アーク溶接機特集

交流アーク溶接機の外部特性とアーク安定性に関する一考察	105
ハイ・アーク溶接応用例と施工基準	114
潜弧溶接機	120
大径溶接鋼管製造設備	126
X 線蛍光増倍管によるアークスポット溶接現象の解析	132
整流器式直流アーク溶接機の電流制御特性	139
プラズマ・ジエットによる金属の切断について	147

交流アーク溶接機の外部特性とアーク安定性に関する一考察

A Consideration on External Characteristics of A. C Arc Welders and Arc Stability

佐藤博*石 橋 英 治*
Hiroshi Satô Eiji Ishibashi

内 容 梗 概

消弧長を比較することによって、アーク溶接時のアーク安定性を判定し、外部特性曲線が円弧の内側にはいるほど消弧長が短くなって、アークが不安定になる点を述べるとともに、外部特性曲線の円弧からの隔たりの生ずる原因に関し、等価回路を用いて種々検討、考察を加え、可動鉄心形溶接機の場合、漏えい磁路内の可動鉄心に十分留意をはらう必要のある点について言及した。

1. 緒 言

交流アーク溶接機は、その機能上各種の種類の被覆溶接棒に対し、アークを容易に発生して安定に維持させるとともに、溶接電流をなるべく広範囲に調節しうることが要求されている。通常、交流アーク溶接機には、可動鉄心形、可動線輸形あるいはタップ切換形など、いわゆる垂下特性を持った漏えい変圧器が用いられるが、中でも可動鉄心形の溶接機は、構造、機械的強度あるいは操作の難易性などの点に、すぐれた性質を有しているので、もっとも広く用いられている。

交流アーク溶接機の特性を簡明に表わすには、二次電流と二次電 Eによって規定される外部特性曲線を用いるのが普通で、この特性 曲線は、理想状態では円弧となるが、実際には、巻線抵抗、鉄損ある いは漂遊負荷損などの影響を受けて、円弧の内側にずれるものであ り、円弧からのずれが大きくなると、アーク安定性に影響するとい われている。一方、溶接時のアーク現象は、溶接電源の特性と同時 に、溶接棒の種類と性能、アーク電流、アーク長そのほか種々の要 因が複雑に関係し合っているため、アーク現象自体、いまだ完全に は解明されていないのが現状で、アーク安定度の定量的な判定法も 種々の試みがなされているにかかわらず、絶対的な方法は見出され ていない。

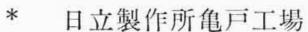
筆者らは、比較的定量化しやすい消弧長を測定比較することによって、アークの安定性を判定し、溶接機の二次無負荷電圧、外部特性曲線の形状とアーク安定度の関連について種々実験検討するとともに、安定なアークを維持する上で、溶接機の漏えい磁路内で考慮をはらうべき問題点について、一、二検討、考察を加えた。以下にその結果を報告する。

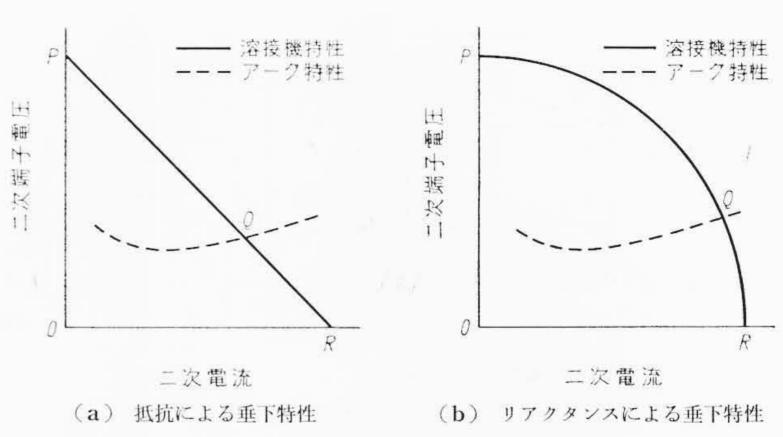
2. 交流アーク溶接機の概要(1)

2.1 垂 下 特 性

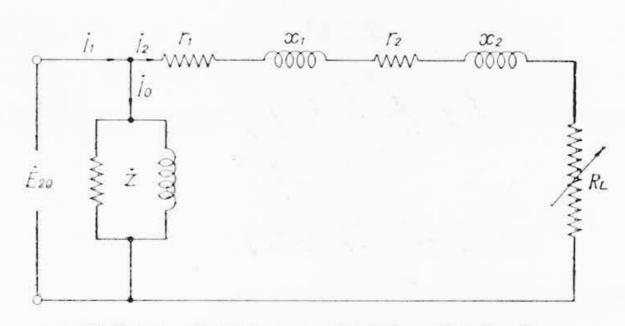
交流アーク溶接機は、通常、無負荷状態と負荷状態における二次端子電圧が著しく異なり、一般に、無負荷時の二次端子電圧は負荷時のそれの2~3倍の値を有する。したがって、溶接機の供給する二次電流と二次電圧の関係を示す外部特性曲線は、第1図に示すように、二次電流の増加につれ二次端子電圧の低下する、いわゆる垂下特性をもっており、図中のQ点が溶接アークの動作点、OPが二次無負荷電圧、ORが二次短絡電流をそれぞれ表わすこととなる。

溶接電源に垂下特性を与えるには、電源とアークの間に直列に抵 抗またはリアクタンスをそう入し、その部分の電圧降下を利用する





第1図 溶接電源の外部特性曲線



第2図 簡略化した変圧器の等価回路

方法と、漏えい変圧器の内部漏えいリアクタンスを利用する方法があるが、直列抵抗を用いる方法は、電力損を伴うとともに、アークの安定性にも欠点があり、また、直列リアクトルを用いる方法も、所要材料の増す欠点があるため、いずれもあまり用いられず、一般には、漏えい変圧器を利用したものが採用されている。

2.2 漏えい変圧器の外部特性曲線

一般に使用されている簡略化された変圧器の等価回路は,**第2**図 のように描きうる。図中, r_1 , r_2 , x_1 , x_2 は一次および二次の抵抗,リアクタンスで,すべて二次側に換算してあるものとする。アーク 負荷の代わりに純抵抗負荷を考え,負荷抵抗を R_L ,二次無負荷端子電圧を \dot{E}_{20} とすると,二次電流 \dot{I}_2 は(1)式で表わされる。

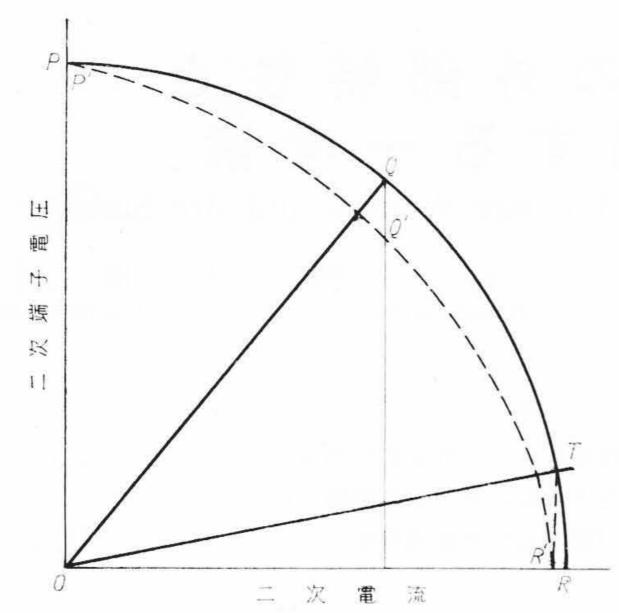
$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{20}}{(r_1 + r_2 + R_L) + j(x_1 + x_2)} = \frac{\dot{E}_{20}}{R + jX} \dots (1)$$

$$\subset \subset \mathbb{R} = r_1 + r_2 + R_L$$

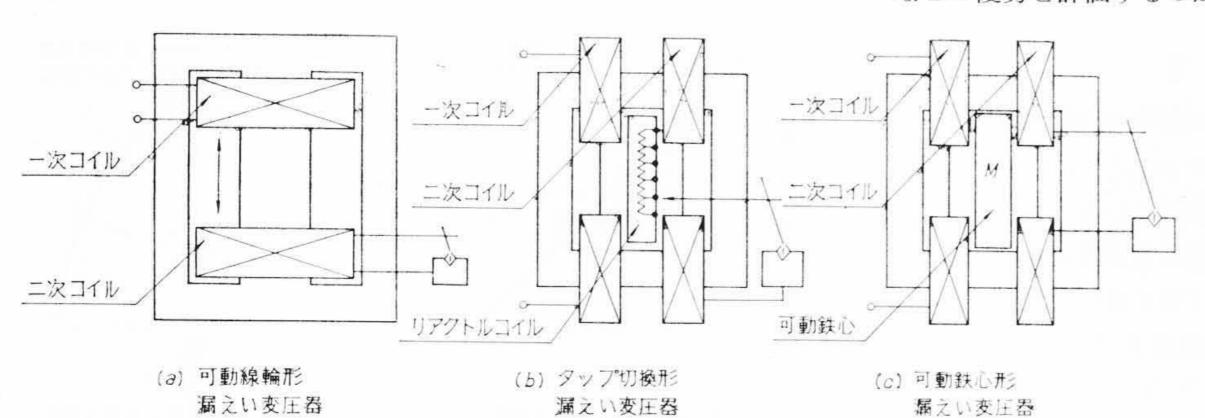
$$X = x_1 + x_2$$

簡単のために、内部抵抗を負荷抵抗に含めて考えると、(1)式で示されるように、二次電流のいかんにかかわらず、抵抗端子電圧降下 Ri_2 とリアクタンス電圧降下 Xi_2 のベクトル和が、常に二次無負荷電圧 E_{20} と等しくなり、同時に、 Ri_2 と Xi_2 は常時 90度の位相差を有することとなる。かかる関係があるから、直角座標の横軸に二次電流を、縦軸に抵抗端子電圧すなわち二次端子電圧をとること

