

単相直流方式のシーム溶接機について

古川 一敏

1999年3月

愛知産業株式会社

単相直流方式のシーム溶接機について

古川 一敏*

1 はじめに

シーム溶接については、気密溶接を行う場合において唯一、水冷しながら溶接が行える溶接で、そのためワークが熱影響を受けることがないためひずみがなく、高品質な溶接結果が得られる溶接法である。

当社では、単相直流方式のシーム溶接機について、数年来実験および実績を積重ねてきた結果、シーム溶接機においてアルミニウムおよびステンレスの厚物、長尺物には顕著な実績を持つことが確認され、実証を得ることができたのでここで報告する。

なお、最近のインバータの抵抗溶接電源においても溶接トランスは当社が開発した単相直流式を使用するようになってきている。

従来の一般的な交流抵抗溶接機は非常に効率が悪く、実際に溶接するために消費される電力は入力電力の20～40%程度であり、入力電圧に比べて電力の損失が想像以上に大きい。これは導体のほとんどが電気抵抗およびインダクタンスを持っているために、これらが交流電流すなわち溶接電流を流しにくくするため電力を無駄に失う結果となるのである。

これらの影響は交流電流であるからであって、これを避ける対策としては直流電流によって導体の固有抵抗のみについて考慮すればよく、この純抵抗については導体の断面積を充分大きくすることによって解決される。

この考えに基づいて各社で直流式抵抗溶接機が開発され実用化されており、近年の省エネルギー化のため従来の交流式から効率の良い直流式に転換されようとしている。

従来の一般的な直流式抵抗溶接機と言えば、三相整流式抵抗溶接機がその主流であった。一般的に三相整流式にすれば入力KVA低減し、高力率で、また、三相平衡負

荷となるのみならず、溶接電流波形の立上りが緩やかであるので大容量の抵抗溶接機としては他に迫従を許さないが、しかし単相交流式と比較すると構造が複雑になり整流装置が大型となり、また、高価であるため大容量の装置にしかメリットがないものとされ、とくに単相整流式抵抗溶接機は省電力にはならず、むしろ単相交流式と同じか、または少し大きいと言うのが従来の考え方であった。

単相整流式トランスは、これらの技術的な諸問題を解決した理想的な単相整流電源装置である。

2 電源と電力供給

通常、抵抗溶接機と言うと商用周波数（関東地区50Hz、関西地区60Hz）の単相交流式が大勢を占めている。

抵抗溶接機は板金加工においては多量生産性と性能向上の加工方法として不可欠の設備となっているが、電力利用設備として考えてみると、単相交流式抵抗溶接機によって上記の特性を満足するためには溶接機の最大入力容量が大きくなり、小型のもので10KVA、大型のものになると数百KVAとなり、また、一般的に単相交流電源を使用するものがほとんどで、単相交流電源を得るために三相交流電源からその中の一相を分岐して単相交流電源を得ているため、三相電源回路の相電流が不平衡となるため三相電源の相バランスを悪化させる結果となる。

また、単相交流式抵抗溶接機は力率が悪く、瞬間大容量の負荷となるなど電力供給の上種々の問題がある。とくに昨今の省資源の上に立って考えてみると、単相交流式抵抗溶接機は非常に不合理な設備といっても過言ではない。

なぜならば、単相交流式抵抗溶接機は実際、溶接するために発熱源として消費される電力は入力電力の40%前後であり、60%以上の電力は溶接点までの二次側導体の持つインピーダンスによって消費され、無効電力となっ

*フルカワ カズトシ/愛知産業株式会社

て二次側導体中で発熱し消滅してしまう。インピーダンスとは、交流回路における電気抵抗を総称する言葉であるが、電気回路をなしているものの中に下記の要素が挙げられる。

- (1) インダクタンス L (H=ヘンリー) $\times 10^{-6} \mu\text{H}$
- (2) 周波数 f (f) サイクル
- (3) 二次回路の抵抗 r (Ω) $\times 10^{-6} \mu\Omega$
- (4) 被溶接物の抵抗 R (Ω) $\times 10^{-6} \mu\Omega$

上記の四つの要素はそれぞれ、交流電流および直流電流の流れに影響を与えるが、被溶接物の抵抗をのぞけばその影響の与えるメカニズムは直流電流と交流電流とはまったく異なっている。

