電 試 式 交 流 ア ー ク 熔 接 機*

杉原栄次郎** 菊 池 進** 矢 田 光 治**

ETL Type AC Arc Welder*

By E. Sugihara,** S. Kikuchi** and K. Yada**

Abstract

A special saturating core type ac arc welder named ETL (Electrotechnical Laboratory) type has been developed. The welding transformer consists of a main transformer and a saturable reactor. These two parts are consolidated to form a single structure.

In the paper described are the causes and the improving methods of distorted welding current wave form and arc starting transient characteristics which are the defects of saturable reactor type arc welders.

The features of the new welder are 1. having no moving parts, 2. electrically controlled type suitable for remote control, hot-start and arc-drive, 3. higher efficiency, 4. longer life.

1. ま え が き

一般に用いられている交流アーク熔接機は、可動鉄心型や可動コイル型が多い。これらには構造が簡単で値段が安いという利点があるけれど、電流の制御を機械的に行なうために次のような欠点を持つ。

- i 可動部分があるため、故障が多い。
- ii 電流を調整するのにハンドルを何回も廻すので、面倒であり時間もかかる。
- iii 電氣的に制御しないために、ホットスタートや遠隔制御などがやり難い。
- iv 振動が多く騒音を発生しやすい。

以上のような欠点を除くために、可動部分のない熔接機が古くから要求され、今までに多くの試みがなされた。その中で実用化された1例として直列可飽和リアクトル型¹⁾がある。(Fig. 1 参照)。図でTは変圧器、SRは可飽和リアクトル。しかし、この型にも次の欠点がある。

- i 高価、ii 効率が低い。

また、リアクトルのタップ変化を行なう型は簡単であるが、電流の調整を連続的にできないし、また、電氣的制御

Fig. 1 AC arc welder with series saturable reactor
T : Transformer
SR : Saturable reactor.

もできない。そこで新型の目標としては、

- i 可動部分なし。
- ii 電流の調整を電氣的にかつ連続的に行なう。
- iii 効率を高く80%以上とする。
- iv 値段を安くする。

値段を安くするためには構造を簡単にしなければならぬ。そこで Fig. 1 ではTとSRとが別々にあるが新型(電試式と呼ぶ)ではこれらをついにまとめた構造を工夫して、上記の目標を全部達成することができた。

2. 電試式熔接機の構造

新型熔接変圧器の鉄心構造として数種^{2), 3)}考え、その一部について簡単な発表⁴⁾をしたが、

Fig. 2 Core structure of ETL type arc welder.
A : Main core
B : Reactor control core

Fig. 3 Circuit of welding transformer.

N₁ : Primary winding
N₂₁ : Secondary voltage winding
N₂₂ : Secondary reactor winding
N₃ : Control winding
I₂ : Welding current
I₃ : Control current

* 原稿受付、昭和34年2月16日(昭和33年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員、電気試験所 Member, Electrotechnical Laboratory.

今後は Fig. 2 に示すものを用いる。図でAは主変圧器鉄心で、Bはリアクトル用制御鉄心である。Fig. 3 に巻線の配置を示す。ここに説明の便のため、制御鉄心Bを90°回転してAとBを同一平面に図示し、かつBをAの外部に置いた。N₁ は一次巻線、N₂₁ は二次電圧巻線、N₂₂ は二次リアクトル巻線、N₃ はリアクトル制御巻線である。この熔接変圧器の動作は N₃ に直流電流を通すことにより、鉄心Bの磁気飽和を変化して回路のリアクタンスを調整する。すなわち N₂₂ 鉄心 B.N₃ を以て可飽和リアクトルの動作を行なわせるのである。実際の500A型の熔接変圧器の構造を Photo. 1 に示す。

なお、今後はこの熔接機の等価回路を Fig. 4(a)で、さらにこれを簡単化して Fig. 4(b) で示す。

3. 特性

垂下特性を Fig. 5 に、また、リアクトル制御電流 I₃

Table 1

W ₁ (W)	V ₂ (V)	I ₂ (A)	L _C (W)	L _F (W)	L _T (W)	L _S (W)	η (%)
6,480	30	180	238	418	1,080	424	83.3
19,440	40	400	1,155	550	3,440	1,735	82.3
25,920	42	500	1,801	628	4,920	2,491	81

