

の含銅鋼の表面疵の防止に多少の良効果を示す。

(2) 0.2% Ni 添加は 0.5% Cu 鋼の表面疵を完全に防止し、0.8% Cu 鋼に対しても相當の効果がある。

(3) 0.3% Ni 添加は 1.0% Cu 鋼の表面疵を殆ど完全に防止する。

(4) 0.5% Ni を添加せば 1% Cu 鋼は勿論 1.5% Cu 鋼の表面疵も或程度軽減し得る。

(5) Cu 2.0% 以上を含有する含銅鋼の表面疵は Ni を 0.5~1.2% 添加しても防止し得ず。

4. 鍛錬温度を 1,090°C 以下とせば Cu 1.5% 以下の含銅鋼の表面疵は或程度防止し得る。

5. 2.0% Cu 鋼にては Ni を 0.5% 添加し 1,090°C 以下の温度にて加熱鍛錬するか Ni を 0.3% 添加の場合にては加熱温度を 1,050°C とすれば表面疵を防止し得る

6. 以上の試験結果は Fe-Cu 状態圖に依り説明出来る終りに本實驗に際し鋼塊試料製作責任者根守侃氏に謝意を表す。

### 参 考 文 獻

- 1) 兒玉, 小平; 製鐵所研究所研究報告 Vol. VIII, No. 1. 昭和3年
- 2) J. L. Gregg and B. N. Daniloff; "The Alloys of Iron and Copper" 1934, p. 77-85
- 3) 同 上 p. 90-97
- 4) F. Nehl; St. u. E. v 53, 1933, s. 773-779
- 5) C. E. Williams; Blast furnace and steel plant, Vol. 25, 1938, p. 391-394
- 6) C. H. Lorig; Am. Inst. Min. Met. Eng. (Iron and Steel Division) Vol. 105, 1933, p. 165-167
- 7) C. E. Williams and C. H. Lorig; Metals and Alloys Vol VII, 1936, p. 62-63.

## 電弧熔接用被覆劑の電弧現象に及ぼす二三の特性 (第2報)

### 最も適當なる電弧電流の決定法に關する研究

(日本鐵鋼協會第 18 回講演大會講演 昭和 12 年 10 月)

柴 田 晴 彦\*

#### SOME EFFECTS OF WELDING FLUX ON WELDING ARC.

(A New Method Proposed for Determination of Arc Current)

H. Shibata.

**SYNOPSIS:**—It is naturally of great importance that a good electrode should be used in order to obtain satisfactory results in electric arc welding. For functioning the electrode to a full scope, its manipulation must be altered in accordance with its characteristics, whilst the welding operation must be done with such arc current as to be the most suitable for the properties and diameter of the electrode, the thickness of the base metal, etc. In practice, however, the selection of welding current which is adapted for the welding condition is often neglected, and in many cases is left to the discretion of the operators.

The author has found, in his course of study on the deposit of the electrode, the fact that even under the same welding conditions the number of instantaneous short-circuits of arc varies according to the amount of arc current. Starting from this fact, he has made it clear by experiments that the best welding effects are made by the amount of arc current which causes the maximum number of instantaneous short-circuits.

In the present paper, the author proposes a simple method as obtained from these results of determining the value of arc current which may become a standard in actual welding, when the arc voltage, the diameter of the electrode and the thickness of the base metal are taken into consideration.

#### 目 次

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 緒言 (研究の目的)</li> <li>2) 實驗の方法</li> <li>3) 電弧の短絡時間と電弧電壓との關係</li> <li>4) 電弧の短絡回数と電弧電流との關係</li> <li>5) 電弧の短絡回数と極性との關係</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>6) 電弧の短絡時間と電弧電流との關係</li> <li>7) 最も適當なる電弧電流と電弧電壓との關係</li> <li>8) 最も適當なる電弧電流と母材の厚さとの關係</li> <li>9) 最も適當なる電弧電流と電極棒の熔解時間との關係</li> <li>10) 熔着金屬の窒素含有量と電弧電流との關係</li> <li>11) 熔着金屬の見掛けの比重と電弧電流との關係</li> <li>12) 銜合接手の抗張強及衝擊値と電弧電流との關係</li> <li>13) 總 括</li> </ol> |
|--|---|

\* 鐵道大臣官房研究所技師

## 1. 緒言 (研究の目的)

電弧熔接法に依て満足す可き結果を得る爲には設計並に施工上に於て、本法の本質を充分理解した細心の注意が必要缺く可からざるものである事は勿論であるが、實際問題として優良な電極棒を選擇使用する事は電弧熔接法を應用する上に於て最も重大な事柄である。即ち如何に優秀な設計と充分な設備とを以て更に之に加へるに教養を経た、信賴す可き技倆を有する熔接手をして作業に當らしめても、凡劣な電極棒を使用せしむるが如き事を敢てしては充分なる結果を期待する事は到底不可能である。故に電弧熔接の實際作業に當ては優良な電極棒を選擇使用する事は熔接結果を左右する決定的要素ともなる最も重要な事柄である。

然乍ら如何に優秀な電極棒と雖も其の使用方法 (Manipulation) と電弧電流 (熔接電流) とが適當でなければ、満足す可き熔接効果を期待する事の出来ないのは言を俟たないところである。電極棒の使用方法は完全な熔着と充分な熔滓の離脱とを目的とした適當な運棒法に依て決定さる可きであるが、電弧電流の方は從來の習慣に依ると熔接手の手加減で其の場合々々に應じて決定せられてゐるのが一般の状態である。優秀な技倆を有する熔接手が使用電極棒に對して充分訓練されてゐる場合に於ては斯様な手加減に依る方法も一概に排斥す可きでないかも知れないが、如何なる場合に於ても之で常に信賴するに足る結果を得るものとは思はれない。

而も此の電弧電流の値は熔接結果に對して重大な影響を與へるものであつて、母材の厚さ及接手形式等が決定すれば使用電極棒に對しては只一つの最も適當した電流値が存在し、電弧電流は此の値より多くとも又少くとも熔接結果は満足す可きものとはならないのである。本研究は豫て行て居た電極棒の熔着機構の研究中電弧の瞬間的短絡現象より一つの着想を得て、之より與へられた電極棒に對して最も適當なる電弧電流値を熔接手の手加減に依る事なしに決定し得る簡便なる基準を提唱せんとするものである。

## 2. 實驗方法

研究の順序として先づ直流電弧に依る實驗を行ひ是等に關する種々の事項を究明した後、交流電弧の場合に就て前者と比較對照して兩者に相違があれば之を明らかにする方針をとつた實驗に用ひた直流電弧熔接機は 9kW の

他勵磁差働複捲式の電動發電機型のもので、交流電弧熔接機としては可動鐵心型の開路電壓の比較的高い 23kV のものを選んだ。又使用電極棒としては市販の被覆電極棒もあるが、是以外は主として次の如き化學成分を有する東京製鋼株式會社の白印を心線として用ひた。

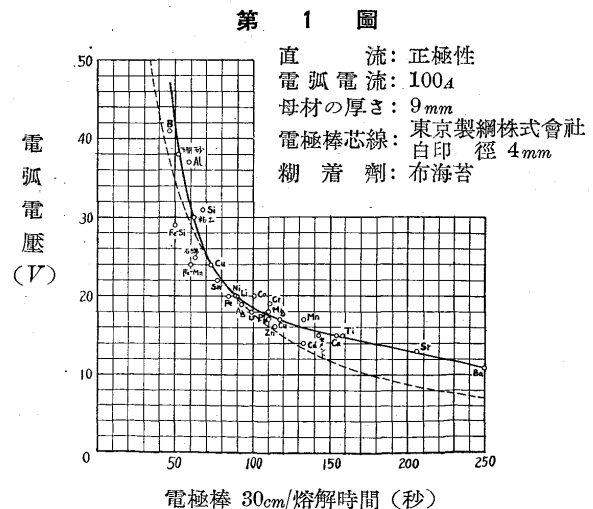
C	Mn	Si	P	S
0.07%	0.38%	0.02%	0.03%	0.013%

供試被覆劑としては其の場合々々に應じて適當な化合物を選び、是等を水硝子を糊着劑として上記の電極棒の表面をよく磨いたものの上に塗布し單一成分の被覆棒を製作した。母材として實驗に用ひた鋼板は總て SR 39 の軟鋼材で厚さは 9, 13, 19 及 25mm の 4 種とし是等を 300×300mm の大きさに切斷して使用した。

尙熔接方法は前報告<sup>1)</sup>に於て述べたと同様な理由から、手熔接に依り下向きの位置に於て母材の表面にシングルビードを約 10mm の間隔で並列に熔着し此の間隔に電弧に就て種々の測定を行た。

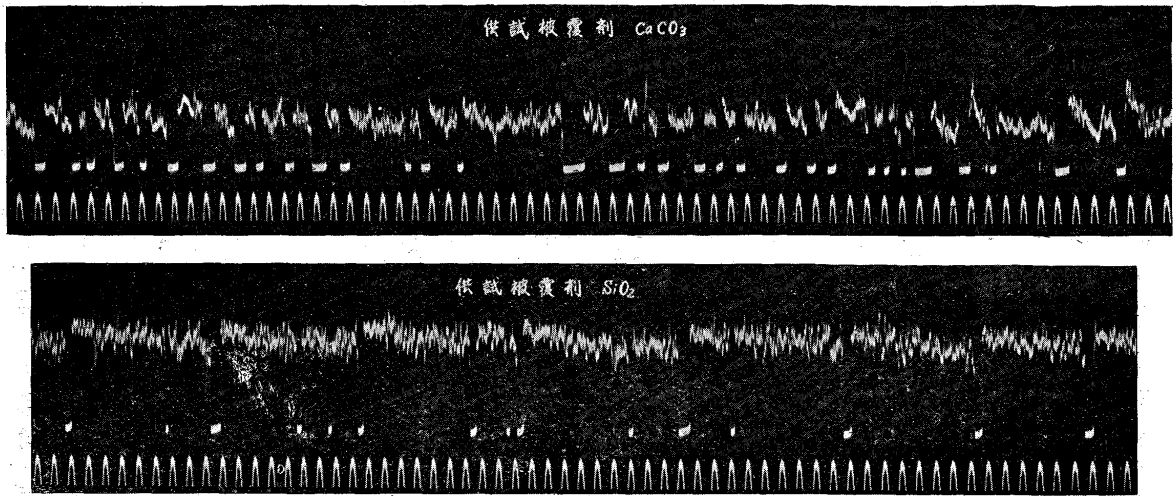
## 3. 電弧の短絡時間と電弧電壓との關係

電弧熔接用被覆劑として使用せらるゝ各種の化合物が夫々電弧電壓及電極棒の熔解時間に如何なる影響を及ぼすかを究明する爲、約 30 種の供試劑を個々別々に塗布した單一成分の被覆電極棒を使用せる直流電弧に依る實驗結果は第一報<sup>1)</sup>に於て報告した通りである。而して此の實驗結果