一般に交流式抵抗溶接機の二次側は純抵抗分に比較して、リアクタンス分が非常に大きく、 $2\pi fL$ として表される。 2π は交流電流の角速度、 f は電源の周波数、 L は二次側のもつ自己インダクタンスをあらわすもので、交流電流に対する抵抗の度合いを表現するものであって、このリアクタンスの大きさは電源の周波数とインダクタンスに比例して大きくなるのがわかる。インピーダンスは二次回路の純抵抗(R)とリアクタンス($2\pi fL$)との相乗積に比例するので次式で表すことができる。

$$\text{インピーダンス}(Z) = \sqrt{(R)^2 + (2\pi fL)^2} \dots\dots\dots (1)$$

次に交流抵抗溶接機を行う場合に要する電力について、溶接機の二次側の交流電流に対する抵抗を考察するとインピーダンス Z は上記のように単純なものではなく次のように複雑になる。

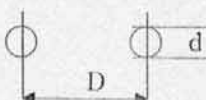
$$\text{インピーダンス}(Z) = \sqrt{(R+r)^2 + (2\pi fL)^2}$$

上式の中の R は二次側導体の純抵抗であり、 r は電極間に挟まれた被溶接物の抵抗を表す。今、インピーダンス Z の回路に溶接電流 I を流すためには、 E なる出力を必要とすることになり、このことを数式で表せば次式で与えられる。

$$E = I \cdot Z \dots\dots\dots (2)$$

また、二次回路のインピーダンス Z は構造的に考察すると平衡二線式の線路として解析することができる溶接機の二次側導体上下の等価断面幅をそれぞれ d とし、上下アームの間隔を D とすれば、溶接機内変圧器の出力端子より見たインピーダンスは、

$$Z_0 = 120 \cosh^{-1} \dots\dots\dots (3)$$



$$D \gg d \text{ のとき } Z_0 = 276 \log_{10} \frac{2D}{d} \dots\dots\dots (4)$$

上記(4)によってわかるように、二次回路のインピーダンスは二次回路の寸法に関係している値であるが、抵抗溶接機では一般に抵抗分($r+R$)がリアクタンス分 $2\pi fL$

は周波数 f とインダクタンス L との相乗積に比例する値であるから周波数が高ければ、ある電流を流すためにはそれだけ大きな電圧を、したがって大きな容量を必要とするわけであり、60Hz電源とする関西の方が50Hz電源とする関東より不利である。

また、前述したように低周波式の抵抗溶接機の考えられる所似である。溶接電流 I を流した時の瞬時入力 P とすると

$$P = E \cdot I = I^2 Z, Z \text{ となる}$$

インダクタンス L は二次回路の寸法に関連しているが、実際の溶接機ではその回路の形状も複雑で、これらの数式から簡単に求めることは困難であり実験的に測定され、また、経験的に推定されるにすぎない。

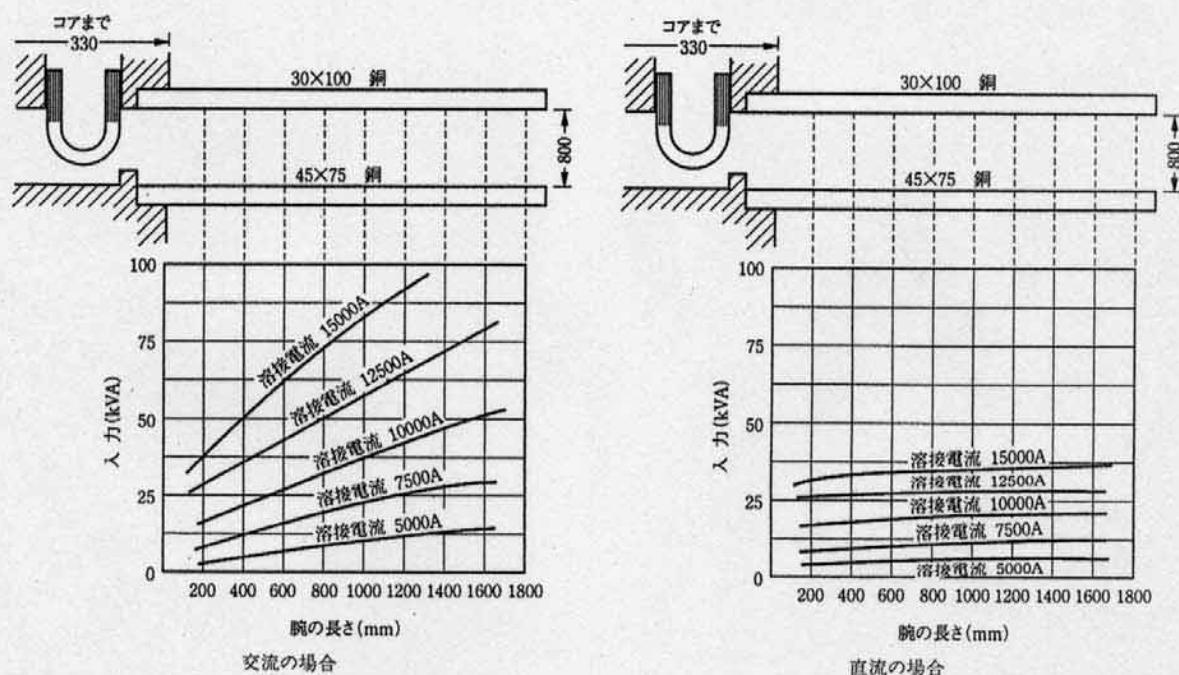
二次回路をなす、腕の長さが長ければインダクタンスは大であり、間隔が広ければこれも大である。また(2)式に示すように、被溶接物の抵抗によってある程度(軽合金等はほとんど無視しうるが、鋼板では5~15%に及ぶ)影響されるほか、鋼板のように強磁性体の材料を溶接する場合や治具としての鋼材がある場合などは、それらが二次回路内またはこれに接近して存在する割合によって電磁誘導作用により二次回路のインピーダンスが高くなり、同一溶接機ならば溶接電流は減少する。