W₁: Input power including control power

V₂: Arc voltage

I₂: Welding current

L_C: Copper loss

L_F: Iron loss

L_T: Total loss

L_S: Stray load loss=L_T-L_C-L_F

η: Efficiency= $\frac{I_2 V_2}{W_1} \times 100\%$

と、熔接電流 I₂ の関係を Fig. 6 に示す。このとき、N₃ = 5,280 巻線で、負荷として水抵抗を用い負荷電圧を V₂ = 20 + 0.04 I₂ に選んだ。次に効率と損失の分離を計算した結果の一例を Table 1 に示す。この熔接機は50サイクル、ホットスタート用に試作したもので、このときの測定では負荷電圧 V₂ は前式に従っていない。また熔接変圧器はケースの中に入れた状態にした。この表より本熔接機は経済的に設計されたものであるにもかかわらず、効率は80%以上あり、従来の可飽和リアクトル型に比べて極めてよいことがわかる。なお、最近になって生産に移した熔接機の効率は、500A において85%を越すようになった。

4. 電 流 波 形

可飽和リアクトルを用いる場合には、奇数高調波のために電流波形が歪むことは、よく知られている。すでに述べ

たように、この電試式熔接機は、可飽和リアクトル型の一種なので、やはり電流波形の歪みが問題となる。

i) 波形の観察

まず、Fig. 7 の回路で実験した結果を Fig. 8

(a)(b)(c) に示す。ここに I₃ は直流制御電流でスライダック SD で変化し、I₂ は熔接電流、V₂ はアーク電圧である。Fig. 8(a) は I₃ = 0、I₂ = 100A、(b) は I₃ = 1A、I₂ = 240A、(c) は I₃ = 3A、I₂ = 500A のときである。ここに N₃ はコイル数 8 コで 1 コイル当り 660 巻数である。これより I₃ = 0 のとき以外は、I₃ は偶数高調波を、I₂ は奇数高調波を含んでおり、特に (b) では I₂ が著しく歪んでいることがわかる。

次に、波形の歪む原因を考えてみるが、これは、可飽和

Photo. 1 Structure of welding transformer.

Fig. 4 Equivalent circuit of ETL type arc welder.

N₁: Primary winding
N₂: Secondary winding
N₃: Control winding

Fig. 5 Drooping characteristics.
V₂: Secondary voltage

Fig. 6. Relationship between I₃ and I₂

(a) $I_2=100\text{A}$, $V_2=24\text{V}$, $I_3=0$

(b) $I_2=240\text{A}$, $V_2=34\text{V}$, $I_3=1\text{A}$

(c) $I_2=500\text{A}$, $V_2=30\text{V}$, $I_3=3\text{A}$

Fig. 8 Oscillograms of wave forms

(a) Unstable arc

(b) Stable arc

Fig. 9 Distorted wave form of welding current

リアクトルの動作⁵⁾から直に了解できる。すなわち、熔接機回路は Fig. 7 に示すように、制御回路のインピーダンスは極めて小さいので、自由磁化の状態にある。従って、 I_3 は当然偶数高調波を、 I_2 は奇数高調波を含み、 $I_3=0$ のときには高調波を含まないし、また直流磁化の大きい所では、電流波型の歪が少なくなる。故に、この熔接機で電流波形が問題になるのは、直流磁化

Fig. 10 L_3 -improving method of distorted welding current

L_3 : Reactor inserted in the control circuit

の少ないとき、すなわち熔接電流の小さいときである。

ii) 波形の改善方法 (その 1, L_3 の方法)

すでに述べたように、制御回路が自由磁化の状態にあれば、高調波を生じ電流波形は歪んでくる。ところで、熔接においてアークが不安定になるのは、電流波形が Fig. 9(a) の如く、電流の零付近が長いとき、すなわち、奇数高調波を含んだときであるが、しかし Fig. 9(b) の如く矩形波に近いときには、かえってアークは安定である。すなわ

(a) $N_3: 8\text{coils}$, $L_3=0$, $I_2=150\text{A}$, $V_2=27\text{V}$, $I_3=0.5\text{A}$