の第 1 項として述べた電弧電壓と熔解時間との關係に於て第 1 圖に示す如く電弧電壓の低き被覆劑を使用せる場合の熔解時間は點線で示した理論上の値より著しく増大して居るが此の原因として電弧電壓の低き場合には熔接中に於ける電弧の瞬間的短絡回数の増大せる事實をオッシログラムに依り説明を加へて置いた。

第 2 圖



然らば此の熔接中に於ける電弧の瞬間的短絡現象即ち電弧の瞬間的消滅時間の積算と電弧電圧との間には又何等かの関係が存在するものと考へられる。依て數種の異なる電弧電壓を有する被覆劑を供試電極棒心線に個々別々に塗布し、前項に於て述べた基本條件に依り直流 100A に於て一定母材の上に熔着し、此の各々の場合に第2圖の如き電弧電壓の變動を示すオッシログラムを撮影した。而して是等のオッシログラムより長さ 30cm の電極棒を途中電弧を中斷する事なしに熔解し終る迄に於ける、電弧の瞬間的短絡現象の積算即ち電弧の瞬間的消滅時間の總和を求めたる結果は第1表に示す通りである。

第 1 表

被覆劑の種類	電極電壓 (V)	オッシログラムより直接求めたる5秒間に於ける電弧の消滅時間の總和 (單位. 秒)	長さ 30 cm の電極棒の熔解時間 (單位. 秒)	電極棒 30 cm を熔着し終る迄に於ける電弧の消滅時間 (單位. 秒)
炭酸バリウム $BaCO_3$	正 11	2.14	250	107
酸化チタニウム $TiO_2$	正 15	2.07	158	65
炭酸石灰 $CaCO_3$	正 16	1.82	154	56
二酸化 $Mn MnO_2$	正 17	1.24	133	33
珪砂 $SiO_2$	正 31	0.30	68	4.1
G. E. 會社製電極棒 W. 22	正 30	0.24	70	3.3
〃	逆 24	0.54	85	9.2
アルミナ $Al_2O_3$	正 37	0.21	59	2.5
無水硼酸 $B_2O_3$	正 41	0.054	46	0.5

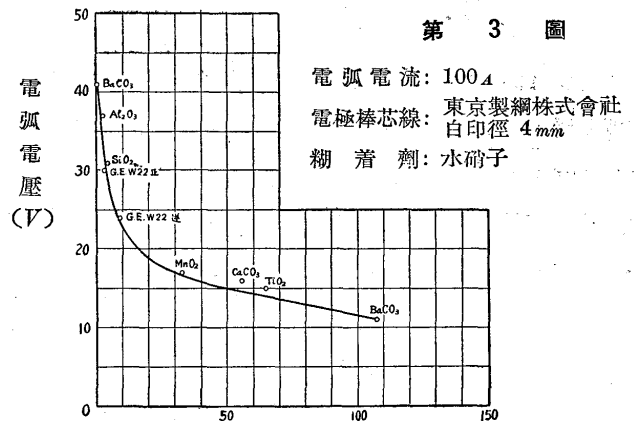
供試電極棒の心線：東京製網會社白印徑 4mm

電弧電流：100A

此の表に於て秒單位にて示したる5秒間に於ける電弧の消滅時間の總和とは、第2圖に掲げた如きオッシログラムより直接求めた電弧の瞬間に短絡したる時間(電弧電壓の

零となつた瞬間)の總和であつて 30cm の電極棒の熔解時間とは電極棒 30cm を母材上に熔着し終る迄に要した時間を秒單位で實測した値である。此の二つの實測値より電極棒

第 3 圖

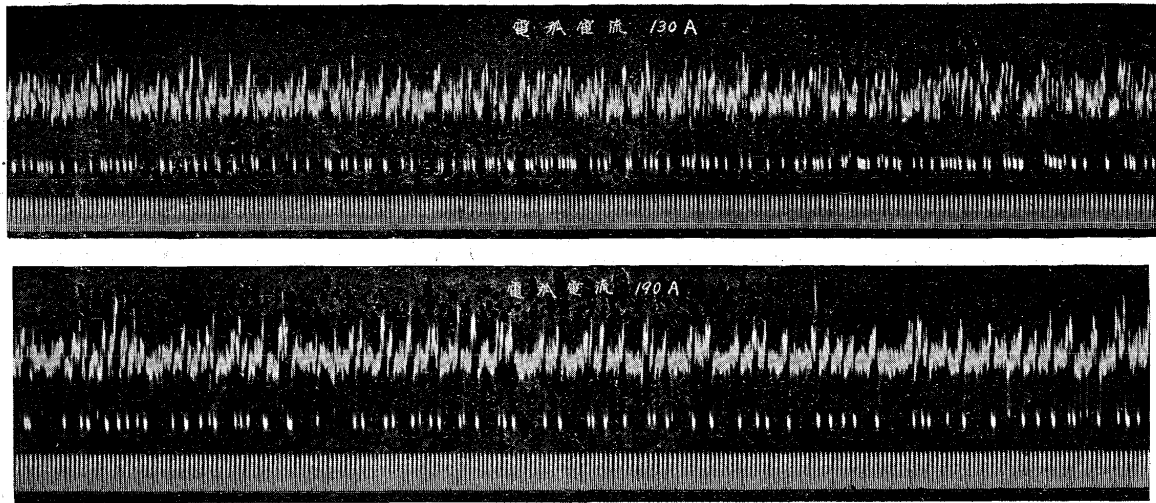


電極棒 30cm 1 熔解時間中に於ける電弧の消滅時間(秒)

30cm を熔着し終る迄の時間中に於て電弧が瞬間的に短絡(消滅)した時間の總和を求めたる結果は本表の右側の欄に示した數値である。而して此の電弧の消滅時間を横軸に電弧電壓を縦軸に採て兩者を圖示すれば第3圖に示す如き曲線が得られる。即ち是に依り一定長の電極棒を途中電弧を中斷する事無しに熔着し終る迄の時間中に於て電弧電壓の高きものは瞬間的短絡の現象は甚だ少いが夫より電弧電壓の低きものになるに従ひ急激に瞬間的短絡時間の總和は増加してゐる。即ち此の事實は電弧電壓の低き電極棒は高きものに比較して理論上の値\*よりも著しく熔解時間の長い理由に對して充分な説明を加へてゐるものと考へられる。

\* 各供試被覆劑を電弧中に於て分解氣化せしむ可きエネルギーは電極棒を熔解せしむ可きエネルギーに對して省略し得るものと見做せば、電弧電流が一定である以上熔解時間電弧電壓=常數である可きに依り此の兩者は正雙曲線的關係にある(第1圖の點數で示したもの)。

第 4 圖



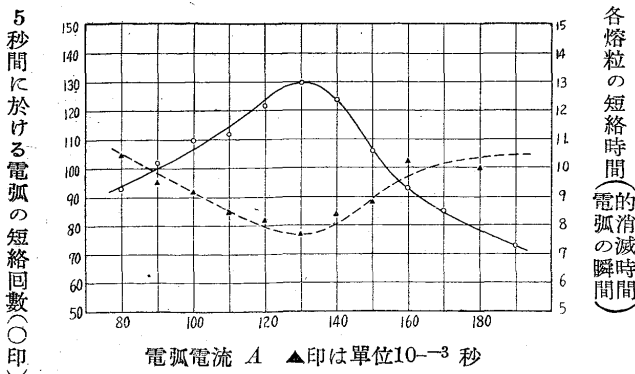
4. 電弧の短絡回数と電弧電流との關係

前項に於て述べた結果は電弧電流を 100A に一定した場合の電弧の瞬時的短絡現象に関する實驗であるが、斯かる短絡現象は同一電極棒に於ても電弧電流の値により著しく影響を受くるものである事が認められる。而して此の短絡現象に関する研究は A. Hilpert<sup>2)</sup> 氏の文献にも見られるが、單に電弧電流により變化すると云ふ程度で他に纏つた研究結果は未だ發表されてゐない。依て供試電極棒として東京製綱株式會社の白印徑 4mm 棒を撰び直流正極性に於て 70A より 190A に至る種々なる電弧電流に於て熔接を行ひ、其の各々の場合に於ける電弧の短絡回数をオッシログラムにより測定比較した。此の場合母材として 9mm の軟鋼板を用ひ又熔接中オッシログラムのドラムの送り速度は成る可く長い時間中の短絡回数を求める爲比較的遅くした。斯くして撮影した第4圖の如きオッシログラムより5秒間に於ける電弧の短絡回数を計算して得た結果を圖示すれば第5圖(實線)の通りである。此の結果より明かなる如く

値に達し、此の値より電流が大又は小となるに従ひ短絡回数も亦減少してゐる。即ち直流正極性に於て電弧電壓 17V の供試電極棒は、電弧電流 130A に於て1秒間に 26 回位熔粒が母材に熔着する爲其の回数丈電弧は瞬時的に消滅してゐる事が認められる。

而して斯くの如く電弧の短絡回数の多い事は其の瞬間に熔着する熔融金屬の小なる事を示すものであると考へられる。即ち直径 4mm 長さ 30cm の供試電極棒の 130A に於ける熔解時間を 80 秒とすれば、是を中途電弧を中斷する事無しに全部熔着した場合に生ずる電弧の短絡回数は  $80 \times 26 = 2,080$  回となる。従てこの電極棒 1本の重量を 30g (1g/cm) とすば各々の短絡による熔融金屬量は平均して  $30g / 2,080 = 0.014g$  である。然るに電弧電流を 190A に増加した場合には其の短絡回数は平均して毎秒 14 回位に減少し又電極棒の熔解時間は 50 秒となるから、電弧の短絡回数は  $50 \times 15 = 750$  回となり従て各々の短絡に依る熔融金屬量は平均して  $30g / 750 = 0.040g$  で前者の約 3 倍となる。以上の考察より電弧の短絡回数の増加は各短絡毎に母材に熔着する金屬量の減少を示すものであるから、此の電極棒を直流正極性に於て使用した場合電弧電流 130A 附近に於て短絡する各熔粒金屬量は最少値を示すものと考へられる。従て同一極性、同一電弧長に於て電極棒の尖端より母材に斯かる熔粒を熔着せしむるに要するエネルギーは、瞬時的短絡回数の最大となる電弧電流を撰定した場合が最小となると言ふ事が出来る。故に電弧電流に於ける 1 個の熔粒を母材に熔着せしむるエネルギーが同一なる値をとるべき電弧長は、熔粒の最小なるに要する電弧電流即ち短絡回数の最大となるべき電弧電流に於て最大なる値を

第 5 圖 東京製綱白印徑 4mm 母材の厚さ(S.R. 39.9mm)