鉄鋼の磁性は飽和特性を示すので一定の鋼板が同じ量だけ腕内へ侵入された場合でも常に同じ大きさだけインピーダンスが増すとは限らず、溶接機の二次電圧の大きさによってその影響の一方は異なる。すなわち二次電圧の大なる溶接機では、溶接電流の減少の割合は小さく、小さい溶接機では激減するのである。図1(次ページ)に示すデータからもある程度この傾向は推察することができる。これらの影響は、すべて交流電流の無効電力とし消費される。

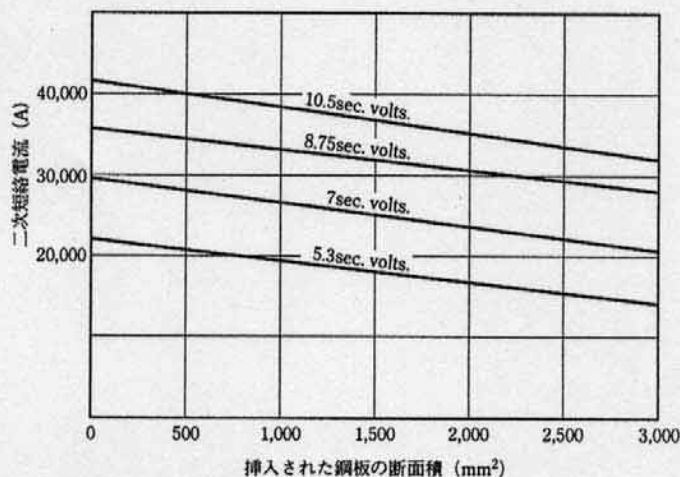
無効電力を低減するには今まで説明した通り、 $2\pi fL$ の項に影響を及ぼす電源周波数を小さくするか、またはインダクタンスの影響を受けない直流電流で溶接をする方法の二つの方法が考えられる。

第一の周波数を小さくする方法として開発されたのが三相低周波方式であり、これはシアキー社の創始によるもので、三相電流を間引き通電して電源周波数を6分の1に低減して、10Hzの単相交流電流に交換すれば、前に説明したインピーダンスにより無効電力は5分の1から6分の1に減少させることが、装置や制御回路が複雑となり価格が高価であるため、とくに大型の設備でないと応用されていないのが現状となっている。

第二の直流電流によって溶接を行う方法であるが、この方式も第一の周波数を小さくする方法と同じように大



点溶接機の2次回路寸法と入力KVAとの関係



溶接機350KVAの二次腕懐に鋼板を挿入した場合

図1 磁性体の存在による電流の減少

型の設備でないと応用されていないのが現状で、これは第一項で述べた通りであるが、現在サイリスタならびにシリコン整流素子の大電流で、しかも内部電圧降下の非常に小さいものが開発され、三相低周波方式に比較して通電時間に対する問題もないため、三相整流方式として発達したが、装置が大型となることや価格の点で昨今も一般的でなく大型の設備に應用されているに過ぎない。