日



第3図 漏えい変圧器の外部特性曲線説明図



第4図 各種漏えい変圧器の構造

によって、この間の関係を第3図に示すように、円あるいはだ円の一部として表わすことができる。図中で、OP、OR はそれぞれ二次無負荷電圧、二次短絡電流を示すが、二次短絡電流 \mathbf{i}_{2s} は(1)式から

$$\mathbf{\dot{I}}_{2s} = \frac{\dot{\mathbf{E}}_{20}}{jX} = \frac{\dot{\mathbf{E}}_{20}}{j(x_1 + x_2)} \dots (2)$$

として表わしうる。

以上は、内部抵抗 (r_1+r_2) による電圧降下を、負荷端子の電圧降下中に含めて取り扱ったが、実際にはこれを区別して考えねばならない。この際には、 $I_2(r_1+r_2)$ は電流に比例する量であるから、第3図中に示した OT なる直線で表わすことができ、PQR なる円弧からこの分を差引いた P'Q'R' なる曲線が求むる曲線となる。

ところで、これまでに述べたところでは、内部漏えいリアクタンスは一定であるとして取り扱ってきたが、実際には、鉄心内のパーミアンスが磁束密度の関数となるため、漏えいリアクタンスを一定として取り扱い得ない場合があり、また、漏えい磁束に起因する漂遊負荷損など、複雑な要因が関係するため、(1)式で示される単純な関係では示しがたい場合が生じうる。

なお、外部特性曲線は、横軸に二次電流、縦軸に二次端子電圧を取って描くと、その形状がだ円の一部になるのが普通であるため、二次無負荷電圧および二次短絡電流をそれぞれ100%とした、百分率表示で示した方が理想状態の円弧との差を一目瞭然的に示しうるので便利なことが多い。

2.2 漏えい変圧器の構造

現在実用されている溶接機用の漏えい変圧器としては, 第4図(a)~(c)に示すようなものが多く,中でも(c)の可動鉄心形漏えい変圧器がもっとも広く用いられている。

可動鉄心形溶接機は,一次コイル,二次コイル相互を,一定の距離を置いて対向配置し,漏えい空間に可動鉄心Mを設けて,この鉄心を動かすことによって,漏えいリアクタンスを変化させ,二次電

流を調整するものである。以下の実験に使用した溶接機も可動鉄心 形漏えい変圧器で,第4図(c)の構造を有するものである。

3. 外部特性曲線とアーク安定性に関する 実験結果および検討

3.1 アーク安定性の比較方法

被覆溶接棒を使用する交流アーク溶接において,溶接作業性の良 否を判定するには,

- (1) アーク発生の難易
- (2) アーク状態の適否
- (3) 溶接棒端溶込状態の適否
- (4) スラグ流動状態の適否
- (5) スパッタ状態の良否
- (6) スラグ除去およびスパッタ除去の難易

などの優劣を評価するのが普通であるが,これらの作業性には,一

般に、溶接条件すなわち、使用溶接機の特性、電流の種別(交流、直流の別) および大きさ、アーク長、アーク電 圧、使用溶接棒の種類、棒径、溶接個 所の状態(形状、寸法、溶接面の清掃 度、温度など)、溶接姿勢、溶接速度、 運棒法など、多くの要因が影響する。 したがって、アーク安定性を定量的に 判定することも非常に困難で、消弧 長、再点弧電圧あるいはアークの広が り角度などに着目して、安定性を定量

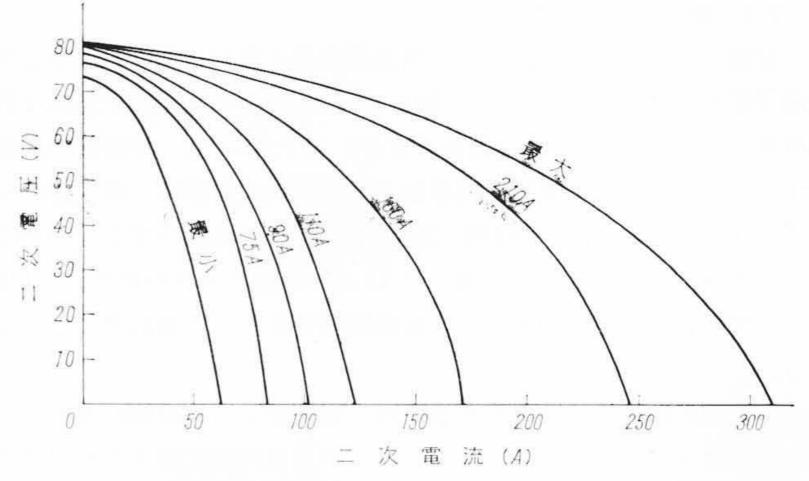
的に比較する方法が報告されているが⁽²⁾⁽³⁾,いずれも決定的なものではなく,作業者の勘による判断を参考にしつつ,判定しているのが現状である。

今回は、溶接機の外部特性曲線とアーク安定性の関係に限定して、実験検討を行なうこととしたので、アーク安定性の判定基準としては、溶接棒を母材に対し垂直に固定した場合の消弧長(アークが持続し得なくなった時の溶接棒端と母材間距離)を用いることとし、溶接棒の種類、棒径、溶接個所の状態、溶接姿勢などの要因は、極力一定に保った上で実験を進めることとした。

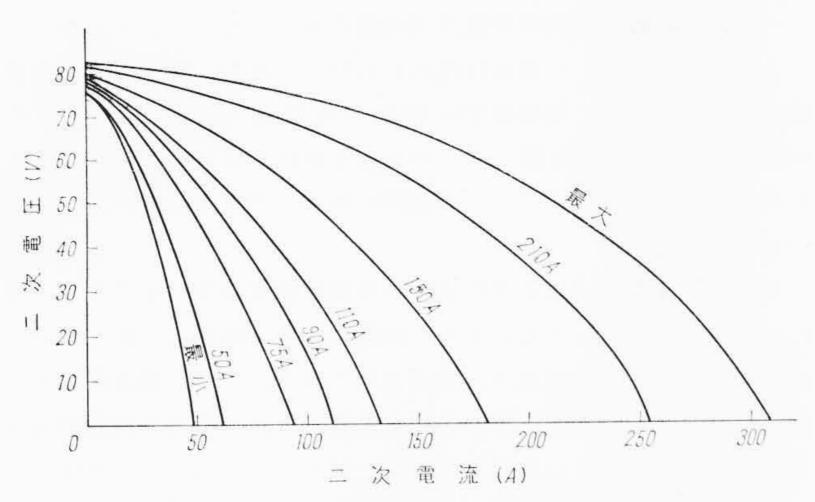
3.2 実 験 条 件

3.2.1 実験供試溶接機の外部特性曲線

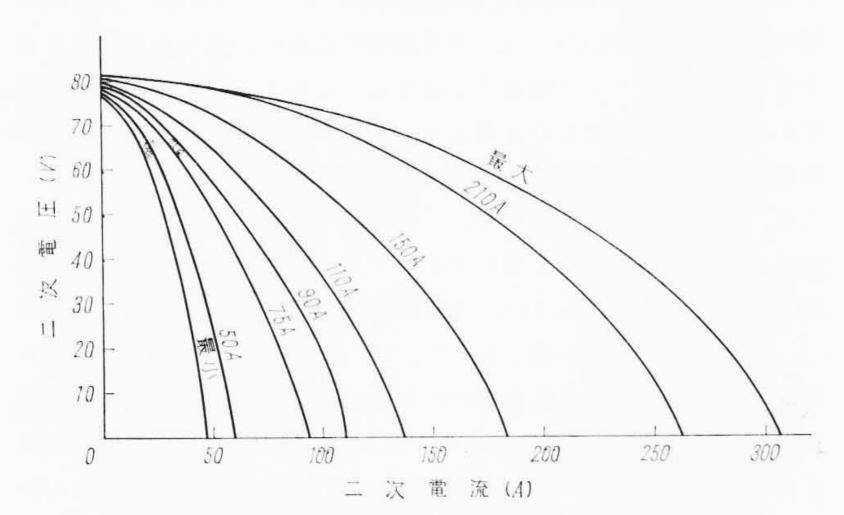
今回の実験に使用した溶接機の外部特性曲線は,第 $5\sim7$ 図に示すごときもので,この中,消弧長比較実験に使用した,二次電流 110 および 150A の曲線を,百分率外部特性曲線に書き直したものが第8図である。第8図から直ちに認めうるように,3試料とも,理想時の百分率外部特性曲線である円弧の内側にはいっているが,この中,試料 I がもっとも円弧に近く,試料 I がもっとも