(b) $N_3: 8\text{coils}$, $L_3=80\text{H}$, $I_2=150\text{A}$, $V_2=25\text{V}$, $I_3=0.5\text{A}$

(c) $N_3: 2\text{coils}$, $L_3=0$, $I_2=150\text{A}$, $V_2=28\text{V}$, $I_3=2\text{A}$

(d) $N_3: 2\text{coils}$, $L_3=80\text{H}$, $I_2=150\text{A}$, $V_2=24\text{V}$, $I_3=2\text{A}$

Fig. 11 Oscillograms of wave forms

ち、熔接アークに対しては、電流波形は、必しも正弦波が最上のもではなく、(b)の如く、歪む方がかえってよい。故に、Fig. 10 のように制御回路にリアクトル L_3 を挿入して、拘束磁化の状態に近づければ、Fig. 9 (b) のような波形ができる筈である。実際には L_3 を余り大きく選べないし、また鉄心の特性も悪いので正弦波にはできない。以下実験の結果は Fig. 11 (a) (b) (c) (d) のオシログラムによって示す。これは 4mm 熔接棒を用い、熔接電流 I_2 は 150 A、アーク電圧 V_2 は 25V 程度にした。ここに (a) と (b) は制御巻線 N_3 のコイル数が 8 コのとき、(c) と (d) はコイル数が 2 コのときである。実験に際しては、いずれの場合も制御巻線のアンペアターン ($I_3 \times N_3$) は等しい値になるように前者では $I_3=0.4A$ 後者では $I_3=2A$ とした。(a) と (c) には L_3 を入れず、(b) と (d) では L_3 を挿入した。ここに $L_3=80H$ これよりわかることは、 L_3 のないときには、コイル数の多小にかかわらず波形は歪んでいるが、 L_3 のあるときには、波形は改善されており、特にコイル数の少ない方が改善は著しい。このことは制御回路のインピーダンスを Z_3 とすると、二次側から見た値は $(\frac{N_2}{N_3})^2 Z_3$ となり N_3 が少ないほど、インピーダンスが高くなり、挿入した L_3 の効果が大きく、従って、拘束磁化の影響が大きくなることから了解される。以上により波形の改善方法として、 N_3 を少なくし、 L_3 を挿入することが有効であることがわかった。

iii) 波形の改善方法 (その 2, L_2 の方法)

これは、Fig. 12 に示すように熔接機の二次側に直列にリアクトル L_2 を挿入する方法である。この L_2 の鉄心に空隙を設けることにより、高調波電流の百分率を小さくして、以て波形を改善するのはよく行なわれる方法である。さらに、この熔接機自身も、可飽和リアクトル型なので、 L_2 の挿入のため、波形が改

Fig. 12 L_2 -improving method of distorted welding current.

L_2 : Reactor inserted in the secondary circuit

善されるようになる。それは次のように説明できる。熔接電流 I_2 は、 $I_2 = \frac{V_{20}}{\sqrt{R^2 + (X_2 + X_w)^2}}$ ここに V_{20} : 熔接機無負荷電圧、 R : アークおよび回路の抵抗、 X_2 : L_2 のリアクタンス、 X_w : 熔接機のリアクタンス。いま、 L_2 のないときとあるとき、同じ I_2 を流すためには、 V_{20} や R はほぼ一定であるから、 L_2 のあるときの方が X_w は小さくする必要がある。ここに、 X_w は制御電流 I_3 の函数故、 X_w を小さくすることは I_3 を大きくすることで、すなわち、熔接機の直流磁化を強くすることになり、従って電流波形が改善されることになる。このことをオッ

(a) N_3 : 8coils, $L_2=0.7mH$, $I_2=150A$, $V_2=22V$, $I_3=0.8A$

(b) N_3 : 2coils, $L_2=0.7mH$, $I_2=150A$, $V_2=22V$, $I_3=2.9A$

Fig. 13 Oscillograms of wave forms

シログラム Fig. 13 (a) (b) で示す。 L_2 のない場合はすでに、Fig. 11 (a) (b) に示したが、Fig. 13 (a) (b) は L_2 のあるときで、前者は N_3 コイル 8 コ後者は 2 コのときである。ここにはアーク電圧は示さなかった。ここで使用した L_2 は 0.7 mH で空隙は 15mm である。 L_2 のあるときは、いずれも I_2 の波形が改善されていることがよくわかる。この場合には、前の L_3 のように N_3 の多少が波形の改善に対してほとんど影響がない。これは L_2 も波形の改善に役立ち、また L_2 のあるために I_3 が増して直流磁化が強くなっていること、などから説明できる。

iv) 波形の改善方法 (その 3, 空隙の方法)