単相整流方式とすれば小型で、しかも経済的な直流抵抗溶接機となることは考えられていたが、大容量の整流

器が入手できなかったことと単相交流の全波整流電流は完全な直流電流ではなく48%の交流分を含んでいるためにその分だけ $2\pi L$ の影響を受け、さほど省電力とはならないものと考えられた。また現在、半導体工学の発達とともに素子の内部電圧降下を1ボルト前後に押さえることができるようになり、単相整流式抵抗溶接機に対する省電力化とするためには、この方式のみで従来の整流方式のものでは、むしろ単相交流方式のものに比較して少し入力容量が大きくなるのは当然のことといえよう。

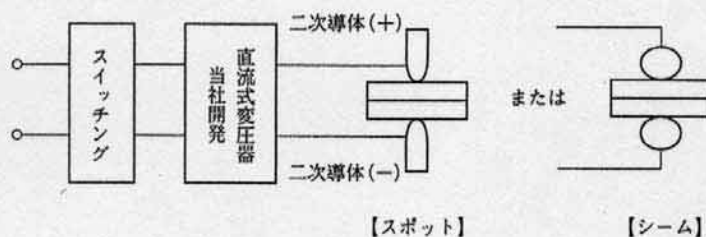


図2 従来方式の概略図

3 単相交流入力の変圧器

従来の整流式直流抵抗溶接機は1～2項ですでに説明した通り、三相整流式がこの主流をなしていたのだが、今後は単相整流式の抵抗溶接機が経済性の点からその主流をなすものと考えらる。応用機器を使用されるに当たり、とくに必要なことについて説明する。

(1) 本方式と従来の方式との比較

従来の方式はスイッチング回路（サイリスタまたはGTOなど）により、通電時間を制御し、変圧器一次側に交流電流を通電し、その二次側を250～300アンペア級の整流素子を1アーム当たり10～30個並列に接続し、一装置に60～180個整流素子を使用することになり、整流素子の取付スペースも相当の容積を必要とし、そのために製造価格も高価となる一方、装置が大型となり設備面積も3㎡くらいを必要とした（図2）。

従来から上記の問題点を解決するため各社競って研究開発が行われていた。本方式では一番容積を大きくとる整流器群を特殊設計された大容量の整流素子を4～6個使用し、特殊構造として小型かつ軽量化し、変圧器二次側から整流器群に到る導体によって生じるリアクタンスによる電力の損失を最小限に減らすために、変圧器の二

次側コイルと整流素子を装着するための冷却フィンを一体的な構造とし、そのため単相整流方式でも省電力を可能にした直流出力の変圧器であり、本変圧器では単相全波整流であるが、3台使用すれば三相六相半波の整流方式となり、また大型の装置としては六台使用し、各々3台1組として、図3(C)の接続図のように1組をスター結線とし他の1組をデルタ結線とすれば、各々三相六相半波整流回路を形成する出力形は互いに30度の位相差があるので、十二相半波の整流回路とすることができる。

本変圧器1台・3台・6台の組合せの接続回路図と各々の組合せの時に、どれだけ出力容量が出せるかを図4（以下ページ）に示す。

(2) 本変圧器の二次コイルの一部に大容量で小型の平型シリコン整流素子のシリコンベレットが、図2に示すように技術的に最小限度に大気中の影響を受けないようにしたものをはめ込むとともに、二次コイルの熱抵抗を極限まで小さくして、小型でかつ大容量の出力電流がとりだせることを特徴とする直流出力変圧器である。本装置の構造を説明すると、図5のように変圧器は①鉄心・②二次コイルからなる単相センタータップ式全波整流の直流出力変圧器であり、二次コイルは1ターンごとに2つに区分され1つのコイルの巻き終わりと、もう1つの