第5図 供試溶接機の外部特性曲線(試料I)



第6図 供試溶接機の外部特性曲線(試料Ⅱ)



第7図 供試溶接機の外部特性曲線(試料Ⅲ)

第1表 使用溶接棒々種

No.	銘 柄	製造者名	JIS 区 分
1	B-14	K 製 鋼 所	D4301 イルミナイト系
2	TB-24	K製鋼所	D4303 ライムチタニヤ系
3	RM-53	F溶接棒	D4313 高酸化チタンカリウム系
4	L B-26	K 製 鋼 所	D4316 低水素カリウム系

内側にはいり,試料Ⅲはその中間となっている。これらの溶接機の構造は,いずれも第4図(c)に示した4コイル形の可動鉄心形溶接機であって,基本的構造は全く同じであるが,漏えい回路の特性の差異に起因して,百分率外部特性曲線に差を生じたものである。

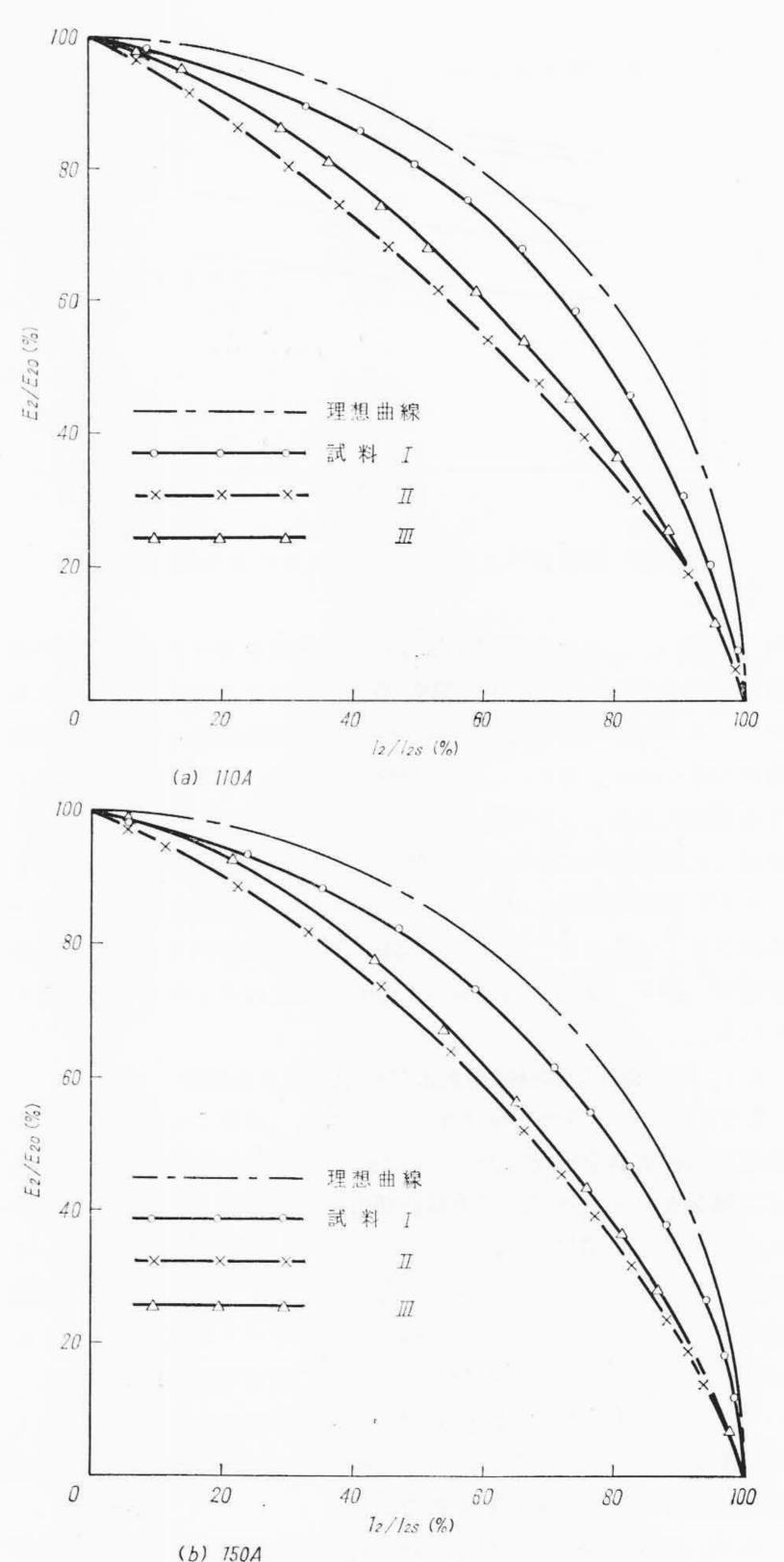
3.2.2 使用溶接棒,母材条件および実験方法

実験に当たっては,第1表に示す4種類の棒種を選定し,LB-26については260℃,1時間,ほかの3種の棒種については100℃,1時間の乾燥条件で乾燥した上,常に新しい溶接棒を使用し,一度点弧した溶接棒の再使用を避けた。

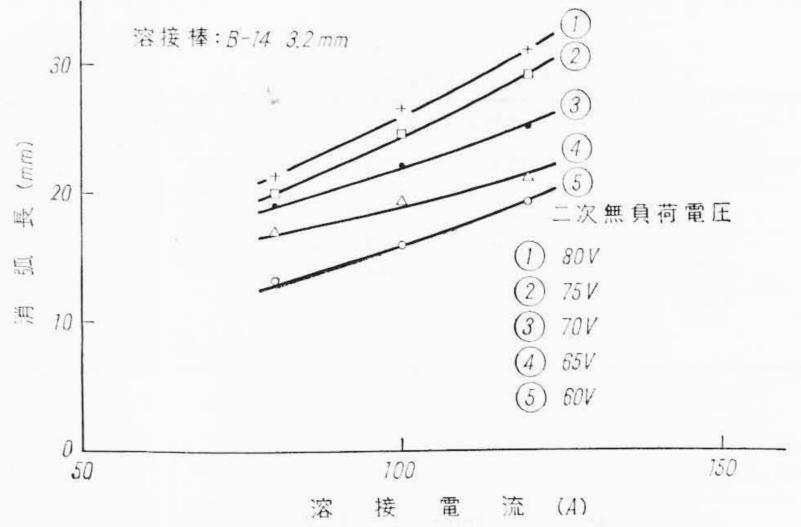
母材としては、幅 40 mm、長さ 375 mm のものを台車に固定し、溶接棒をほぼ垂直に対向させた上、一定間げき長から高周波電圧の重畳によってアークを起動した後、台車を一定速度でアークの消滅するまで送給し、母材面と溶接棒先端間の長さを測定して、これを消弧長とした。母材表面は実験に先だって、ブラッシングを行ない、さび、油気などの影響を極力避けるよう配慮した。なお、母材の板厚は 3.2 mm棒については 4.5 mm、4.0 mm棒については 6 mm である。また、アーク始動時の二次電流は、3.2 mm棒の場合 110 A、4 mm棒の場合 150 A である。

3.3 溶接条件の消弧長に対する影響

3.1 に列記した種々の溶接条件の中,溶接棒の種類,棒径,溶接個所の状態,溶接姿勢,溶接速度などの条件は,3.2.2 に述べたように,ほぼ一定条件に規定し得たものと考えられるが,溶接電流,二次無負荷電圧は,供試溶接機の特性の差によって,嚴密に同一条