供試電極棒に依る電弧の短絡回数は 130A 附近に於て最大

長くとる事が考へられる。従て斯かる電弧電流を撰定する事に依り上向、堅向及横向熔接等に於て多少電弧長が瞬間的になることがあつても良く母材に熔粒を熔着せしめ得るものと考へられる。或る電極棒を使用する場合に之に對し適當なる電弧電流を撰定せざる場合、又は不良なる裸電極棒を使用する場合には短絡回数が少い爲熔着する各熔粒の重量は増加し、是を母材に熔着せしむるに要するエネルギーは増大する故之が電子流の力より大となれば熔粒は母材に熔着し得ざる事となり、堅向熔接等に於て生ずる所謂「鼻垂れ」と稱する現象となる。即ち裸電極棒の良否を堅向熔接の「鼻垂れ」の有無に依て判定し得るのは斯かる理由によるものである。

斯くの如く考へ來れば電弧の瞬間的短絡回数が最大となる電弧電流の値は、其の電極棒に對し最も適當な電流値であると言ふ一つの提案は左程不合理でない様に思はれる。然し乍ら斯くの如く短絡回数の多い事は短絡毎の熔着金屬が小なるため一定量の熔着金屬が電弧中に於て空氣と接觸する表面積は大となり、従て酸化、窒化がより多くなると言ふ事實<sup>3)</sup>が考へられる。然るに短絡の数が少くなり熔粒が大となれば一般に熔粒の熔着した次の瞬間は電弧長が長くなる爲電弧の不安定を招き爲に却て酸化、窒化の機會が多く、又短絡の数が小なる爲次に熔着する迄の時間が長くなり電極棒の尖端は高温の電弧に曝されて空氣の影響を著しく増大するものと思はれる。即ち J. H. Paterson<sup>4)</sup>氏が裸電極棒を種々な電弧電流に依て熔着した場合の酸素及び窒素の含有量を調査した實驗に依ても、一定の電弧電流の場合に是等の含有量は最小値を示す事を指摘してゐる。故に斯の如き考案を以てしては短絡回数を最大ならしむる電弧電流は不良なる結果を與ふるものなりと斷定する事は早計である。是等の事實に對しては實驗結果を以て電弧電流が熔着金屬に及ぼす影響を説明しない以上何等の意味をなさないから後段の記述に譲るが、茲では與へられた電極棒に最も適當なる電弧電流は電弧の短絡回数の最大となるべき値と見做して差支へないものと想定して論旨を進めて行く事にする。

偕て以上の事實は裸電極棒に就てのものであるから次に之に各種の被覆剤を塗布した場合に於ても同様な結果が得られるか否かを實驗して見る。之に使用する供試被覆剤として  $BaCO_3$ ,  $CaCO_3$ ,  $SiO_2$ , 等を選定し、是等を個々別々に基本條件に於て供試電極棒心線に塗布した。而して是等を直流正極性及逆極性に於て電弧電流を種々に變化して

熔接を行ひ、其の各々の場合に於ける電弧の短絡回数を裸棒に於けると同様に夫々オシログラムに記録測定した。此の結果は第2~4表に示す通りである。是等の結果より

母材の厚さ 9mm 電極棒の径 4mm				
供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A	
炭酸バリウム塗布	正	11	80	67
		11	100	67
		11	120	92
		12	140	105
		12	150	103
		12	160	91
12	180	56		

母材の厚さ 9mm 電極棒の径 4mm				
供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A	
炭酸石灰塗布	正	16	80	50
		16	100	57
		16	120	73
		16	130	79
		16	140	76
		16	150	76
		17	160	60
		17	180	44
		17	180	45
		17	200	45

母材の厚さ 9mm		電極棒の径 4mm		
供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A	
珪砂塗布	正	31	60	11
		31	70	7
		31	80	21
		31	90	22
		31	100	17
		31	110	21
31	120	22		
31	140	9		

供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A	
珪砂塗布	逆	26	80	55
		26	100	58
		26	110	67
		26	120	71
		26	130	62
		26	140	50
26	150	58		
26	160	54		

明かなる如く被覆棒に於ても電弧の短絡回数は夫々一定の電弧電流に於て最大値を有しており、且つ此の短絡回数の最大値及之に該當する電弧電流値(最も適當なる電弧電流値)は棒の種類及極性等により各々異た値をとつてゐる事が明かである。之と同様な結果は第5表及び第6表に示す

母材の厚さ 9mm				電極棒の径 4mm					
供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A	供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A		
帝國酸素會社 No. 120	正	31	80	64	帝國酸素會社 No. 120	逆	24	90	
		32	90	67			25	100	102
		32	100	78			25	110	119
		32	110	70			25	120	121
		32	120	60			25	130	100
				25	140	91			

母材の厚さ 9mm		電極棒の径 4mm			
供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A		
Heet weld No. 5 (舊)	正	37	60	45	
		37	80	51	
		37	90	60	
		37	100	41	
		37	110	38	
		37	120	24	
		37	140	31	
		—	—	—	
		—	—	—	
		—	—	—	

供試電極棒	極性	電弧電圧 V	電弧電流 A	
Fleet weld No. 5 (舊)	逆	26	60	44
		26	80	63
		26	90	66
		26	100	64
		26	110	67
		26	120	69
		26	130	53
		26	140	44
		26	140	44
		26	160	40

如く市販品熔接棒に就いても明瞭に表はれてゐる。即ち電極棒はそれが裸であると被覆であるとの如何を問はず夫々

の電弧電壓に相應して短絡回數の最大なる値を示す電弧電流即ち最も熔接に適當なる電弧電流が存在するものである事が了解出来る。

5. 電弧の短絡回數と極性ととの關係

第5圖に示した裸の電極棒の場合並に第2表及び第3表に掲げた之に  $BaCO_3$  及  $CaCO_3$  を塗布したものに對しては、正極性の場合の短絡回數のみを表し逆極性の場合の數値を示してない。是等のものは逆極性に於ては（この場合は電弧電壓が三者共高くなる一斯様な性質を持つ電極棒又は被覆劑は今後之を第1種電極棒又は第1種被覆劑と稱へる事とする）孰れの電弧電流に對しても短絡回數の測定値が區々で整然たる結果が得られなかつた爲である。然るに同じ供試電極棒に  $SiO_2$ （第4表）を塗布したもの並に市販の帝酸 No.120（第5表）及 Fleet weld（第6表）等の如く、逆極性の場合には正極性の時より電弧電壓が低下するもの（斯様な被覆劑又は電極棒は第2種被覆劑又は第2種電極棒と稱する事とする）に於ては、逆極性の場合にも夫々の電弧電流に對して正極性の場合と略同様整然たる關係が成立する。

此の事實は第1報<sup>1)</sup>にも述べた如き理由により一般に逆極性の場合には實驗結果の統一の困難なるに反し、第2種被覆劑又は第2種電極棒の場合には逆極性に依る方が電弧電壓が低下する爲電弧も安定となり實驗が容易に行ひ得るので測定も困難とならぬ事に原因するものと考へられる。

而して第4表より第6表に示した是等の各々に就て正逆兩極性に於ける同一電弧電流に對する短絡回數を比較して見れば、孰れの場合に於ても逆極性の方が短絡回數が多い事が認められる。然るに電弧の短絡回數が最大となる電弧電流が最良の熔接結果を得る所の最も適當なる電流値であると云ふ前項に述べた提案の根據を其の儘擴張すれば、第2種電極棒を使用する際に於ては正極性よりも短絡回數の多い逆極性により熔接を行ふ可きものである事が了解される。（第1報に於ては電弧電壓の低下する事實より既に此の逆極性の接續法を第2種電極棒に對して推奨してゐる）。

R. Notvest,<sup>5)</sup> B. M. Tichodeer<sup>6)</sup>等の研究に於ても第2種電極棒に屬するものを正極性に於て使用する事は電弧電壓の高き爲に電弧の安定度を害し、其の結果として熔接部の物理的性質を低下せしめる原因となる事を指摘してゐる。

第2種電極棒を使用する場合何故に逆極性に依れば電弧の短絡回數が増加するかと言ふ問題は尙今後の研究にまたねばならぬが W. Strelow<sup>7)</sup> 及 H. V. Conrady<sup>8)</sup> が高炭素鋼の電極棒は逆極性に依る方が熔着金屬に多量の炭素を含有せしめ得る事實に對して説明してゐる如く、此の場合電極棒の尖端より陽イオン又は陽に帶電された微粒子が陰極たる母材に向て多量に飛び出す事に依るものと考へれば此の問題に對して合理的な説明をなし得る様に思はれる。

以上述べた極性の差に依る熔接中の電弧の瞬間的短絡回數に關して今日まで二三の研究文獻もあるが何れも正極性の方が逆極性よりも多いとされて居り W. Strelow<sup>7)</sup> の裸電極棒に就ての實驗に於ても正極性の場合毎秒 20 回で逆極性では毎秒 4 回と報告されてゐるのみである。然し乍ら正極性の方が逆極性の場合より短絡回數が多いのは第1種電極棒に限る事實であつて、前述の如く第2種電極棒の場合には此の關係は全然逆になる事實は未だ何等の文獻に於ても指摘されてゐない。

而して筆者の今日までの研究範圍に於ては極めて特殊な

第 7 表

母材の厚さ 9mm 電極棒の徑 4mm

第 1 種 被 覆 劑				第 2 種 被 覆 劑			
被 覆 劑 の 名 稱	電弧電壓(V)		被 覆 劑 の 名 稱	電弧電壓(V)			
	正極性	逆極性		正極性	逆極性		
炭酸バリウム $BaCO_3$	11	14	酸化錫 $SnO$	22	19		
炭酸ストロンチウム $SrCO_3$	13	15	酸化銅 $CuO$	24	21		
炭酸カドミウム $CdCO_3$	14	22	チタン鐵鑲	25	21		
酸化チタニウム $TiO_2$	15	19	滑石(タルク)	25	23		
セメント	15	19	石綿(粉末)	25	24		
炭酸石灰 $CaCO_3$	16	17	珪素鐵	29	24		
炭酸亜鉛 $ZnCO_3$	16	22	マンガン鐵	30	22		
酸化鉛 $PbO$	17	19	粘土	30	23		
二酸化 Mn $Mn_2O_3$	17	20	珪砂 無水珪酸 $SiO_2$	31	26		
炭酸曹達 $Na_2CO_3$	17	21	アラビアゴム	30~35	22~26		
酸化ウラニウム $U_2O_3$	18	20	樹脂(ダムマー, コーパル)	30~35	22~26		
炭酸マグネシウム $MgCO_3$	18	21	澱粉, 布海苔	30~35	22~26		
酸化銀 $Ag_2O$	19	22	炭素 C	35	26		
酸化クロム $Cr_2O_3$	19	23	纖維素(木綿, 日本紙)	32~38	25~30		
酸化タンゲステン $W_2O_5$	20	20	アルミナ $Al_2O_3$	37	28		
酸化鐵 $Fe_2O_3$	20	20	硼砂 $Na_2B_4O_7$	38	30		
酸化ニッケル $Ni_2O_3$	20	20	酸化硼素 $B_2O_3$	41	30		
酸化コバルト $Co_2O_3$	20	21					
炭酸リチウム $Li_2CO_3$	20	21					