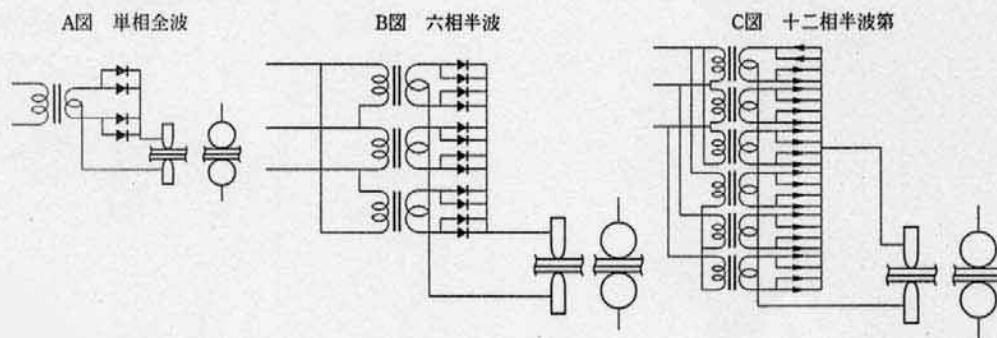


図3 各種整流方式

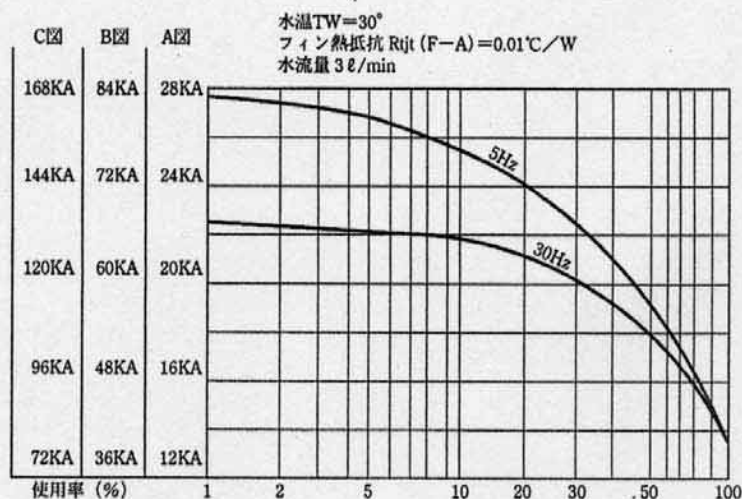


図4 各種整流方式に対する使用率曲線図

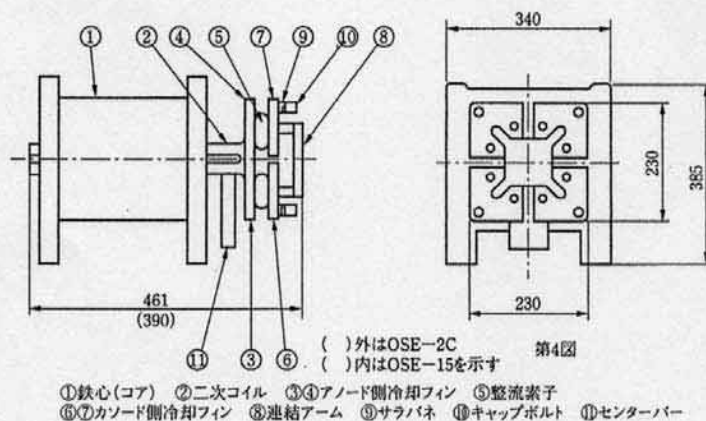


図5 変圧器概略図

コイルの巻き始めは⑪センターバーに接続され、鋳造によって一体化を図っているが、これは大電流を流さなければならぬので接続面の接触抵抗による損失を極力なくするためである。⑪のセンターバーに接続され、巻き終わりは④アノード側冷却フィンに接続されている。

この③④の冷却フィンと⑥⑦のカソード側冷却フィンの間に整流素子⑤をはさみ、⑨さらバネを介して⑩ボルトにて締め付けられる。整流素子の圧接は全体に均一な圧力で圧接する必要はあり、図5で理解できるようにカソード側冷却フィンは、連結アーム⑧により冷却フィンの各々に、ある程度の自由度を与える方法により連結されているので、冷却フィン一個ごとに三組のさらバネの圧力のみで各々の整流素子は均一に圧接されている。図3(A)のように、この直流出力変圧器を1台使用すれば

単相全波整流式となり、小型の直流式抵抗溶接機としてセットすることができる。この場合、最大入力 $25 \sim 100\text{KVA}$ 、使用率は $9 \sim 15\%$ 、最大短絡電流は $10,000 \sim 30,000$ アンペア程度であり、溶接能力としては単相交流式点抵抗溶接機の最大入力 $45 \sim 165\text{KVA}$ に相当する。図3(B)のように直流変圧器3台使用し図のように接続すれば六相半波整流回路を構成することができる。直流式抵抗溶接機として利用した時、最大入力は $75 \sim 300\text{KVA}$ 、使用率は 9% 以下、最大短絡電流は $36,000 \sim 84,000$ アンペアをとりだすことができる。また図3(C)のように接続すれば、十二相半波整流回路を構成することも可能であり、大型の直流電源装置として図3同様に多方面に利用することができる。