電試式の熔接機の鉄心構造を正面から見ると Fig. 14 となる。いま鉄心 A とリアクトル鉄心 B の間の空隙 G を大きくすれば、空隙入り鉄心のリアクトルの場合と同様に波形の改善ができる

Fig. 14 Elevation of welding transformer cores.
 G : Air gap

筈である。今までに試験した熔接機の鉄心空隙 G は 0.5mm であったが、 $G=1.5mm$ にした場合の電流波形を Fig. 15 に示す。Fig. 8 (b) と比較すると波形はかなり改善されている。しかし、この方法では空隙が大きいために、リアクタンスの変化範囲が小さく、従って電流の制御範囲が狭くなるという欠点がある。同じ仕様で空隙のみ異なる熔接機の特性を Fig. 16 に示す。これより、同じアンペアターン ($I_3 N_3$) に対して $G=0.5mm$ よりも $G=1.5mm$ の方

Fig. 15 Wave forms for welding transformer with larger G. $I_2=180\text{A}$, $V_2=28\text{V}$, $I_3=1\text{A}$, $N_3=8\text{coils}$

が電流 I_2 の変化範囲が狭いことがわかる。

5. 電流の過渡特性

可飽和リアクトル型アーク溶接機では、アークの発生時に短時間ながら、大きい過渡電流が生じ、いわゆる、ホット

Fig. 16 Relationship between I_3N_3 and I_2

スタート特性を示す。この特性はアークの発生を容易にするという長所がある反面、薄板では孔を開けてしまうという短所もある。これは、可飽和リアクトル型直流アーク溶接機で経験されていることである。電試式溶接機も可飽和リアクトル型なので、やはりホットスタート特性がある。次に、この原因と対策を考えてみる。可飽和リアクトルの応答時間の大小は、応答係数 $\alpha = \frac{N_3^2 A_3}{l R_3}$ で示される。ここに直流制御回路の巻数を N_3 、制御鉄心断面積を A_3 、磁路の長さを l 、回路の全抵抗を R_3 で示す。従って A_3 と l が一定の場合、過渡時間を短くするには、 N_3 を小さくするか、 R_3 を大きくすればよい。

また、次のようにも考えることができる。溶接電流に過渡特性を生じるのは、制御巻線 N_3 の回路に偶数高調波を生じて制御電流に過渡現象を生じるためである。従って、溶接電流の波形に歪がなくなれば、制御回路に高調波を生じることもなく、大きな過渡現象も起らなくなる筈である。これは、前節 4 の波形改善の方法を行えば、自ら過渡特性が減少することを意味する。

以上の考察の結果をオシログラム Fig. 17, 18 に示す。すなわち、ここには、 N_3 の 8 コの場合と 2 コの場合について、 L_2 や L_3 で波形を改善したときと改善しないときの過渡現象を比較した。Fig. 17 (a) は波形を改善していない場合で、 I_2 と I_3 が対応してホットスタート特性が生じており、(b) と (c) は、 L_3 や L_2 で波形を改善した

(a) $I_2=150\text{A}$, $V_2=24\text{V}$, $I_3=0.5\text{A}$

(b) $I_2=150\text{A}$, $V_2=25\text{V}$, $I_3=0.5\text{A}$, $L_3=80\text{H}$

(c) $I_2=150\text{A}$, $V_2=25\text{V}$, $I_3=0.9\text{A}$, $L_2=0.7\text{mH}$

Fig. 17 Oscillograms of arc starting transients. ($N_3: 8\text{coils}$)

場合で、過渡特性はかなり減少していることが認められる。以上は N_3 コイルが 8 コの場合であるが、Fig. 18 は N_3 コイルを 2 コにしたときで、(a) は波形を改善していないとき [Fig. 11 (c) の波形] の過渡特性であるが N_3 が小さいためにあまり著しい過渡特性を示していない。(b) と (c) は N_3 も小さく、波形も改善されているので、過

transients. ($N_3: 2\text{coils}$)