第 8 表

母材の厚さ 9mm 電極棒の径 4mm

第 1 種 電 極 棒			第 2 種 電 極 棒		
電 極 棒 の 名 稱	電弧電壓(V)		電 極 棒 の 名 稱	電弧電壓(V)	
	正極性	逆極性		正極性	逆極性
孕石極工社 : G 印	16	19	帝國酸素會社 : No. 18	23	20
帝國酸素會社 : No. 16	17	19	Böhler 會社 : V. D. M.	26	22
帝國酸素會社 : No. 17	18	19	Böhler 會社 : Fox 90 S	29	27
Lincoln 會社 :			芝浦製作所 E 號	30	24
Fleet weld No. 8	20	21	G. E. 會社 : W. 22	30	24
Arcos 會社 : Stabilend(舊)	20	21	Lincoln 會社 :		
"          (新)	23	24	Fleet weld No. 85	30	25
Arcos 會社 : Stabiland B	26	29	Lincoln 會社 :		
			Fleet weld No.5(舊)	37	26
			"          (新)	30	26
			イマシロ商會 イマシロー		
			ド C	30	26
			帝國酸素會社 No. 120	32	25

が逆になってゐる丈で、短絡回数と電弧電流との關係と全然同様で而も前者の最小値を示す電弧電流は後者の最大値を示す電流値と全く一致してゐる。斯の如く或る電弧電流に於て熔粒の短絡時間が最小となると言ふ事は、其の電弧電流に依りて熔接を行ふ場合に最小量の熔粒が熔着する事を示すものであるから、此の場合には電極棒が一樣なる微粒子状態に於て熔着される事になり熔着金屬の性質も最良となるため良好な熔接結果を期待する事が出来る。(第 10 項以下に於て實驗的に證明する)。従て短絡回数の最大となる電弧電流は最も適當なる電弧電流なりと言

場合を除き第 1 種電極棒又は第 1 種被覆劑に屬するものは正極性に於て電弧電壓が約 22V 以下のものであつて第 2 種に屬するものは夫以上の電弧電壓を有するものである。

但し裸の場合第 1 種に屬する電極棒であつても第 2 種被覆劑を塗布すれば第 2 種(被覆)電極棒となり、又第 2 種(裸)電極棒も之に第 1 種被覆劑を塗布する事により第 1 種(被覆)電極棒となる事は既に第 1 報に於て論じた通りである

尙本報告より第 1 種被覆劑、第 2 種電極棒等の名稱を用ひる事にしたのであるから、實驗に供した各種の被覆劑及電極棒を第 1 種及第 2 種に分類して第 7 表並第 8 表に参考として掲げて置く。

6. 電弧の短絡時間と電弧電流との關係

第 4 項に於て電弧の短絡回数が最大となる可き電弧電流を以て熔接を行ふ場合は各瞬間毎に熔着する熔粒の大きさが最小となる事を説明したが、此の短絡回数が最大となる可き電弧電流に於ては各熔粒に依る短絡時間が又最小となる可き事が考へられるので此の關係を次に調べて見る。依て第 4 項の場合と同様に供試電極棒として東京製綱の白印径 4mm のものを選び、直流正極性に依り 80A より 200A までの各電弧電流を以て厚さ 9mm の軟鋼板上に直線ビードを熔着し、各電流に對して數枚宛撮影したオッシログラムより各熔粒の短絡時間を測定した。

此の結果は第 5 圖の點線に示す通りであるが、是より明かな如く各熔粒の短絡時間(電弧の瞬間的消滅時間)は電弧電流に依りて變化し 130A 附近に於て最小の値を示してゐる。而して此の短絡時間と電弧電流との關係は只其の向き

ふ前に述べた提案の妥當性は更に此の事實に依り確證せられた事と信する。

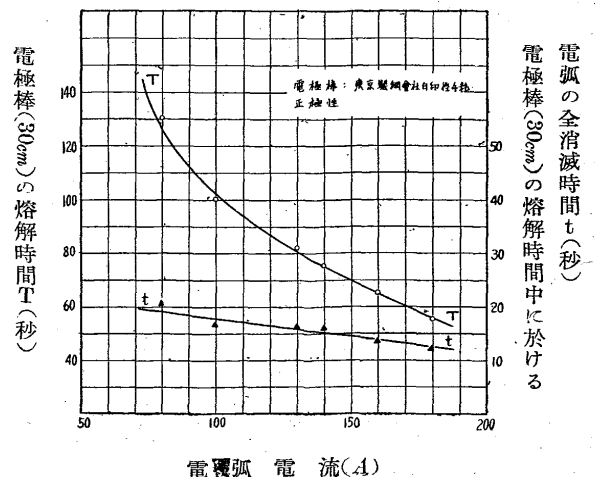
供試電極棒の各電弧電流に對する單位時間中に於ける熔粒の短絡回数と其の平均短絡時間との積は、夫々の電流値

第 9 表

供試電極棒	母材の厚さ 9mm		極性 正	
	電弧電壓(V)	電弧電流(A)	電極棒 30cm の熔解時間(秒) 單位秒	單位時間(5秒間)に於ける電弧の消滅時間の總和(第 5 圖の數値より) 單位秒
裸 棒	17	80	130	0.79
東京製綱會社白印	17	100	100	0.83
徑 4mm	17	130	82	0.99
	17	140	75	1.07
	18	160	65	1.03
	18	180	55	1.00

を以て熔接を行ふ場合の單位時間中に於ける電弧の全消滅時間である。故に一定長の電極棒を途中電弧を中斷する事なしに熔着し終る迄の時間を測定すれば、此の熔着時間

6 圖



(熔解時間)中に於て電弧が各熔粒に依て瞬間的に消滅してゐた時間の總和即ち電弧の全消滅時間を計算する事が出来る。第9表は種々の電弧電流に對する供試電極棒の長さ30cmの熔着時間の實測値と、之に對應する短絡回數と短絡間との積より求めた5秒間に於ける電弧の全消滅時間並に前二者より算出した電極棒30cmを全部熔着し終る迄の間に於て電弧が消滅する時間の總和を示したものである。第6圖は是等の關係を圖示したものであるが、種々の電弧電流を以て電極棒一定長を熔着せしむる場合の電弧の消滅時間の總和は電流値と大體直線的に逆比例してゐる事がわかる。

### 7. 最も適當なる電弧電流と電弧電壓との關係

種々な電弧電流を以て熔接を行ふ場合電極棒の種類及極性の如何に拘らず、電弧の瞬間的短絡回數が最大となる可き電弧電流値が必ず存在し、此の電弧電流を以て熔接を行ふ事が最良の結果を期待する所以である事は既に屢々述べ来たところである。又電極棒の種類と極性とが一定で且つ電弧長を同一に保つ限り電弧電流を如何に變化しても略同一の電弧電壓\*を示すものである事も第1報に於て述べた通りである。

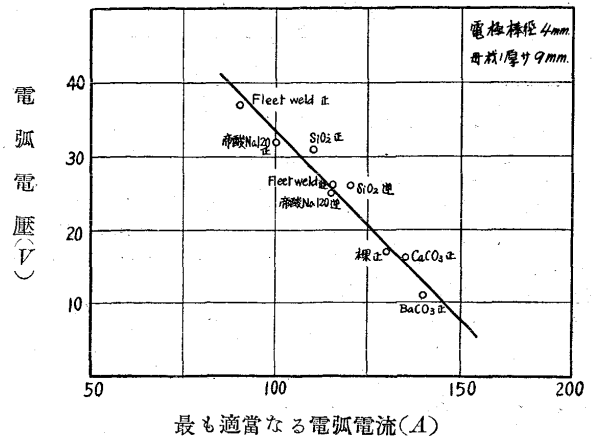
第5圖並に第2表より第6表までに示した各種の電極棒に就き電弧電壓の値と最も適當なる電弧電流の値とを抽出すれば第10表に示す如くなる。此の表より電弧電流

第 10 表

母材の厚さ 9mm		電極棒の徑 4mm		
供試電極棒	極性	電弧電壓 (V)	最も使用し易き電弧電流 (A)	電弧電流と電弧電壓との積 (單位 W)
炭酸バリウム塗布	正	11	140	1,540
炭酸石灰塗布	正	16	135	2,160
裸棒(東京製綱白印)	正	17	130	2,210
帝國酸素會社 No.120	逆	25	115	2,875
珪砂塗布	逆	26	120	3,120
Fleet weld No. 5	逆	26	115	2,990
珪砂塗布	正	31	110	3,410
帝國酸素會社 No.120	正	32	100	3,200
Fleet weld No.5(舊)	正	37	90	3,330

の値を横軸に採り縦軸に電弧電壓を示せば第7圖の如き直線的關係が得られる。依て或る電極棒に對して最も適當な

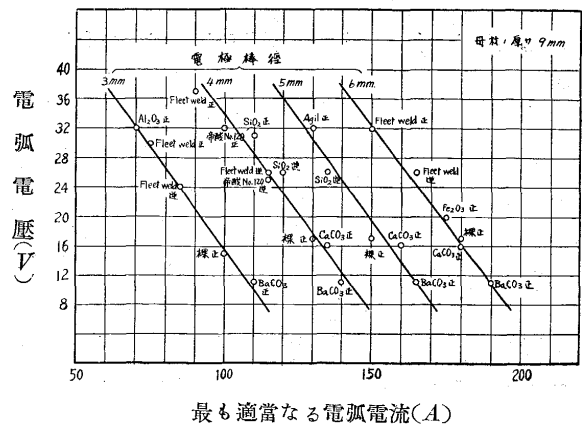
第 7 圖



る電弧電流の値は其の極性の如何に拘らず、單に其の電弧電壓を知れば此の圖面に依て自ら決定し得られるものである。即ち茲に與へられたる電極棒があつて此の棒は如何なる電弧電流に依て作業を行ふのが最も適當であるかが不明である場合は、先づ100A前後の任意の電弧電流に依り電弧長を適當に保て熔接を行ひ其の時の電弧電壓を測定すれば、之より簡単に其の棒に對し最も適當なる電弧電流の値を知る事が出来る。但し第10表、第7圖に示すものは直徑4mmの電極棒を以て厚さ9mmの母材の上に熔接を行った場合の實驗値であるから、此の電弧電流の決定法を一層普遍的にする爲には各種の直徑の電極棒並に種々の厚さの母材に對して實驗を行つて置く必要がある。