本変圧器を直流式抵抗溶接機用の電源として利用すれ

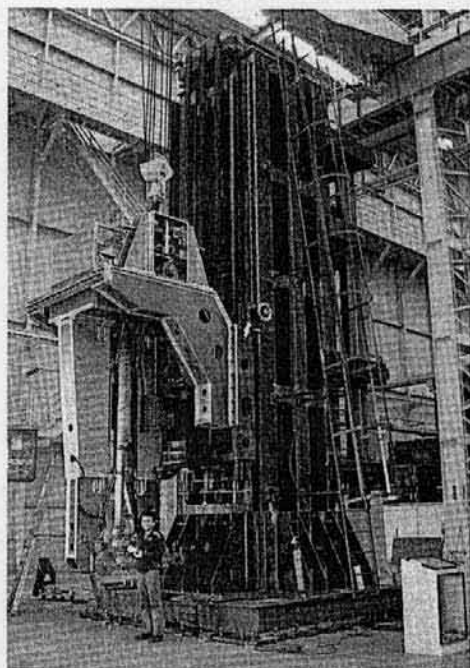
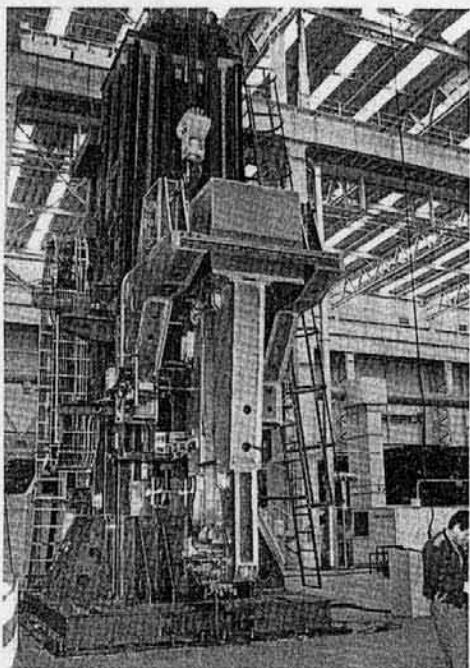


写真1, 2 大型単相整流シーム溶接機

ば、従来の単相整流式抵抗溶接機と同一能力の相血は、より小型化が可能であり、従来の三相整流式抵抗溶接機の大型で構造が複雑かつ高価であるという欠点を改善し、形状としては、むしろ単相交流式より小型となり、従来の整流式に比較し構造も簡単となる。また価格も概略25～30%以上低減できる。なお、効率においても二次コイル—整流素子—冷却フィン—出力側端子までが一体化されるために、接触抵抗による損失が極小になり、性能は大幅に向上することになる。また、制御装置において、ほとんどマイコン制御の定熱量制御化となり、これらの組み合わせでより品質の良い溶接が可能となった。

また前述で説明した通り、大容量溶接機の方が二次回路内の被溶接物の電磁誘導作用の影響が少ないから大容量を必要とする。

写真1および2に大型ワークおよび板厚の大なるものに単相整流式シーム溶接機にてかつ定熱量制御を使用した時の実例を示す。

板厚が2mm+6mm、ワークの大きさ(タテ×ヨコ)が4m×6m、電流が20,000A、加圧力が1ton、スピード(またはヒート・クール)が2.0m/分の条件で好結果が得られた。

また、写真3～6(以下次ページ)に当社の各種シーム溶接機を、写真7にアルミシーム溶接のサンプルマクロ写真を示す。

4 単溶接またはスポット溶接の溶接条件

従来の交流式抵抗溶接機の溶接条件については、溶接手帳その他文献等で一般的にはご承知のことと考えられるが、直流式抵抗溶接機における溶接条件表はいずれの部署からも発表されていない。各ユーザーにおいては溶接条件はあくまでも目安であり最良の溶接条件を得るには、被溶接物ごとに溶接テストを行い、最良の溶接条件を決定すべきである。しかしながら交流式と直流式とは実験の結果から大きく異なるので、十分とはいえないが現在まで当社で行った実験結果を表1, 2にまとめて示す。

溶接条件の決定に当たり、次の条件についての相互関係について説明する。

- (1) 溶接電流条件(ヒートコントロール)
- (2) 加圧条件
- (3) 通電時間条件(通電サイクル)

一般的な溶接条件の設定に当たっては、まずは通電サイクルおよび加圧力を決定し、次に溶接電流を溶接条件表附近に設定し、テストを繰り返しながら少しずつ溶接電流を増やしていき、最良の溶接電流を決定するのがよいものと考えられる。しかし、ここで交流式と相違する点は、直流式においては溶着ムラを少なくするためには、できるだけヒートコントロールを100%にすべきである。しかし100%にした場合に一次側の電源電圧が変動した時