(a) $I_2=150\text{A}$, $V_2=25\text{V}$, $I_3=2\text{A}$

(b) $I_2=150A$, $V_2=25V$, $I_3=2A$, $L_3=80H$ (c) $I_2=150A$, $V_2=22V$, $I_3=2.8A$, $L_2=0.7mH$

Fig. 18 Oscillograms of arc starting

渡特性は著しく減少している。すなわち、これらのオシログラムから、 N_3 を小さくしたり、あるいは電流波形を改善すればアーク発生時の過渡特性を減少できることがわかる。逆にいえば制御回路に特別な装置を施さないのに甚しいホットスタート特性を生じる溶接機は、その電流波形が歪んでいることを示すものである。このような溶接機はたとえ、アークの発生が容易でも、定常アークは不安定に

なる筈である。しかし、アークの安定を害さない程度の波形歪ならば、もちろんホットスタート特性のある方が溶接機としては使い易くなる。

Fig. 19 Connection diagram of remote control.
SD₁: Slidac for manual control
SD₂: Slidac for remote control
S: Turn-over switch

改造することなく、そのまま遠隔制御ができる。すなわち Fig. 19 に示すように制御電流 I_3 を変化するスライダック SD₁ を切替スイッチ S にて、遠隔制御用のスライダック SD₂ に切替えばよい、またこの溶接機は、今迄に発表した如く、ホットスタート⁷⁾やアークドライブ⁸⁾をさらに制御ケーブル類を使わない遠隔制御⁹⁾などに適している。

6. 遠隔制御

遠隔制御は制御ケーブルやリレー類を使用しない方法⁴⁾が最良であるが、制御ケーブルの使用を許される所では、本溶接機は何等

7. 結 言

可動部分のない新型の交流アーク溶接機として、主変圧器と可飽和リアクトルを一緒にまとめた構造を考案した。その結果、構造が簡単となり、効率も高く、製作費も安くなった。本文には試作した 500A 型の特性などについて述べた。これは、可飽和リアクトル型なので波形の歪みやアーク発生時の過渡特性が問題となる。そこで、可飽和リアクトルの原理を本溶接機に適用して、これらの問題を解決した。まず第 1 に、波形を改善するのに制御回路にリアクトル L_3 を挿入する方法、第 2 に出力二次側に直列に空隙入りのリアクトル L_3 を挿入する方法、第 3 に主鉄心とリアクトル制御鉄心との空隙を大きくする方法などについて述べた。次にアーク発生時の過渡特性は応答係数 $\alpha = \frac{N_3^2 A_3}{IR_3}$ や電流波形の歪みに起因すること、それ故、制御巻線 N_3

を少なくしたり、波形を改善すると過渡特性も減少することを明らかにした。この事実は一般の可飽和リアクトル型直流アーク溶接機にも通用することである。

最後に本溶接機の特徴をまとめると、これは可動部分がなく、電流の調整を電氣的に行なうので次のような多くの利点をあげることができる。

1. 電流の調整が簡単
2. ホットスタート、遠隔制御、アークドライブなどに適する。
3. 効率が低い。

Photo. 2 ETL type ac arc welder with remote control apparatus

4. 騒音を発生しない。
5. 故障が起り難い。

なお、本溶接機は昭和32年度通産省応用化研究補助金を得て、東亜精機KKが試作完成したものである。(Photo. 2) ことに同社の吉川忠輝、小林弘、芝田貞貢の諸氏の御努力に対し、深甚の謝意を表す次第である。

文 献

- 1) S. Oestreicher, AIEE, 70 (1951), 787
- 2) 特許第208,221号
- 3) 特許第208,910号
- 4) 杉原他 3 名, 溶学誌, 25 (昭31), 8
- 5) 森沢, 電試研報, 第557号 (昭32)
- 6) 杉原, 大村, 溶学誌, 24 (昭31), 62
- 7) 杉原, 木村, 菊池, 溶学誌, 26 (昭32), 7
- 8) 杉原, 菊池, 溶学誌, 27 (昭33), 187
- 9) 杉原, 菊池, 溶学誌, 27 (昭33), 442