第11表及第8圖は母材の厚さ9mmに對し徑4mmの

第 8 圖



外に3mm, 5mm, 6mmの各種電極棒\* (東京製綱白印にBaCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等を塗布したものと市販の電極棒)を、種々の電弧電流を以て熔着し夫々の場合に於て第4圖に示した如きオッシログラムを撮影し、是より

\* 電弧電流を甚しく増大せしめると極めて僅かではあるが電弧電壓が増加する傾向がある。是は第2表、第3表等に於て示した通りであるが、過大の電流に依て熔接を行ふ場合必然的に電弧長が長くなる事に依るものである。

\* 同一電極棒でも其の徑が増加すると共に電弧長を幾分長くする必要のある爲電弧電壓が稍増加する。



第 11 表

母材の厚さ 9mm

供 試 電 極 棒	極 性	電弧電流 (A)	電弧の短絡回数				供 試 電 極 棒	極 性	電弧電流 (A)	電弧の短絡回数					
			電極棒 徑 3mm	電極棒 徑 4mm	電極棒 徑 5mm	電極棒 徑 6mm				電極棒 徑 3mm	電極棒 徑 4mm	電極棒 徑 5mm	電極棒 徑 6mm		
炭酸バリウム 塗布 (電弧電圧 11v)	正	80	124	67	—	—	珪砂 塗布 (電弧電圧 31v)	正	60	—	11	—	—		
		90	136	—	—	—			70	—	7	—	—		
		100	163	67	—	—			80	—	21	—	—		
		110	194	—	—	—			90	—	22	—	—		
		120	167	92	—	—			100	—	17	—	—		
		130	154	—	53	—			110	—	23	—	—		
		140	—	105	—	—			120	—	22	—	—		
		150	—	102	79	33			130	—	—	—	—		
		160	—	91	95	—			140	—	9	—	—		
		170	—	—	96	43			アルミナ 塗布 (電弧電圧 32v)	正	50	18	—	—	—
		180	—	56	83	57					60	23	—	—	—
		190	—	—	—	—					70	32	—	—	—
		200	—	—	46	45					80	23	—	—	—
220	—	—	—	35	90	15	—	—			—				
炭酸石灰 塗布 (電弧電圧 16v)	正	80	—	50	—	—	Agile 會社 Supertrode (電弧電圧 32v)	正	100	—	—	50	—		
		100	—	57	—	—			110	—	—	58	—		
		120	—	73	—	—			120	—	—	59	—		
		130	—	79	71	—			130	—	—	69	—		
		140	—	76	72	—			140	—	—	58	—		
		150	—	76	83	20	150	—	—	53	—				
		160	—	60	89	19	160	—	—	51	—				
		170	—	—	85	21	170	—	—	41	—				
		180	—	44	78	27	帝國酸素會社 No. 120 (電弧電圧 25v)	逆	90	—	90	—	—		
		190	—	—	—	21			100	—	102	—	—		
200	—	45	70	12	110	—			119	—	—				
210	—	—	—	7	120	—			121	—	—				
—	—	—	—	—	130	—			100	—	—				
裸棒(東京製綱白印) 電弧電圧 15v(徑 3mm) 17v(徑 4. 5. 6mm)	正	70	—	70	—	—	帝國酸素會社 No. 120 (電弧電圧 32v)	正	80	—	64	—	—		
		80	141	75	—	—			90	—	67	—	—		
		90	192	—	—	—			100	—	78	—	—		
		100	205	80	64	—			110	—	70	—	—		
		110	127	—	—	—			120	—	60	—	—		
		120	118	115	84	—	Fleet weld No. 5 電弧電圧 24v(徑 3mm) 26v(徑 4.5.6mm)	逆	60	73	44	—	—		
		130	—	130	—	—			70	78	—	—	—		
		140	—	116	100	47			80	86	63	—	—		
		150	—	117	110	—			90	86	66	—	—		
		160	—	100	96	50			100	61	64	—	—		
		170	—	92	73	63			110	—	67	—	—		
180	—	—	—	95	120	—	69	—	—						
190	—	—	—	63	130	—	53	—	—						
200	—	73	—	—	140	—	44	—	—						
210	—	—	—	37	150	—	—	—	26						
酸化鐵 塗布 (電弧電圧 20v)	正	150	—	—	—	28	160	—	—	—	33				
		160	—	—	—	33	170	—	—	—	45				
		170	—	—	—	45	180	—	—	—	45				
		180	—	—	—	45	190	—	—	—	41				
		190	—	—	—	41	200	—	—	—	33				
		210	—	—	—	33	Fleet weld No. 5 電弧電圧 30v(徑 3mm) 32v(徑 6mm) 37v(徑 4mm)	正	50	55	—	—	—		
珪砂 塗布 (電弧電圧 26v)	逆	70	—	—	—	—			60	58	45	—	—		
		80	—	55	—	—			70	58	—	—	—		
		90	—	—	—	—			80	60	51	—	—		
		100	—	58	35	—			90	38	60	—	—		
		110	—	67	—	—			100	30	41	—	—		
		120	—	71	55	—			110	13	38	—	—		
		130	—	62	72	—			120	—	24	—	—		
		140	—	50	73	—			130	—	—	—	25		
		150	—	58	62	—			140	—	31	—	28		
		160	—	54	49	—			150	—	—	—	33		
		170	—	—	39	—	160	—	—	—	24				
180	—	—	38	—	170	—	—	—	22						
—	—	—	—	—	180	—	—	—	—						
—	—	—	—	—	190	—	—	—	18						

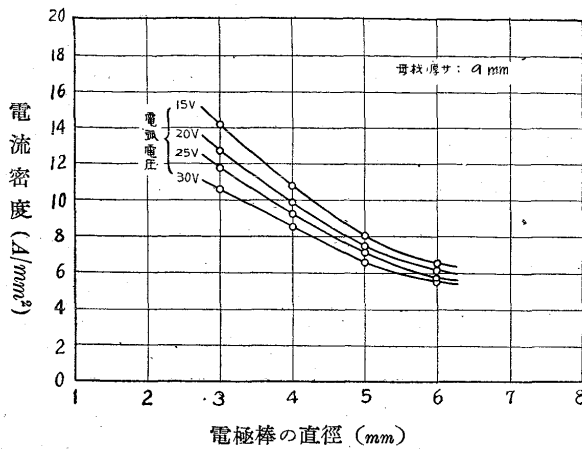
此の場合の電弧電圧と電弧の瞬時的短絡回数の最大となる電弧電流即ち最も適當なる電弧電流値とを求めたものである。是等の圖表より 3mm~6mm の實用範圍の徑の電極棒は何れも電弧電圧と最も適當なる電弧電流との間には全く同一傾向を有するものである事が明瞭である。即ち同一種類の電極棒に就て言へば其の直径が太くなればなる程大な

る電弧電流を以て作業を行はなくてはならないし、同一徑の電極棒では其の電弧電圧の高いものは低いものに比べて僅少な電弧電流で好結果が得られる事が判る。今日迄の熔接作業の實際を見ると電弧電流は電極棒の直径と母材の厚さにより經驗上決定せられて來たものであるが、此の結果より明かなる如く電極棒の電弧電圧は電弧電流の決定に

は重大な第一義的意味を有する事が了解出来る事と思ふ

第 12 表 電極棒直徑 4mm

第 9 圖



尚第8圖より同一電弧電壓を有する 3mm, 4mm, 5mm 及 6mm 径の電極棒に就き、最も適當なる電弧電流を使用した場合の電流密度を求めれば第9圖の如き結果が得られ母材の厚さが一定なる時は熔接に適當なる電流密度は電極棒の径に逆比例する事がわかる。

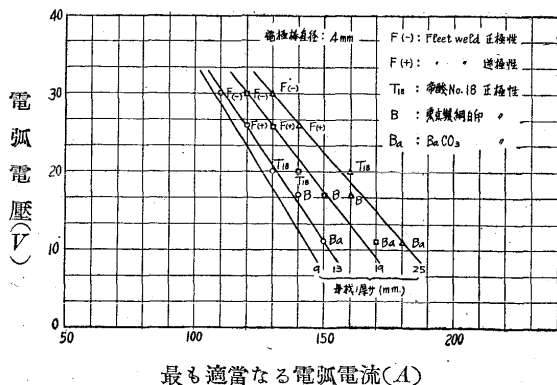
8. 適當なる電弧電流と母材の厚さとの關係

厚さ 9mm の母材に所する種々の太さの各種の電極棒に關し最も適當なる電弧電流は、其の棒の電弧電壓に依て決定し得る事は前節に述べたところであるが、次に母材の厚さが 13mm, 19mm, 25mm となつた場合に就て径 4mm 5mm 及 6mm の電極棒を使用する際に最も適當なる電弧電流が如何に變化するかを調べて見る。

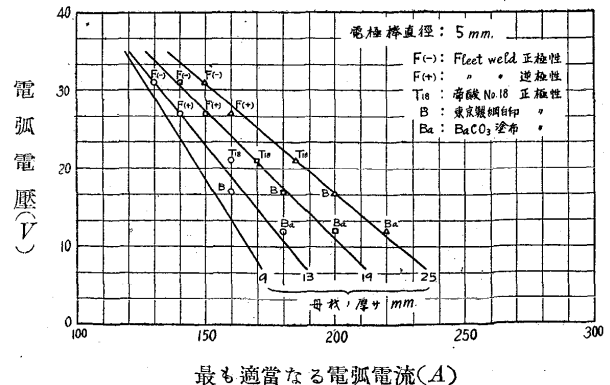
先づ種々の電弧電壓を有する径 4mm の供試電極棒として第 12 表に掲げた5種を選び、表中に示した如き種々の電弧電流を以て厚さ 13mm, 19mm 及 25mm の母材の上に直線ビードを熔着して、電弧の短絡回数を實驗毎に撮影したオッシログラムより求め此の表に示す如き結果を得た

熔接棒の種類	極性	電弧電流 (A)	電弧の短絡回数		
			母材 13mm	母材 19mm	母材 25mm
BaCO <sub>3</sub> 塗布 (電弧電壓 11V)	正	120	65	—	—
		130	70	—	—
		140	63	75	—
		150	75	86	79
		160	65	85	84
		170	71	99	87
		180	—	82	104
		190	—	54	97
		200	—	—	—
		210	—	—	88
東京製綱 白印 裸棒 (電弧電壓 17V)	正	110	113	137	—
		120	163	—	123
		130	166	93	—
		140	170	130	85
		150	163	151	109
		160	158	109	133
		170	—	—	107
		180	—	61	83
帝國酸素會社 No.18 (電弧電壓 20V)	正	110	50	61	—
		120	52	77	67
		130	60	85	—
		140	52	95	77
		150	53	81	83
		160	48	86	97
		170	—	—	65
		180	—	—	70
Fleet weld No. 5 (電弧電壓 26V)	逆	100	55	—	—
		110	50	45	35
		120	60	48	40
		130	54	51	40
		140	36	40	46
		150	33	44	25
		160	—	35	8
Fleet weld No. 5 (電弧電壓 30V)	正	90	39	46	—
		100	47	57	—
		110	58	50	30
		120	45	66	35
		130	42	49	45
		140	25	35	25
		150	—	15	15
160	—	—	5		