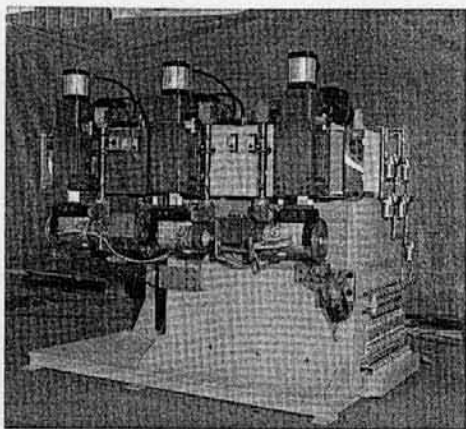


写真3 三頭型直流式シーム溶接機 (100KVA)

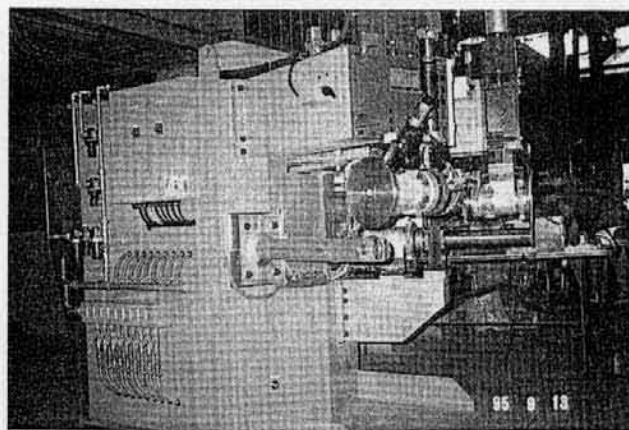


写真4 縦横型直流式シーム溶接機 (75KVA)