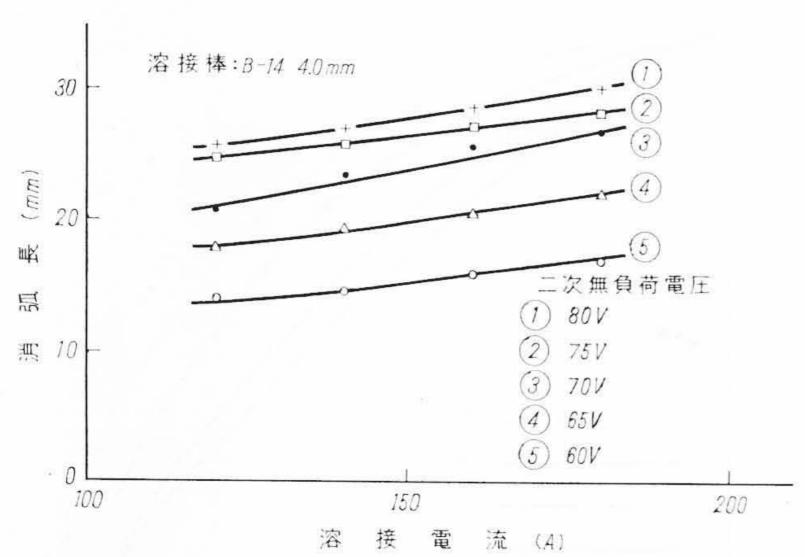
第8図 消弧長実験時における各溶接機の 百分率外部特性曲線



第9図 溶接条件と消弧長の関係 (その1, 3.2 mm 棒)

件に規定し難い面もあるので、本実験に先だって、溶接電流および 二次無負荷電圧が、消弧長に与える影響について予備的な実験、検 討を行なった。

溶接棒としては B-14, 3.2 mm および 4 mm 棒を, 溶接機には試



第10図 溶接条件と消弧長の関係(その2,4.0 mm 棒)

料 I を用い、二次無負荷電圧および溶接電流を変化させた場合の消弧長を測定した。実験結果は第9,10図に取りまとめたとおりであるが、これらの結果を見ると、同一棒径の溶接棒に対しては、溶接電流の大きいほど、また、二次無負荷電圧の高いほど、消弧長が長くなる傾向にあることが明らかである。しかし、消弧長比較実験時に供試した溶接機の二次無負荷電圧は、各溶接電流に対し、後述のように IV 程度の差異しかなく、また、始動時の溶接電流もほぼ同一におさえているので、これら溶接条件の差異に起因する消弧長への影響は、第9,10図の結果から1mm以下におさえ得るものと考えられる。

3.4 消弧長比較実験結果および結果に対する検討

3.3に述べたような実験結果を勘案の上、試料 I ~IIIについての消弧長比較実験を行なった。この際の各供試溶接機の電気的諸特性は、第2表のとおりで、二次無負荷電圧の差異は 1V 程度である。また溶接電流に関しては、実験に先だって、適正と思われるアーク長の下で、数回溶接ビードを引きながら電流調節を行ない、可動鉄心位置を固定したので、アーク始動直後のアーク電流にも、ほとんど試料間の差異はないものと考えてよい。測定実験は、各条件についてそれぞれ 10 回ずつ行なったが、それらの結果を取りまとめたものが第3表であり、さらに、各平均値に関し、溶接機試料間の有意差検定を行なった結果が第4表である。

まず、溶接棒々種間の消弧長の差異についてみると、供試溶接機のいかんにかかわらず、LB-26のみほかの溶接棒種に比べて消弧長が短く、これは、溶接機の影響ではなく、低水素溶接棒の性質が影響しているものと思われる⁽⁴⁾。

第2表 供試溶接機の特性

項目	二次無負荷	電圧 (V)	二次短絡電	這流 (A)
試料番号 溶接電流	110A	150A	110A	150A
I	79.5	80.0	122.0	170.0
II	78.5	79.5	132.0	180.0
III	79.0	80.5	137.0	185.0

一方,溶接棒々径間の消弧長平均値の差はかなり小さく,かつ,大小の関係に一定した傾向は認められない。なお,第9,10図の実験結果においても,無負荷電圧80V付近では,3.2mm棒110Aの溶接条件と,4.0mm棒150Aの溶接条件における消弧長にほとんど差がなく,したがって,両溶接棒に対する設定電流には,問題ないものと考える。

さて、第4表に示した平均値間の有意差検定結果に示されるよう に、危険率を5%以下にとると、溶接棒々種、棒径のいかんにかか わらず、すべて有意差有りと検定されており、かつ、第3表中の平 均値を見ると、LB-26以外の3種の棒種では、消弧長平均値の大き さの傾向が、試料 I →Ⅲ → Ⅱ の順序で短くなっており、これは、百 分率外部特性曲線の円弧からの隔たりの大きさの傾向に完全に一致 する。もちろん、この間の定量的な関係にまで立ち入ることは、現段 階では不可能に近いが, 百分率外部特性曲線の円弧からの隔たりの 大きいものは, アークの安定上好ましくないとの結論は, 本実験結 果から引き出し得たものと考える。溶接アークの動作点が、アーク 特性曲線と,外部特性曲線の交点で規定されるものである点につい ては、すでに述べたとおりで、この際、アーク長が長くなると、必然 的にアーク電圧の上昇をきたすが, アーク動作点は常に外部特性曲 線上をたどらねばならない。百分率外部特性曲線が円弧に近けれ ば、たとえアーク長が長くなって、アーク電圧が上昇しても、アーク 電流の減少を少くおさえうるのに対し, 百分率外部特性曲線が円弧 の内側へはいり,直線に近付くほど,この際の電流の減少の度合が大 きくなり、ためにアークの持続が困難となるわけである。なお、LB-26 の場合については, 消弧長平均値が 3.2 mm, 4.0 mm 両棒径と も試料Ⅱの方が、試料Ⅲより長くなっており、傾向がほかの棒種と 異なっている。この点に関しては、消弧長平均値の絶対値もほかよ りかなり短い点を含め、今後さらに実験、検討を加える所存である。

4. 外部特性曲線の形状に対する考察結果

3において、交流アーク溶接機の外部特性曲線とアーク安定性の 関係を、主として、消弧長の比較によって実験的に検討を加えた結果、百分率外部特性曲線が円弧の内側にはいるほど消弧長が短くなって、アーク安定性の面で好ましくない点がは握された。したがって、電源のアーク溶接機としては、百分率外部特性曲線をできるだけ円弧に近づける配慮が必要なわけで、以下に外部特性曲線の形状について考察を加えた点について述べる。

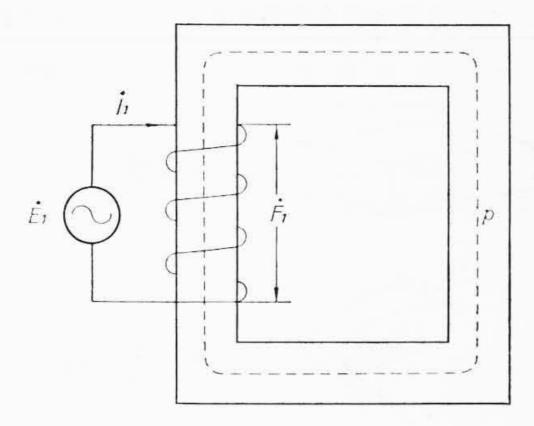
第4表 試料間平均值有意差検定結果

棒種	B-14		TH	3-24	RM	1-53	L B-26		
項 目 (mm)	3.2	4.0	3.2	4.0	3.2	4.0	3.2	4.0	
F 值	27.55	4.96	24.2	4.96	3.26	4.82	5.27	3.32	
有意差の有無	有 (1%)	有 (5%)	有 (1%)	有 (5%)	有(5%)	有 (5%)	有 (5%)	有(5%)	

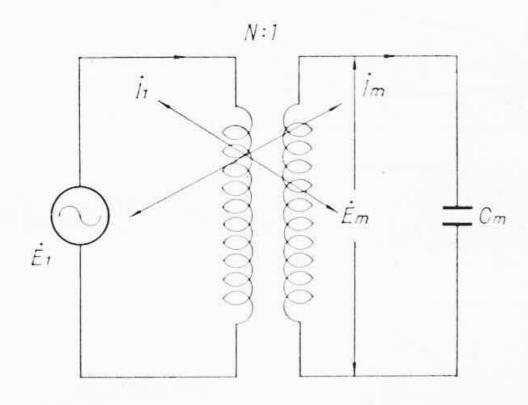
(注) F_0 $_{25}^2 = \frac{5.57(1\%)}{2.39(5\%)}$ にて検定した。

第3表 消 弧 長 比 較 実 験 結 果

棒種			B-14			TB-24		RM-53			LB-26				
棒径	消弧!	į.	試料番号	I	п	Ш	I	п	III	I	П	III	I	П	Ш
	最 大		値 (mm)	29.0	22.5	25.5	28.0	20.5	25.0	29.0	27.0	25.0	16.0	14.0	14.0
3.2	最 小		值 (mm)	23.5	15.0	19.0	22.5	12.0	19.0	19.0	14.0	15.0	11.0	10.5	9.5
	平 均		値 (mm)	25.8	18.5	22.4	25.1	18.1	22.3	23.85	20.25	20.35	13.25	12.1	11.2
	最 大		值 (mm)	28.0	23.5	24.0	27.0	22.0	26.0	29.0	26.0	25.0	16.5	14.0	15.5
4.0	最 小		値 (mm)	21.0	17.0	18.0	19.5	18.0	18.5	20.5	13.0	19.0	10.5	7.5	6.0
	平均		値 (mm)	24.3	20.25	21.4	23.05	20.25	20.65	24.6	20.3	21.8	12.9	11.4	10.6