第 10 圖

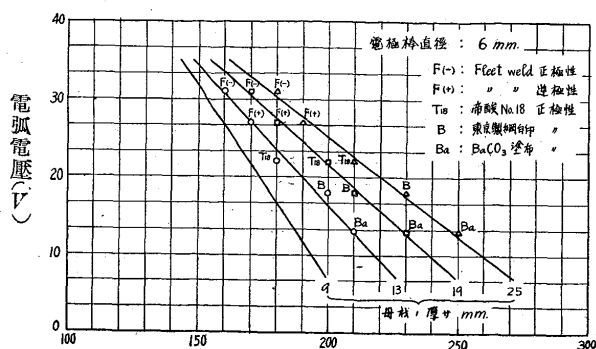


第 11 圖



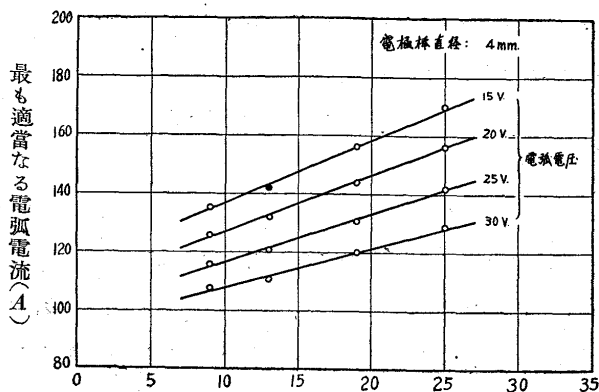
是より第 10 圖が求められるが是等の圖表より明らかな如く母材の厚さが一定なる場合は電弧電壓と最も適當なる電弧電流とが逆比例して居る事は 9mm の母材の場合と全く同様であり、又電極棒が同一の場合は母材の厚さが大となるに従ひ最も適當なる電弧電流は増加してゐる事も認め

第 12 圖



最も適當なる電弧電流(A)

第 13 圖



母材の厚さ(mm)

第 13 表 電極棒直徑 5mm

熔接棒の種類	極性	電弧電流(A)	電弧の短絡回数		
			母材 13mm	母材 19mm	母材 25mm
BaCO <sub>3</sub> 塗布 (電弧電壓 12V)	正	150	64	—	—
		160	81	—	—
		170	85	71	—
		180	118	73	—
		196	91	80	45
		200	89	88	51
		210	42	79	55
		220	—	51	63
		230	—	59	56
		240	—	—	55
東京製網 白印 裸棒 (電弧電壓 17V)	正	130	52	—	—
		140	80	—	—
		150	98	79	—
		160	125	88	—
		170	107	90	66
		180	90	103	80
		190	80	83	90
		200	69	65	104
		210	—	63	80
		220	—	—	79
帝國酸素會社 No. 18 (電弧電壓 21V)	正	130	58	—	—
		140	56	36	—
		150	81	55	23
		160	90	51	33
		170	69	73	50
		180	65	59	67
		190	79	55	61
		200	—	54	50
		210	—	—	45
		Fleet weld No. 5 (電弧電壓 26V)	逆	110	35
120	40			35	—
130	43			40	33
140	49			42	31
150	41			48	34
160	34			36	40
170	37			33	34
180	—			25	32
190	—			—	26
Fleet weld No. 5 (電弧電壓 31V)	正			100	24
		110	41	40	—
		120	40	43	24
		130	46	44	23
		140	40	48	28
		150	36	40	43
		160	30	38	31
		170	—	23	30
		180	—	—	10

第 14 表 電極棒 徑 6mm

熔接棒の種類	極性	電弧電流(A)	電弧の短絡回数		
			母材 13mm	母材 19mm	母材 25mm
BaCO <sub>3</sub> 塗布 (電弧電壓 13V)	正	180	46	—	—
		190	49	—	—
		200	50	28	—
		210	63	25	—
		220	54	30	20
		230	35	42	28
		240	30	31	36
		250	—	27	39
		260	—	22	35
		270	—	—	28
東京製網 白印 裸棒 (電弧電壓 18V)	正	170	45	—	—
		180	51	20	—
		190	54	46	—
		200	65	58	55
		210	55	64	35
		220	50	47	60
		230	56	56	67
		240	—	53	55
		250	—	—	46
		260	—	—	33
帝國酸素會社 No. 18 (電弧電壓 22V)	正	150	45	—	—
		160	48	—	—
		170	60	60	—
		180	69	50	37
		190	60	61	38
		200	65	81	50
		210	31	70	62
		220	—	61	45
		230	—	51	49
		240	—	—	40
Fleet weld No. 5 (電弧電壓 27V)	逆	140	30	—	—
		150	32	21	—
		160	33	27	22
		170	39	29	27
		180	31	34	32
		190	25	29	35
		200	19	28	30
		210	—	25	24
		220	—	—	20
		Fleet weld No. 5 (電弧電壓 31V)	正	130	27
140	32			20	—
150	34			24	25
160	38			25	26
170	33			30	21
180	22			24	30
190	20			22	25
200	—			17	24
210	—			—	20
220	—			—	—

られる。實際作業に於ても厚さが増加する時は充分なる熔込みを得るため電弧電流値を増大せしめてゐるが、之は必然的に熔着金屬にも最良の結果を與へてゐるものである。

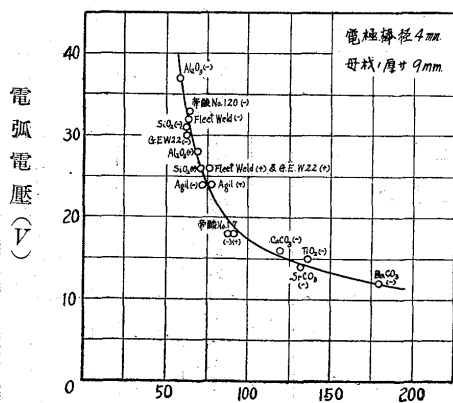
次に徑 5 及 6mm の電極棒に就き厚さ 13, 19 及 25mm の母材に對する第 12 表並に第 10 圖と同様の關係を求めば、第 13 表、第 14 表並に第 11 圖、第 12 圖が得られ 4mm 徑のものと同様一事實が認められる

尙第 10 圖より徑 4mm の各種の電弧電壓を有する電極棒に就て母材の厚さと適當なる電弧電流との關係を求むれば第 13 圖に示す通りであるが、徑 5 及び mm のものに對しても同様關係が見出される。

### 9. 最も適當なる電弧電流と電極棒の溶解速度

既に述べた如く電極棒の種類を問はず最も適當な電弧電流と電弧電壓との間には一定な關係が存在するが、此の電弧電流と電弧電壓との相乗積は電弧電壓が増加する程増大してゐる事は既に第 10 表の右欄に示して置いた通りである。而して此の電弧電流と電弧電壓の相乗積の値は電極棒の溶解速度と比例するものと考へられるから、電弧電壓の高い電極棒程溶解速度の大（溶解時間で言へば小）なる事が想像される。依て母材の厚さ 9mm 電極棒の直径 4mm の場合に就き第 7 圖の示すところから從て各種の電弧

第 14 圖



最も適當なる電弧電流を用ひた場合の電極棒の溶解時間(秒)電壓の棒に對し最も適當な電弧電流を撰定し、電極棒 30cm の長さを熔着し終る迄の時間を測定して此の値と電弧電壓との關係を圖示すれば第 14 圖の如くなる。前に掲げた第 1 圖は電弧電流を 100A に統一した場合の溶解時間と電弧電壓の關係であるが、第 7 圖からも解る様に徑 4mm の電極棒に對して 100A と云ふ電弧電流は 34V 前後の電弧電壓の棒に對して適當した値であるから BaCO<sub>3</sub> の如

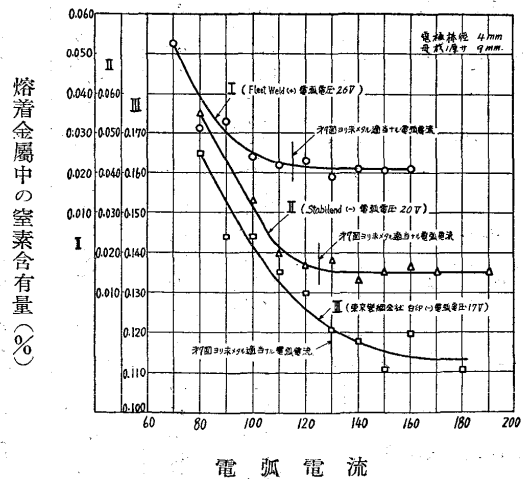
く極めて電弧電壓の低いものに對しては 100A の場合の溶解時間を云々するのは當を得てゐない事になる。從て第 14 圖は最も適當な電弧電流を使用した場合の電弧電壓と溶解時間との關係を有するものであるから、第 1 圖に示した同様の關係より一層實際問題として適切なものと考へられる。即ち實際作業に於て電極棒の溶解時間を變化せしめる爲には、被覆劑を適當に撰定することに依り電弧電壓を調整し而も之に對して最も適當な電弧電流を採用して目的を達する様にすべきで、電弧電流を無暗に加減する事により溶解時間を變化せしめ様とするのは既に述べた事實より見て決して賢明な方法でない事が了解される。

### 10. 熔着金屬の窒素含有量と電弧電流との關係

電弧の短絡回数が最大となる可き電弧電流が電極棒を使用する上に於て最も適當な電弧電流の値である事は前項迄に於て屢々述べ來た通りであるが、此の提案が實際問題として果して妥當であるか否かは種々の方面から確める必要がある。此の目的の第一手段として電弧電流を種々に變化した場合の熔着金屬中の窒素含有量を測定し、電弧の瞬間的短絡回数が最大となる可き電弧電流値が實際問題として果して最も適當なものであるか否かを研究して見ることにする。

供試電極棒としては徑 4mm の東京製綱株式会社白印、Arcos の Stabilend 及 Lincoln の Fleet Weld の三種を撰定し、是等を以て厚さ 9mm の母材の上に種々の電

第 15 圖



弧電流により直線ビードを數條並列に熔着した。而して是等の熔着金屬に含有せられる窒素の定量分析を行つた結果は、第 15 表に示す通りで是を圖示すれば第 15 圖の如く

第 15 表 熔着金屬中の窒素含有量(%)