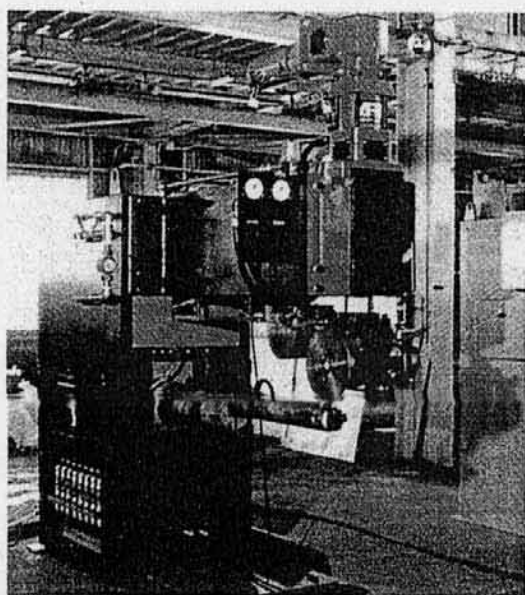


写真5 アルミ用直流式縦シーム溶接機

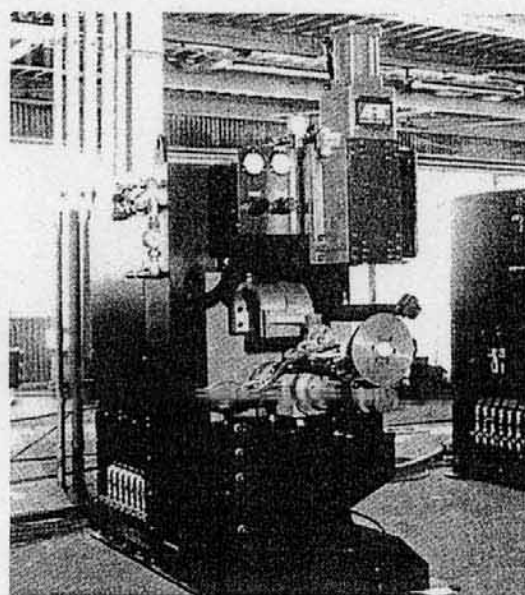


写真6 アルミ用直流式横シーム溶接機

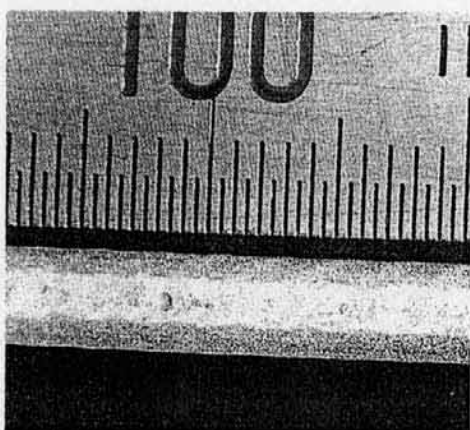


写真7 適正条件によるマクロ写真

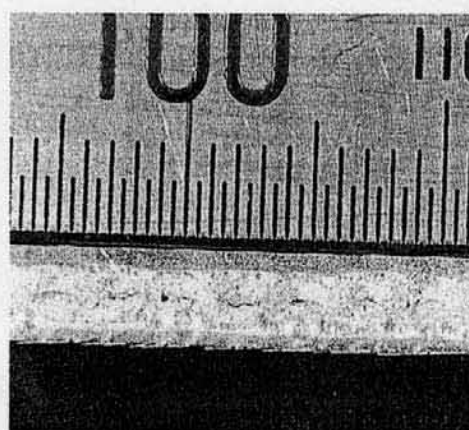


写真8 適正条件でないマクロ写真

に溶接電流をわずかに増やしたい時に調節できないので、ヒートコントロールは80~90%になるよう溶接トランス

のタップを切換えることにより、溶接電流を選定することをお勧めする。

表1 軟鋼板スポット溶接条件

板厚 mm	電 極		最 良 溶 接 条 件				
	D R mm		通電 サイクル	加圧力 kg	溶接電流 A	ナゲット径 mm	強度 kg
0.5	10	10	5	50	3,000	4.5	250
0.8	10	12	6	100	4,800	5.5	380
1.0	12	15	8	130	6,000	6.0	570
1.2	12	20	10	150	6,800	6.2	650
1.6	16	30	12	180	7,600	6.9	(1050)
2.3	16	30	18	250	9,800	8.7	(1850)
3.2	16	50	25	380	12,300	10.0	2600
4.0	16	100	32	450	13,600	12.0	(3800)
6.6	20	200	45	480	15,300	16.2	5500

- 注意事項 1) 本表に示す被溶接材は熱間延鋼板とし、抗張力30～32kg/cm²に相当するものとします。
 2) 通電サイクルは60サイクルの場合を示すものであり、50サイクルの場合は、本表通電サイクル×0.8とする事。
 3) 板厚の異なる2枚重ね溶接の場合は、薄い方の板厚を基準とする事。板厚の比は1:10まで実験的に可能でありました。電極チップはRが大きいほどナゲット径は大きくなり、引張強度も大きくなります。

表2 アルミ合金板スポット溶接条件

板厚 mm	電 極		最良溶接条件		
	D R mm		通電 サイクル	加圧力 kg	溶接電流 A
0.5	16	50	5	50	18,000
0.8	16	50	5	80	11,500
1.0	16	50	7	100	13,000
2.0	16	50	8	200	16,000
3.0	16	50	10	250	18,000
4.0	16	50	13	300	23,000

- 注意事項 1) アルミ合金の場合は材質が多種多様であり、参考として下さい。
 2) 引張強度についてJISの規格を参考として、その規格に合致するように条件を設定してご使用下さい。
 3) 電極は第1表と同じです。

加圧力を増加すれば、それにつれて通電サイクルを一定にした場合は溶接電流を増やさないと、同一溶着状態とはならない。加圧力の設定に当たっては必要最小限の加圧力とすべきで、適当な加圧力の目安としては被溶接物と電極チップおよび被溶接物の溶着面の間からスパッタが出ない程度の加圧力は最良の加圧力と考え下さい。

上記はSPCを基準として説明したが、次に非鉄金属について説明する。

非鉄金属の中でも、アルミニウムまたはその合金の溶

接が一般的に多いので、アルミニウムの溶接とその合金の溶接条件について述べる。ご承知の通り、アルミ系の金属は熱抵抗が非常に小さく熱伝導率が大きいため、溶接に当たっては大量の熱量が被溶接物を通して拡散することと電気伝導もよいので通電サイクルをできるだけ短時間とし電流も大電流を必要とする。

1.2mm以下の板厚の場合は通電サイクルは5～13Hzとし、加圧力は80～200kgとし、とくに通電サイクルを13Hz以上にすると溶着不足が多くなり被溶接物の表面が汚くなるので、条件設定に当たっては注意を要する。

溶接条件についての問題点については、ご一報下さい。特殊材質の条件についてはテストピースをご送付下されば、直ちに実験しその結果についてご報告申し上げます。

5 おわりに

シーム溶接機については、電気を食う、フトコロがとれないなど、その使用を控えていたユーザーも多いことと思う。以上述べてきたように当社の長年の研究・開発によりシーム溶接機はここまで発展してきているのである。ぜひユーザーの皆さんはシーム溶接機を使用することのメリットについても見直して戴きたい。