第11図 基本的磁気回路



第12図 基本的磁気回路の等価回路

4.1 交流アーク溶接機の等価回路^{(5)~(7)}

4.1.1 磁気回路の電気回路への置換

いま, **第11**図に示す磁気回路を考えると, (3)式が成立する。すなわち,

$$\dot{E}_1 = N \frac{d\dot{\phi}}{dt}, \ \dot{F}_1 = N \dot{I}_1 \dots (3)$$

ここに É1: 一 次 電 圧

 \dot{F}_1 : 起 磁 力

*i*₁: → 次 電 流

N: コイル 巻 数

∮: 鎖 交 磁 束

(3)式において、 $d\dot{\phi}/dt=\dot{T}$ とおくと、(3)式は直ちに(4)式に書き直せる。

$$\dot{E}_1 = N\dot{T}, \quad \dot{I}_1 = \frac{\dot{F}_1}{N} \quad \dots \quad (4)$$

また、電気回路の電圧、電流と対応させる意味において、(4)式中の \dot{F}_1 、 \dot{T} を磁圧および磁流と呼称することとし、これらを数値の等しい \dot{E}_m 、 \dot{I}_m に置換すると

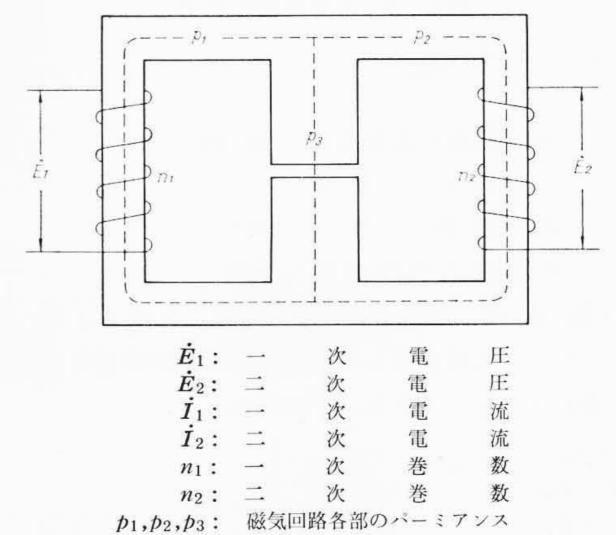
つぎに、磁気回路のパーミアンスを p とすれば、その定義から

$$p = \frac{\dot{\phi}}{\dot{F}_1} = \frac{\int \dot{T} dt}{\dot{F}_1} \quad \dots \tag{6}$$

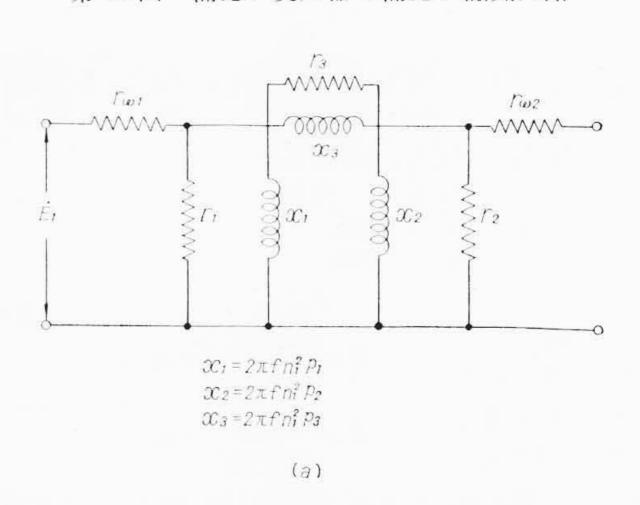
と表わされる。(6)式において、前と同様な置換を行なえば

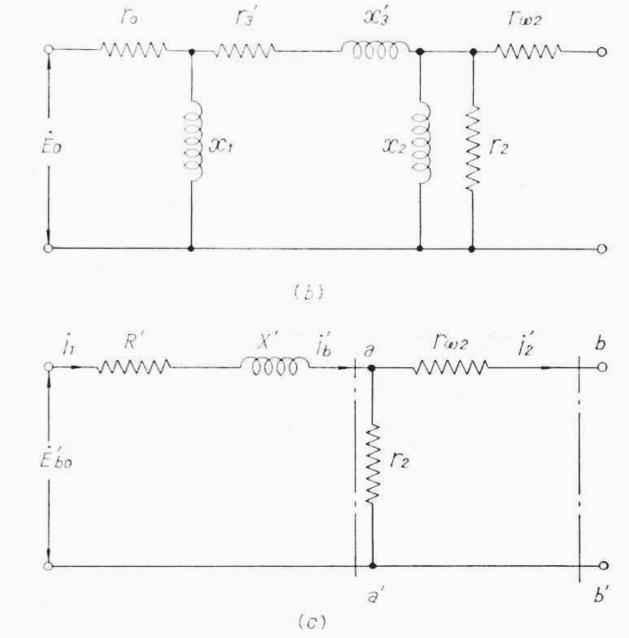
$$\frac{\int \dot{T} dt}{\dot{F}_1} \rightarrow \frac{\int \dot{I}_m dt}{\dot{E}_m} \qquad (7)$$

となる。ところで、(7)式の右辺は、その形から直ちにわかるように、端子電圧が \dot{E}_m で、充電々流が \dot{I}_m であるコンデンサの充電状態を表わすから、以上の置換によって、磁気的量のパーミアン



第13図 漏えい変圧器の漏えい磁気回路





第14図 漏えい変圧器の等価回路

スは、電気回路におけるコンデンサに置換しうることがわかる。 以上の考察によって、第11図の磁気回路を第12図に示すよう な電気的等価回路によって表わすことが可能になるわけで、図中 の矢印は、電気的量と磁気的量が互いに結合されていることを意 味する。

4.1.2 漏えい変圧器の等価回路

交流アーク溶接機に用いられる漏えい回路は, 第13回に示すようなものがごく一般的なものであって,これに4.1.1で述べた置換法を適用すると,まず,第14回(a)の回路が得られる。図中において,

 $r_{\omega_1}, r_{\omega_2}$: 一次, 二次巻線の抵抗(一次側に換算したもの)

 r_1, r_2, r_3 : 鉄心の各対応部分における鉄損を一回巻の巻線の 銅損に置換した場合の抵抗値 r_i を,一次側に換算したもの H

であるが、 r_i は一般に(8)式で求められる。

$$r_i = \frac{12 \rho A}{d^2 l} \quad (\Omega) \dots (8)$$

ここに ρ : 鉄板の固有抵抗 $(\Omega-m)$

1: 鉄心の長さ (m)

d: 鉄板の厚み (m)

A: 鉄心の断面積 (m²)

第14図(a)は、回路の置換を行なうことによって、(b)を経て、(c)のように書き直しうるが、この際の諸量は以下に示す関係式で表わすことができる。すなわち

$$r_{0} = \frac{r_{1}r_{\omega_{1}}}{r_{1} + r_{\omega_{1}}}, \quad r_{3}' = \frac{r_{3}x_{3}^{2}}{r_{3}^{2} + x_{3}^{2}}$$

$$\dot{E}_{0} = \frac{r_{1}\dot{E}_{1}}{r_{1} + r_{\omega_{1}}}, \quad x_{3}' = \frac{r_{3}^{2}x_{3}}{r_{3}^{2} + x_{3}^{2}}$$
....(9)

$$\frac{\dot{E}_{b0}'}{\sqrt{\left\{1 + \frac{x_{3}'}{x_{2}} - \frac{r_{0}r_{3}'}{x_{1}x_{2}}\right\}^{2} + \left\{\frac{r_{0}}{x_{1}}\left(1 + \frac{x_{3}'}{x_{2}}\right) + \frac{r_{0} + r_{3}'}{x_{2}}\right\}^{2}}} }$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\frac{r_{0}}{x_{1}}\left(1 + \frac{x_{3}'}{x_{2}}\right) + \frac{r_{0} + r_{3}'}{x_{2}}}{1 + \frac{x_{3}'}{x_{2}} - \frac{r_{0}r_{3}'}{x_{1}x_{2}}}}$$

$$R' = \frac{Rx_2^2}{R^2 + (X + x_2)^2} \qquad R = \frac{r_0 x_1^2}{r_0^2 + x_1^2} + r_3'$$

$$X' = \frac{R^2 + X^2 + Xx_2}{R^2 + (X + x_2)^2} x_2 \qquad X = \frac{r_0^2 x_1}{r_0^2 + x_1^2} + x_3'$$
.....(11)

いま、(c)図において a-a' を短絡した場合、ここに流れる短絡電流を $\dot{I}_{bs'}$ とすれば

$$\dot{I'}_{bs} = \frac{\dot{E'}_{b0}}{R' + jX'} = \frac{E'_{b0}}{\sqrt{R'^2 + X'^2}} / - \beta$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{X'}{R'}$$
(12)

