど、明らかに亀裂発生が少く、また亀裂が生じた場合でもその程度が軽微であつた。その主な原因は、二段式が一段式に比して主熔接エネルギーが少くなっていること及び前駆電流によつて板間接触抵抗が低くなることによつて、発生熱量が少なくなることとあり、従つてまた強度も小さくなっている。固よりこれは当然のことであつて、少くとも一段式と同じ程度の強度が得られて、しかも亀裂が少いというのでなければ効果があるとは云えない。今強度がほとんど同じ程度である第2表の充電電圧3200VのA(一段式)と3440VのB(二段式)とを亀裂について比較すると、数の

上では必ずしも二段式の方が少いとはいえないが、その程度は二段式の方が少し軽微であつた。

熔接部に亀裂が生じるのは、局部の急熱急冷に基づく熱的不均衡による。前駆電流を流すことはこの不均衡を多少緩和することになると考えられるから幾分好影響を與え、しかも前駆電流の大きいほどよいことになる。しかしこの前駆電流の大きさが強度及び強度不揃の点で制限されることは前に述べた通りである。また電極加圧力が大きいほど明らかに亀裂発生が少くなっている。これは固より冶金学的な効果もあろうが、接触抵抗が減少しそのため発生熱量が少くなることに主な原因があると思われる。

かく熔接部の亀裂を軽減するためには電極加圧力が大きいほどよいことになる。

しかし加圧力が大きくなるほど電極の変形はなほだしくなるからa, b二項で述べたことと併せて電極加圧力は散り、亀裂のはなほだしくならない範囲で小さくした方がよいといひ得る。

(5) 結 言

以上述べた事を要約すると大体次のようになる。

1. 二段波形で充分な強度を得るためにはエネルギーを充分増大しなければならない。
2. エネルギーが充分大であれば二段波形の方が強度の不揃も少くなる。
3. 熔接部亀裂は二段波形の方が少いか又はその程度が軽微である。
4. 電極加圧力は二段波形の時には少し低くした方がよい。
5. 前駆電流値は、接触抵抗に変化を與える範囲内で低い方がよい。

なお前駆電流の大きさ及びその流通時間は板材質、板厚、表面処理法及び電極加圧力等の條件によつて適当に選定しなければならないが、これについては前駆電流流通期間中の板間接触抵抗の変化を観察する等さらに詳細な研究を必要とする。

最後にこの実験の遂行に當つて終始懇切な御指導を賜つた岡本尠先生並びに林千博先生に厚く御礼申上げる次第である。