電弧電流 (A)	東京製 網白印 正極性	Stabilend 正極性	Fleet-weld 逆極性	電弧電流 (A)	東京製 網白印 正極性	Stabilend 正極性	Fleet-weld 逆極性
70	—	—	0.0525	140	0.118	0.0129	0.0212
80	0.165	0.0551	0.0315	150	0.111	0.0150	0.0205
90	0.144	—	0.0329	160	0.120	0.0164	0.0212
100	0.144	0.0326	0.0238	170	—	0.0150	—
110	0.135	0.0193	0.0224	180	0.111	—	—
120	0.130	0.0164	0.0231	190	—	0.0150	—
130	0.121	0.0179	0.0189				

なる。東京製網の白印は裸棒として其の儘使用したものである爲他の二つのものに比較して窒素含有量は約1桁多くなつてゐるが、孰れの電極棒に就ても熔着金屬中の窒素含有量は電弧電流の過小なる場合には著しく増加してをり、電弧電流の増大に伴ひ窒素量は次第に減少し或る電弧電流以上になると殆んど一定値を保てゐる。此の傾向は J. H. Paterson の研究結果及 F. R. Hensol, E. T. Larsen の夫にも認められる所であるが、實際熔接作業に當ては窒素含有量の最も少い事が望ましいから電弧電流の値は此の窒素量が此の圖表の一定値を採る範囲内に決定すべきである。然し乍ら過大なる電流を使用する時は實際問題として Under cut の生成或は過大な残留内力の誘發等の重大なる缺陷を生ずる原因となり易いから、窒素含有量が著しく増大しない範囲に於て最小の電弧電流で作業を行ふ事が最良の熔接結果を期待する所以である。

然るに第 15 圖を見れば Fleet Weld (電弧電壓=26V) は 110A 前後 Stabilend (電弧電壓=20V) は 120A 前後、裸棒(電弧電壓=17V) は 140A 前後を境として是より少き電弧電流に於て窒素含有量は著しく増加してゐるから、是等の電極棒を使用する際は大約上記附近の電弧電流が最も實際作業に適當な電流値である事が了解される。(但し母材の厚さ 9mm) 尙此の電弧電流の値が電弧電壓の高きものは少く低きものは多くなつてゐる事が圖面からも明らかであるが、第 7 圖より是等の電極棒に對する最も適當なる電弧電流の値を求めれば、此の窒素含有量の確然たる變化を示す電弧電流と良く一致してゐる事が認められる。

即ち此の事實は電弧の短絡回数が最大となる可き電弧電流の値が電弧電壓と逆比の關係にある事を思へば寧ろ當然であつて、實際作業に對し此の電流値が最も適當な電弧電流なりとする根據の妥當なる事を別の一面から明かにしてゐるものである。

斯の如く熔着金屬の窒素量が一定値と成る最低電弧電流の値が、これまで屢々述べ來た最も適當なる電弧電流の値と事實上一致してゐる以上、同一電極棒を同一電流のも

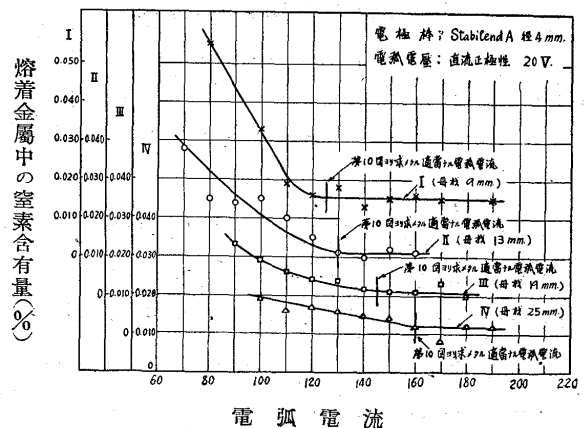
とに於て使用する場合に於ても、熔着金屬の窒素含有量は又母材の厚さに依り變化す可き事が今迄の實驗結果から推察される。依て此の推理を確むる爲 Stabilend A 直徑

第 16 表

熔接棒	電弧電流 (A)	熔着金屬中の窒素含有量(%)			
		母材 9mm	母材 13mm	母材 19mm	母材 25mm
Stabilend A 徑 4mm (電弧電壓 20V)	70	—	0.038	—	—
	80	0.055	0.025	—	—
	90	—	0.024	0.023	—
	100	0.033	0.025	0.019	0.019
	110	0.019	0.020	0.016	0.016
	120	0.016	0.015	0.014	0.017
	130	0.018	0.011	0.014	0.016
	140	0.013	0.010	0.012	0.015
	150	0.015	0.012	0.011	0.014
	160	0.016	0.011	0.011	0.012
	170	0.015	—	0.013	0.008
	180	—	—	0.010	0.012
	190	0.015	—	—	0.012

4mm (電弧電壓=20V) を以て、厚さ 9, 13, 19 及 25mm の 4 種の軟鋼板の上に種々の電弧電流を以て直線ビードを置き、是等の熔着金屬中に含有せられる窒素の定量分析

第 16 圖



を行つた結果は第 16 表及第 16 圖に示す如くである。即ち厚さの異なる各供試母材に於ける熔着金屬中の窒素含有量は何れも電弧電流の増加するに従ひ減少し、或る電流値以上になると一定値を採る様になる事は第 15 圖の場合と同様であつたが、窒素量が一定値を採る様になる最小の電流値は母材が厚くなるに従ひ増大して居り、且つ此の電流の値は第 10 圖より電弧電壓=20Vとして求めた最も適當なる電弧電流の値と是亦良く一致してゐる。

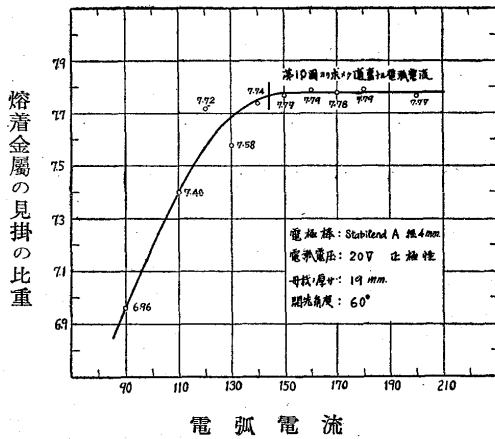
### 11. 熔着金屬の見掛けの比重と電弧電流との關係

前項に於て熔着金屬の窒素含有量に確然たる變化を示す電弧電流値が筆者の提唱する最も適當なる電弧電流の値と良く一致する事を示したが、本項に於ても是と同様な關係

が熔着金屬の見掛けの比重と電弧電流との間に存在する事を更に實證しよう。

比重測定用の試験片としては径 10mm 長さ 40mm 位のものが適當と考へたが、此の寸法の試験片を作る爲には母材の上に熔着金屬を盛上げるのは面白くないから、衝合接手を作り其の熔着金屬部から削成する様にした。此の目的の爲に厚さ 19mm の軟鋼板に 60° の開先をとり之を約 3mm の間隔を以て衝合せ Stabilend A 径 4mm を試験電極棒として 90A より 200A に至る十通りの電弧電流を以て長さ 150mm の片面全熔接を行た。而して此の接手の熔着金屬部のみから上記の寸法の試験片を 3 個宛作り、重

第 17 圖



量測定法に依て見掛けの比重を測定した。此の結果第 17 圖に記入した如き數値を得たが此の圖から明かな通り、熔着金屬の見掛けの比重は約 150A 以上の電弧電流で熔接を行た場合は大體 7.78 前後の値をとり甲乙はないが、是以下の電流値に對しては確然と不良な結果を示してゐる。偕 Stabilend A 径 4mm の電弧電壓は 20V であるから第 10 圖より 19mm 母材に對する最も適當なる電弧電流は 145A 附近であり、此の電流値は第 17 圖に於て見掛けの比重に明瞭な變化を生ずる電弧電流の値と完全に一致してゐる、即ち厚さ 19mm の母材に對しては Stabilend A (径 4mm) は 45A 以下の電弧電流では氣泡其の他の缺陷を生じ、熔着金屬部の物理的性質を劣化せしめる結果となるから、是以上の電流を以て作業を行ふ可きであるが、餘り大なる電流を以て熔接を行ふ事は實際問題として前述の如き種々の缺點を招來する事を考へれば 150A 附近の電流値が熔着金屬の比重から見ても最も適當な電弧電流である事が了解される。故に電弧の短絡回數が最大となる電弧電流値が最も適當な電弧電流であると言ふ提案は、實際問題から見て全く合理的であり何等の矛盾を示さない事が充

分實證されたと云ひ得よう。

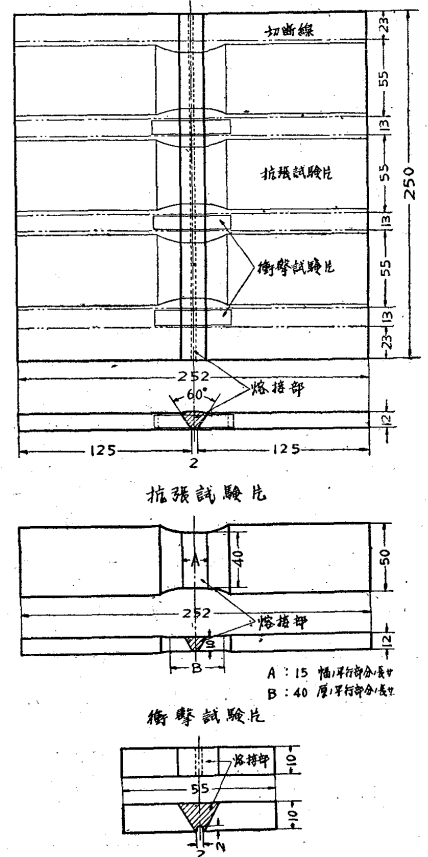
### 12. 衝合接手の抗張強及衝撃値と電弧電流との關係

電弧電流の適否が熔接結果に重大なる影響を及ぼすものである事は從來より熔接技術者に依て屢々唱へられてゐるところであるが筆者の提案した電弧電流の決定法が實際作業に對して妥當であるか否かを更に衝合接手の抗張強及衝撃値より検討して見る。

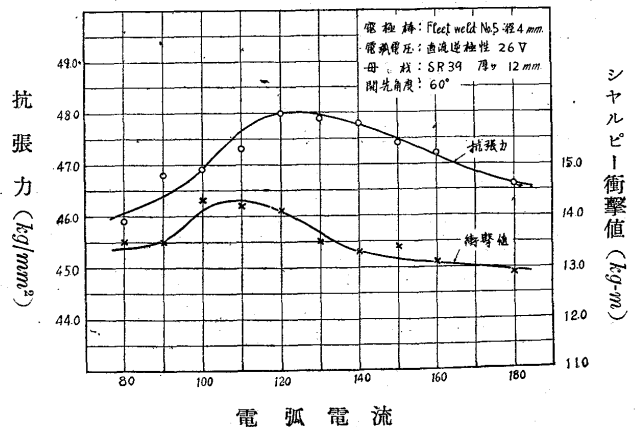
此の實驗には電極棒としては運棒法の特に容易なる Lincoln 會社の Fleet Weld No. 5 径 4mm を撰定し、第 18 圖に示す如き厚さ 12mm の母材 (S.R.39) を種々なる電弧電流に依り各々 4 層に衝合熔接したも