となり、また、任意の負荷時における a-a'間の電圧を \dot{E}'_{b} 、R' および X' に流れる電流を \dot{I}'_{b} とすれば、この際には、(13)式の関係が成立する。すなわち

したがって、(12)、(13)式から(14)式が導かれる。すなわち

$$\left| \frac{\dot{E}'_b}{\dot{E}'_{b0}} + \frac{\dot{I}'_b}{\dot{I}'_{bs}} \right| = 1 \dots (14)$$

ところで、一般にアーク負荷は純抵抗として取り扱うのが普通であるから、(c)図で、a-a'から右の負荷側は抵抗分のみとなり、それゆえ、 $1/\dot{E}'_{b0}$ と $1/\dot{I}'_{2s}$ とは β の位相差を有することとなる。したがって、横軸に電流を、縦軸に電圧を取ることとし、縦軸から β だけ傾いた新軸上に $\dot{I}'_{b}/\dot{I}_{bs}$ を、縦軸に $\dot{E}'_{b}/\dot{E}'_{b0}$ を取った上、これを直角座標系に描き直せば、これが百分率外部特性曲線となる。しかし、実際にはb-b'端子における電圧一電流特性が最終的なものとなるが、これには、(15)式の関係を利用して描き直すことが可能である。

$$\dot{I}'_{2} = \dot{I}'_{b} - \frac{\dot{E}'_{b}}{r_{2}}, \quad \dot{E}'_{2} = \dot{E}'_{b} - \dot{I}'r_{\omega_{2}}.....(15)$$

4.1.3 等価回路の溶接機への適用可否に対する検討

4.1.2に述べた等価回路を用いて、二次無負荷電圧、二次短絡電流および百分率外部特性曲線を計算するに当たって、もっとも重要な点は、漏えい回路のリアクタンス分 x_3 の算出法であるが、すでに第4図に示したように、溶接機の漏えい回路には、かなり大きな空げき部が含まれるから、まず最初に、この部分のパーミアンスを求める必要がある。空げき部のパーミアンス計算法とし

第5表 空げき部の仮定磁路形状とパーミアンス計算式

番号	仮 定 磁 路 形 状	パーミアンス計算式 (Wb/AT)
(1)	ϕ b	$P = \mu \frac{ab}{L}$
(2)	T2 T1 0	$P = \frac{2.3 \mu L}{\theta} \log_{10} \frac{r_2}{r_1}$
(3)	Ø L	$P\!=\!0.264~\mu L$
(4)		$P = \frac{2.3 \mu L}{\pi} \log_{10} \left(1 + \frac{2 T}{D} \right)$
(5)	D (I)	$P\!=\!0.077\mu D$
(6)		$P = \frac{\mu T}{4}$
(7)	B D D D	A-A' $P = \frac{\mu L(b-a)}{2.3C \log_{10} \frac{b}{a}}$ B-B' $P = \frac{2.3 \mu CL}{b-a} \log_{10} \frac{b}{a}$

第6表 特性値の計算,実測比較(二次電流最大)

特性	値項目	1	試 料	番号	I	п	ш
二次無負荷	計	算	値	(V)	81.9	81.3	81.4
	実	測	値	(V)	81.0	82.2	81.0
	計算	值/実	測値	(%)	101.0	98.9	100.5
二電	計	算	値	(A)	300.0	326.0	338.0
次流 短絡	実	測	値	(A)	311.0	310.0	309.0
絡	計算	值/実	測値	(%)	96.5	105.2	109.4
位相角	計	算	値	(度)	88.12	87.75	87.67
	実	測	値	(度)	86.50	86.21	86.13
	計算	值/実	測値	(%)	101.9	101.8	101.8

ては,等角写像法,磁界描写法,仮定磁路法そのほかがあるが,空げき長の小さい点を勘案し,今回は,空げき部を数個の磁路に分割した上,簡便な割に精度もよく,実際的であるといわれている仮定磁路法によって分割各部のパーミアンスを求め,これらを合成して空げき全体のパーミアンスを算出することとした。磁路を分割する際には,種々の形状のものが現われるが,用いた仮定磁路形状と,その計算式を第5表に取りまとめて示しておく $^{(5)}$ 。なお,計算式中の μ は磁路材質の透磁率である。

(8)式によって各磁路に対する r_i を求め,第5表の計算式を用いることにより各部のリアクタンス分 x_1 , x_2 および x_3 を計算した上,実験に供した3試料について,二次無負荷電圧,二次短絡電流および位相角を最大電流位置について計算した。これらの

計算結果を実測値とともに取りまとめて示したものが**第6表**であって、この結果を見ると、二次短絡電流の計算値と実測値の開きがやや大きく、計算式から考えて漏えいリアクタンスの計算法に考慮の余地があるものと思うが、特性値全般について考えれば、一応等価回路の適用は可能なものとみなしうる。

4.2 等価回路による百分率外部特性曲線形状の検討

4.1.3の検討によって、4.1.2に述べた等価回路が交流アーク溶接機に対しても適用しうることが確認されたので、本節では、良好な百分率外部特性曲線をうる上において留意すべき点を、等価回路を用いて一、二検討を加えてみる。

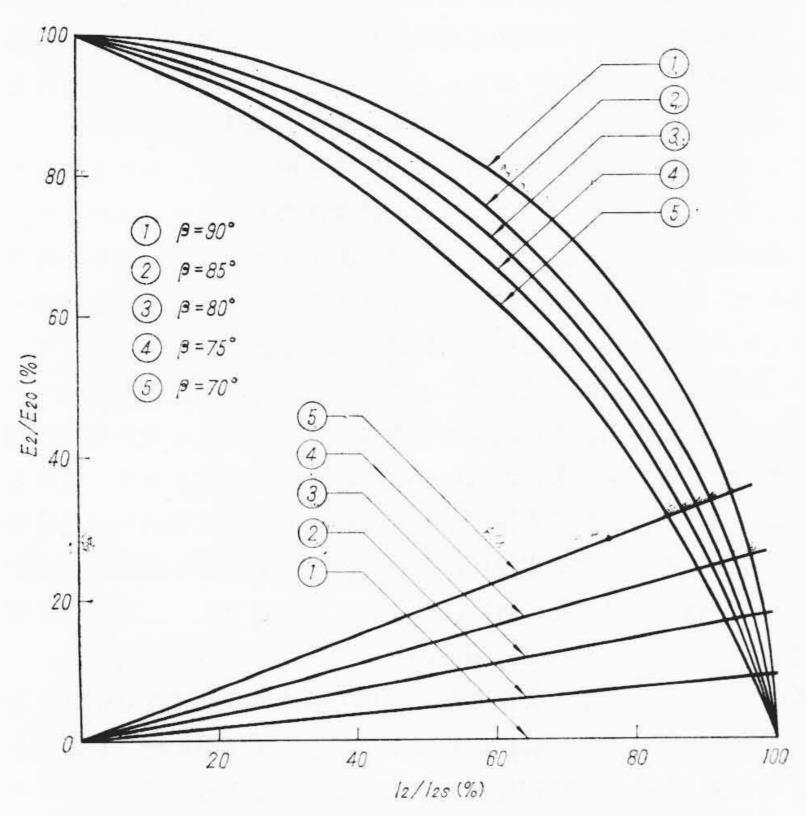
4.2.1 位相角βの影響

等価回路によって百分率外部特性曲線を求める場合,その計算手順からみて,まず,位相角 β を考察の対象にあげる必要がある。厳密には,(12)式によって検討せねばならないが,簡単のため以下のような簡略化を行なう。すなわち,溶接機では一般に, $r_1\gg r_{\omega 1}$, $r_3\gg x_3$ なる条件が成立するから,(11)式中のR, Xの近似式として,(16)式が得られる。

 $R
ightharpoonup r_{\omega_1}$, $X
ightharpoonup x_2$ に比し x_3 を無視することによって、(12)式中の β は結局(17)式のように近似、簡略化しうる。すなわち

$$\beta = \tan^{-1} \frac{x_3}{r_{\omega_1}}$$
(17)

以上のように簡略化を行なうことで、位相角 β は、一次巻線の抵抗 $r_{\omega I}$ と、漏えい回路のリアクタンス x_3 の関数として表わすことができた。漏えいリアクタンス x_3 は、もちろん各電流値で異なり、二次電流が増すにつれて、その大きさは減少するから、一次巻線抵抗値を一定と考えれば、二次電流の大きいほど β は小さくなり、したがって、百分率外部特性曲線は次第に円弧の内側にはいってくる。一方、二次電流を固定し、一次巻線の抵抗値の影響について考察すると、この場合には、抵抗値の大きいほど円弧の内側へはいるようになる。第15 図は、 $70\sim90$ 度の範囲内の β に対する、百分率外部特性曲線の変化の様子を図示したものであるが、 β が 75 度以下になると、百分率外部特性曲線は、かなり円弧の内側にはいり、徐々に直線に近付いて行くことがわかる。ところで、第6表中に一例の示されている位相角の値を見ると、



第15図 位相角と百分率外部特性曲線の関係

計算値はほぼ88度程度であり、実測値も86~86.5度程度になっており、したがって、第15図の関係から、この程度の位相角におさまっている限りにおいては、百分率外部特性曲線の円弧からの隔たりはかなり小さくなる。溶接機の場合には、その巻線径あるいは巻線長から考えて、一次巻線の抵抗値が極端に大きくなることはほとんど想定できない。したがって、以上の検討結果から、位相角 β の影響で、百分率外部特性曲線が円弧の内側へ極端にはいって、アークを不安定にさせることは、ほとんど心配する必要はないといいうる。

4.2.2 漏えいリアクタンスの影響

4.2.1 においては、等価回路を用いることによって、百分率外 部特性曲線に対する位相角の影響について検討を加え,一次巻線 の抵抗を主に扱った。ところで、交流アーク溶接機では、可動鉄 心の移動によって漏えいリアクタンスを変化せしめているため、 二次電流が比較的小さく,漏えい磁束の多い場合にも,空げき部 のパーミアンスに比し、可動鉄心部のパーミアンスを無視しても さしつかえないか否かは疑問の残るところである。このような場 合の計算例として, 可動鉄心がもっとも固定鉄心内にはいってい る二次電流最小の場合について、まず、4.1.3に述べたと同様 な方法, すなわち, 空げき部の漏えいリアクタンスのみを考慮し て, 二次無負荷電圧, 二次短絡電流および位相角を計算した。こ の計算結果を実測結果とともに示したものが第7表である。この 結果を第6表の例と比較すると、位相角を除き二次無負荷電圧、 二次短絡電流とも明らかに計算値と実測値の差が大きく,特に, 漏えいリアクタンスに大きく影響される二次短絡電流の差異が著 しくなっている。しかも、この傾向は、いずれの試料についても 現われており、計算値が実測値よりも小さく、明らかに鉄心部の パーミアンスを無視し得ないことを現わしているものと考えられ

鉄心部のパーミアンスも、前述の空げき部のそれと同様、仮定 磁路法で求め得られ、同時に、空げき部に比し、その形状を限ら れたものに限定しうる。しかし、第5表中の(7)ような台形断面 磁路では、透磁率が位置によって異なるため、表中の計算式はそ のまま使えない。この場合、透磁率の変化状態を適確に数式で表 わすことは、必ずしも容易ではないが、一応、距離に対し指数関 数的に変化するものと、距離に比例して変化するものの二つに近 似しうるので、かかる際のパーミアンス計算式を求めた。

(a) 透磁率が距離に対し指数関数的に変化する場合

磁路形状および各部の寸法を 第 16 図 のとおりとし、左端面からxの点の透磁率 μ_x を

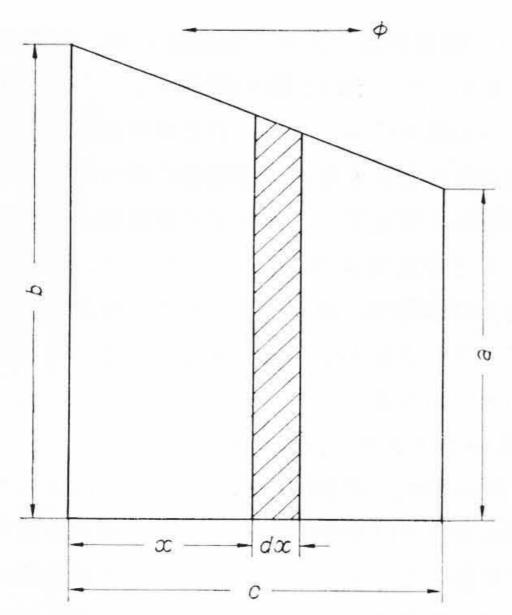
 $\mu_x = me^{-nx}$

で表わす。磁路の幅をLとすれば、dx部分の磁気抵抗drは

第7表 特性値の計算実測比較 (二次電流最小 空げき部のパーミアンスのみ考慮)

寺 性	値項目	活 1	料	番号	I	п	ш
二次無負荷	計	算	值	(V)	75.5	67.0	72.9
	実	測	値	(V)	73.5	75.0	76.2
	計算	值/実測	値	(%)	102.7	89.3	95.7
一雷	計	算	値	(A)	47.9	23.0	37.2
二電 次流 短 絡	実	測	値	(A)	62.0	50.0	47.0
洛	計算	值/実測	值	(%)	77.3	46.0	79.2
位相	計	算	値	(度)	89.57	89.45	89.45
	実	測	値	(度)	88.47	88.50	88.92
角	計算	値/実測	値	(%)	101.2	101.1	100.6

日



第16図 透磁率の変化する台形断面磁路

$$dr = \frac{cdx}{me^{-nx} \left\{bc - (b-a)x\right\}L}$$

したがって、磁路全体の磁気抵抗 r は

$$r = \frac{c}{mL} \int_0^c \frac{dx}{e^{-nx} \{bc - (b-a)x\}}$$

$$= \frac{c}{mL(b-a)e^{-kbc}} \left\{ ln \frac{b}{a} - kc(b-a) + \frac{k^2c^2}{2 \cdot 2!} (b^2 - a^2) - \frac{k^3c^3}{3 \cdot 3!} (b^3 - a^3) + \cdots \right\}$$

それゆえ、パーミアンス pの計算式は(18)式となる。すなわち

$$p = \frac{mL(b-a)}{ce^{kbc} \left\{ 2.3 \log_{10} \frac{b}{a} - kc(b-a) + \frac{k^2c^2}{2 \cdot 2!} (b^2 - a^2) - \frac{k^3c^3}{3 \cdot 3!} (b^3 - a^3) + \cdots \right\}}$$
......(18)

 $CCK m = \mu_b$

$$n = \frac{2.3}{c} \log_{10} \frac{\mu_b}{\mu_a}$$

(b) 透磁率が距離に比例して増加する場合

この場合, 第16図の右端面からxの点の透磁率 μ_x は

$$\mu_x = \frac{\mu_b - \mu_a}{c} x - \frac{b\mu_a - a\mu_b}{b - a}$$

と表わされる。磁路の幅をLとすれば、dx部分の磁気抵抗 dr は

$$dr = rac{cdx}{L(b-a)(k_1x+k_2)x}$$
 $\subset \subset \mathbb{Z}$
 $k_1 = rac{\mu_b - \mu_a}{c}$
 $k_2 = rac{b\mu_a - a\mu_b}{b-a}$

したがって、磁路全体の磁気抵抗 r は

$$r = \int \frac{\frac{bc}{b-a}}{\frac{ac}{b-a}} \frac{cdx}{L(b-a)(k_1x+k_2)x}$$

$$= \frac{c}{L(b\mu_a-a\mu_b)} \ln \frac{b\mu_a}{a\mu_b}$$

それゆえ、求めるパーミアンス計算式は(19)式となる。

$$p = \frac{(a\mu_b - b\mu_a)L}{2.3 c \log_{10} \frac{a\mu_b}{b\mu_a}} \qquad ... \tag{19}$$

以上に示した(18), (19)式を第5表内に示したパーミアンス計算式に含めることによって、漏えい磁路鉄心内のパーミアンスの計算が可能となる。かかる計算法によって鉄心内パーミアンスを

第8表 特性値再計算結果 (二次電流最小鉄心内パーミアンスを含む)

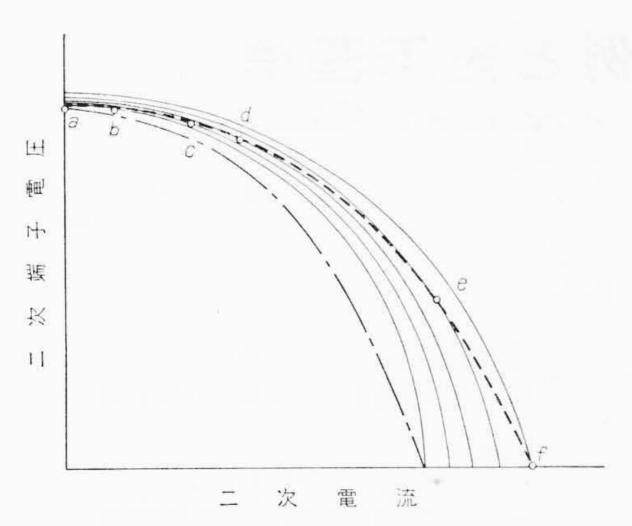
	値 項		式 料	番号	I	П	Ш
二荷 電	計	算	値	(V)	76.9	75.8	75.2
二荷 次電 無負	計算	值/実源	則値	(%)	104.5	101.0	98.7
二絡 欠電 短流	計	算	値	(A)	58.0	53.4	50.1
	計算	值/実涯	則値	(%)	93.5	106.6	106.5

求め、これを含めて漏えいリアクタンスを算出し、二次電流最小点の特性値を再度計算した。その結果が**第8表**である。

第8表の結果を先の第7表の結果に対比せしめて見ると、試料 I の二次無負荷電圧の計算値と実測値の比が、102.7%から 104.5%に変わって、計算値と実測値の差がやや大きくなった以外は、すべて第8表に示した結果の方が、良好な結果を与えている。以上の再計算の結果から、第7表に例示した例で、計算値と 実測値にかなりの開きが生じたのは、等価回路に問題があるのではなく、漏えいリアクタンスの計算に当たって、鉄心内パーミアンスをも含めるか否かの点に問題があったものであることが理解できる。

以上のような検討によって、可動鉄心と固定鉄心のラップ量が大きく、漏えい磁束の大きい、二次電流の小さい範囲では、鉄心部のパーミアンスを空げき部のそれに比し、あながち無視し得ない場合のあることが明らかで、今回は紙面の関係で、種々の電流値についての検討結果を述べ得ないが、消弧長実験時の電流値における特性値も、かかる考え方を取り入れることによって、計算値と実測値は非常によい一致を得ている。

これまでは, 二次無負荷電圧, 二次短絡電流あるいは位相角とい った、どちらかといえば一義的に定まる特性値についての検討に立 脚して,鉄心内のパーミアンスの影響について考察を進めて来た が、最後に、百分率外部特性曲線に対する漏えいリアクタンスの影 響について考察した点を述べてみる。上述のように,漏えい磁束の 大きい範囲では、漏えいリアクタンス中に鉄心内のパーミアンスを 含める必要があるわけであるが、これは、あくまで、二次短絡状態 が基準となっている。ところで, 可動鉄心をある一定位置に固定 し, その点で二次側の負荷状態を変え, 二次電流を変化せしめた場 合を想定すると、この際には、二次電流の大きさにしたがって、漏 えい磁束も必然的に変化し,鉄心内の磁束密度が変化する。それゆ え,鉄心内のパーミアンスも当然変化するが,この場合,二次短絡 時におけるパーミアンスがもっとも小さく, 二次電流が小さくなる につれて、大きくなって行く。もし、漏えい回路空げき部のパーミ アンスに比べ、鉄心内のそれが無視しうる場合には、かかる変化が あっても、漏えいリアクタンスは空げき部のパーミアンスのみで, 一義的に定めうるから、4.1.3に述べた方法で単一の計算を行なう のみで, 百分率外部特性曲線を規定できる。ところが, 鉄心部のパ ーミアンスを無視し得ない場合には,二次電流全範囲にわたって, 一つの外部特性曲線で表わすことが困難となり、第17回に示すよ うに,外部特性曲線を形成する各点は,すべて異なった外部特性曲 線で規程されたa, b, c, d, e, f のような各点となり, これら の点を結んで得られる点線で示した曲線が、実際に求められるもの となる。この際, 二次電流の小さい間は, 磁束密度も比較的小さい ため,一番内側の曲線に近い軌跡をたどるのに対し,二次電流が短 絡電流に近付くにつれて、漏えいリアクタンスは急激に変化し、一 番内側の曲線との差が大きくなって横方向に伸びたような形状とな る。これを百分率外部特性曲線で表わすと、横軸が短縮された形と なって第17図中の鎖線で示したような曲線となるのである。この ような考え方に立脚し,鉄心内のパーミアンスを考慮する必要のあ



第17図 漏えいリアクタンスが変化する場合の 外部特性曲線説明図

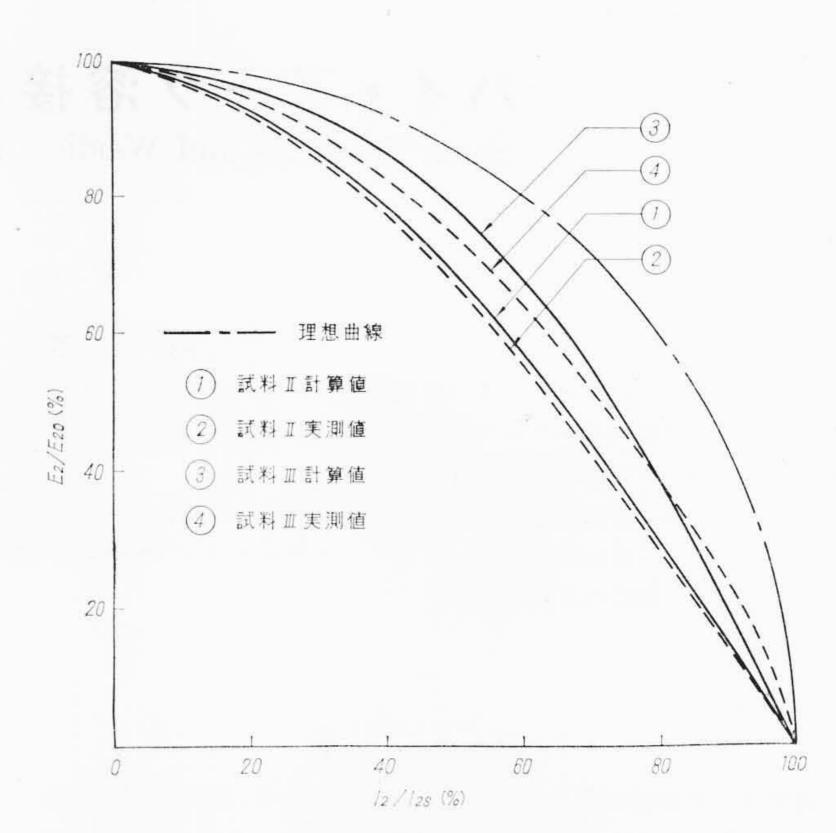
る例として,試料Ⅱ,Ⅲの電流最小時の百分率外部特性曲線を計算結果をもとに作図して求めたものが,第18図中の実線で示した曲線であって,これを図中に点線で示した実測結果に比べると,かなり近似した結果が得られたものと考えうる。

以上述べてきた種々の検討、考察により、漏えい回路内の可動鉄心の挙動は、安定なアーク溶接を行ないうるよう溶接機の特性を良好ならしめる上に重要な位置を占めるものであることが理解し得たものと考える。

5. 結 言

以上, 交流アーク溶接機の外部特性とアーク安定性に関し, 実験 考察したが

- (1) 消弧長の比較判定によって、溶接機の外部特性とアーク安定性の関連性について実験、検討した結果、定量的には今後の研究に待つべき点が残されたが、アーク安定度を高めるには、溶接機の百分率外部特性曲線を円弧に極力近付ける必要があること。
- (2) 漏えい変圧器の等価回路を可動鉄心形アーク溶接機に適用 して考察を進めた結果,溶接機の電気的特性,特に,アーク安定 度に密接な関係のある外部特性曲線には,漏えい磁路を形成する 可動鉄心の挙動に十分留意する必要があること。



第18図 漏えいリアクタンスの変化を考慮して 計算した百分率外部特性曲線

の二点がは握された。

溶接アーク現象には、関係要因が多く、今回の研究もその一端に触れたに過ぎない。今後は、これら基礎的な面の研究をさらに進めるとともに、安定なアーク溶接の可能なアーク溶接機の開発に向かって、研究を進める所存である。

参考文献

- (1) 安藤: 交流アーク溶接機, 5 (昭33, 電気書院)
- (2) 杉原, 菊地, 矢田: 溶学誌, 28, 642 (昭 34-9)
- (3) 吉田, 阿部, 尾上: 溶学誌, 28, 682 (昭 34-9)
- (4) 大紫,清水: 溶学誌, 32, 231 (昭 38-3)
- (5) 高井, 天野: 電学誌, 74, 785 (昭 29-7)
- (6) 尾本, 宮本訳: 磁気回路と変圧器(マサチュセッツ工業大学編)
- (7) 高井: オーム, 39, 75 (昭 27-11)
- (8) 石黒, 坪島, 宮川: 交直マグネットの応用と設計, 25 (オーム社)

Vol. 24

日 立 造 船 技 報

No. 2

- 疲 れ が 切 欠 き じ ん 性 に 及 ぼ す 影 響
- ・熱交換器用管板の強さに及ぼす管穴ピッチの影響・半組立形クランク軸の曲げ強さ(第1報)
- ・ 干組 立 形 ク フ ン ク 軸 の 曲 の 強 さ (第1報 ・ 流 動 層 に お け る 流 動 イ
- 特殊金属材料に関する研究(第1報)
- 特殊金属材料に関する研究(第1報)
 一超 耐 塩 酸 合 金――
- 小形船船型における模型船と実船との相関関係および推 進性能に及ぼすトリムの影響
- ・水門とびら下部形状に関する実験的研究・海水管の防汚方法
- 原油・重油の放射線 しゃへい特性 (第1報) ——フリツケ法によるガンマ線量測定法——
- ・ドック中における塗装工程の短縮
- 日 立 B & W ディーゼル機関の歩み

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之町60