のを各 2 個宛作り、是より同圖に示す如き抗張試験片並に衝撃試験片を夫々 6 個宛採取した。

第 18 圖



第 19 圖



而して此の試験成績は第 17 表に示す通りで之を圖示すれば第 19 圖の如くなるが、抗張強は電弧電流 120A 附近



第 17 表

溶接棒	電弧電流 (A)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )		衝撃値 (kg-m)		溶接棒	電弧電流 (A)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )		衝撃値 (kg-m)	
		平均		平均				平均			
Fleet weld No. 5 徑 4mm (電弧電壓 26V)	80	44.7		14.0		130		47.6		13.4	
		46.6		14.2				48.1		13.5	
		45.0	45.9	13.0	13.5			48.0	47.9	13.0	13.5
		43.3		16.0				48.0		13.8	
		48.3		8.8				47.8		13.4	
		47.5		15.2			47.8		13.6		
	90	46.1		15.0		140		母材		13.3	
		45.1		15.0				47.4		12.5	
		45.8	46.8	12.4	13.5			48.3	47.8	15.6	13.3
		48.1		14.3				48.2		12.7	
		48.6		9.3				48.8		13.0	
		47.1		15.0			46.5		12.3		
	100	46.2		15.2		150		47.1		14.3	
		46.1		14.0				47.2		14.2	
		45.8	46.9	14.3	14.3			47.4	47.4	13.0	13.4
		48.4		13.8				47.5		13.2	
		46.7		13.4				47.8		12.5	
		48.0		15.3			47.4		13.2		
	110	47.8		13.1		160		母材		14.3	
		47.2		15.1				47.0		14.6	
46.9		47.3	13.5	14.2	46.7			47.2	13.7	13.1	
48.0			14.8		47.7				12.2		
47.5			13.6		47.5				12.2		
	46.5		15.1			47.0		11.7			
120	48.4		14.8		180		母材		13.2		
	47.5		14.0				45.2		12.7		
	47.3	48.0	13.3	14.1			47.5	46.6	14.3	12.9	
	49.1		14.6				47.5		11.8		
	48.2		13.8				47.0		12.7		
	47.6		14.0			46.8		12.9			

に於て又衝撃値は 110A 附近に於て各々最大値を示してゐる。

此の抗張強並に衝撃値の最大となる電流値は第 10 圖より求められる Fleet Weld 徑 4mm (電弧電壓=26V) の厚さ 9~12mm の母材に對する最も適當な電弧電流値(115~120A) と良く一致した數字を示してゐる。

是等の實驗結果は前述の窒素含有量並見掛けの比重に關する種々な事實と共に、筆者の提案する電弧電流の決定法が實際作業上より見ても妥當である事に對し有力な實證を與へるものであると信ずる。

### 13. 總 括

以上述べ來た本研究の結果を總括すれば次の通りである。

i) 電弧溶接作業に於て満足す可き結果を得る爲には優秀な電極棒を撰擇す可きであると言ふ事は論を俟ぬところであるが、電極棒の全機能を發揮せしめる爲には其の棒に適した運棒法及び其の場合の溶接條件に最も適當した電弧電流を撰定して作業を行ふ事が最も大切である。

ii) 然るに電弧電流の決定と言ふ事柄は從來兎角等閑に附せられ勝であつて、多くは湯の沸き具合を主眼とした溶接の手加減に依て之を決めてゐるのが溶接界の一般の現状の様である。

iii) 筆者は豫て電極棒の熔着現象を研究中同一溶接條件に於ても電弧電流の大小に依り電弧の瞬間的短絡回数に相違のある事實を確めた事より出發し、此の瞬間的短絡回数の最大となる場合の電弧電流が最良の溶接結果を齎らすものであると言ふ推理的根據に立脚し新らしい電弧電流の決定法を提案した。

iv) 即ち同一溶接條件に於て電弧電流を種々に變化した場合に熔着金屬の窒素含有量、見掛けの比重及び溶接接手の抗張強、衝撃抗力等に確然たる最良の結果を示す電弧電流値は、電弧の瞬間的短絡回数の最大となる電弧電流即ち筆者の提唱する最も適當なる電弧電流と全く一致する事實を實驗的に證明した。

v) 而して此の瞬間的短絡回数の最大となる電弧電流値は母材の厚さと電極棒の直徑が一定の場合には其の電極棒の電弧電壓と逆比例して居り、同一種類の電極棒即ち同一電弧電壓の電極棒に於ては其の直徑及び母材の厚さが大となる程此の電弧電流値は大となつてゐる。

vi) 是等の實驗的結果は實際作業上から見ても當然の事柄であり、電弧の瞬間的短絡回数が最大となる電弧電流が最も適當な電弧電流であると言ふ推理的根據を實證する有力な事實である。

vii) 此の最良の溶接結果を齎す最も適當な電弧電流値は使用電極棒の電弧電壓並に其の直徑が決まれば後は母材の厚さに依て自ら決定されるので、普通一般の溶接作業の範圍に於て直に電弧電流を簡單に決定し得る圖表を實驗的に求めた。

viii) 其の他電弧の短絡時間と電弧電壓並に電弧電流との關係及び電極棒が極性に依て異なる電弧電壓を示す場合には低い電弧電壓の方の極性に於て作業する事の合理性も同一推理的根據に依り説明が加へられる。

ix) 又實際作業に於て屢々問題となる電極棒の熔解時間と電弧電壓との關係は最も適當な電弧電流を以て作業を行ふ場合も大體双曲線的關係にある事を確めた。

x) 本研究に於て取扱た母材は總て軟鋼材であるが母材の材質が異なつた場合及び其の他二三の補足的實驗は、交流電弧の場合の實驗結果と共に第三報に於て詳細に報告する豫定である。

終に臨み本研究の一部は日本學術振興會の援助金に依た事を附記して謝意を表すると共に、實驗並に data の整理等に多大の努力を拂はれた鯉淵正夫、岩橋俊正、渡部嘉吉の三君に深く感謝する次第である。

## 文 獻

- 1) 柴田, 鯉淵: 電弧溶接被覆剤の電弧現象に及ぼす二三の特性 鐵と鋼 第21年 第4號
- 2) A. Hilpert: Investigations on Phenomena of Arc Welding and Gas Cutting by Slow-Motion Pictures. Journal of A. W. S., July 1933.
- 3) W. Hoffmann: Über der Sauerstoff und Stickstoffaufnahme bei Schweissungen. Die Elektroschweissung, Aug. 1935.
- 4) J. H. Paterson: Electric Welding. Engineering, Vol. 107 p. 285.

- 5) R. Notvest: Magnetic Flare and Arc Blow in Welding. The Welding Engineer, June 1935.
- 6) G. M. Tichodeev: The Phenomenon of the Erratic Welding Arc. The Welding Journal, Feb. 1936.
- 7) W. Strelow: Die Vorgänge im Schweisslichtbogen und ihr Einfluss auf die Schweissungen bei blanken und umhüllten Elektroden. Die Elektroschweissung, Mai 1932.
- 8) H. Comrad: Atomphysikalische Grundlagen der Vorgänge im Schweisslichtbogen Die. Elektroschweissung, Feb. 1934.

## 鐵・クロム・銅系平衡状態圖

(日本鐵鋼協會第20回講演大會 昭和13年10月)

森 脇 和 男\*

THE EQUILIBRIUM DIAGRAM OF THE TERNARY SYSTEM,  
IRON-CHROMIUM-COPPER.

Kazuo Murawaki.

**SYNOPSIS:**—The alloys of iron, chromium and copper containing less than 40%Cr and 40%Cu were investigated by means of the thermal analysis, dilatation measurement and microscopic examination, and an equilibrium diagram of the ternary system is herein proposed.

In this system there exists no intermetallic compound and a nonvariant reaction, liquid +  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + C$ , takes place at 1,085°C. The domain of  $\gamma$ -phase in Fe·Cr·System is enlarged by addition of copper, so that the alloy containing 14%Cr and 5%Cu consists of homogeneous  $\gamma$ -phase at high temperature, and the specimen with 19%Cr and 4%Cu,  $\alpha$ - and  $\gamma$ -phases. As the chromium content increases, the solubility of copper in  $\gamma$ -iron and the copper content at eutectoid composition decrease at first and then increase, whilst the eutectoid temperature rises gradually and afterwards rapidly.

## I 緒 言

Fe·Cr·Cu系の三元状態圖に關する研究は未だ文献に認められない。著者はこの三元系をCr40%以下Cu40%以下C0.1%以下の合金に就て熱分析、熱膨脹測定及顯微鏡試験に依て研究し本系状態圖を提出した。

## II 平衡状態圖

第1圖及第2圖は本研究の結果得たる總合平衡状態圖\*で第2圖は鐵側を特に擴大して示したものである。

銅・鐵二元系状態圖<sup>1)</sup>は第1圖AB上に描けるが如く融體より凝固の途中に於て1,477°C及1,094°Cに於てM(融體 P<sub>1</sub>) +  $\delta$ (F)  $\rightleftharpoons$   $\gamma$ (G) 及 M(P<sub>2</sub>) +  $\gamma$ (H)  $\rightleftharpoons$   $\epsilon$ (K) なる

二つの包晶反應が起る。圖に於てP<sub>1</sub>點は13.5% Cu, H點は8.5% Cuである。又833°Cに於て $\gamma$ (E<sub>2</sub>)  $\rightleftharpoons$   $\alpha$ (D) +  $\epsilon$ (L)なる共析反應をなす。共析點E<sub>2</sub>は4.5% Cu,  $\alpha$ -相に於けるCuの溶解度(D點)は3.5% Cuである。

Cr·Cu二元系状態圖<sup>2)</sup>は第1圖BC上に描けるが如く廣い範圍に互て二液相が共存する範圍があり1,073°Cにて共晶反應が起る。共晶點は銅側に近い。

Fe·Cr系<sup>3)</sup>は全率可溶固溶體を作りCr17%以下に於て $\gamma$ -相が存在する。 $\gamma$ -相範圍に就ては研究者に依て異なり少量の炭素が著しく其の範圍に影響する。著者が用ひた合金は少量の炭素を含んで居たため19%Crに於ても少量の變態を認めた。

次に三元系に於て曲線P<sub>1</sub>O, P<sub>2</sub>Oは二元包晶曲線でこの曲線に沿ふて次の様な包晶反應が起る。但しMは融體を

\* 日本特殊鋼株式會社

\* 本研究に於て使用した材料には少量の炭素其の他の不純物を含んで居たために諸變化の溫度測定結果は純Fe·Cr·Cu系に於けるよりも少しく低く現れて居るものと考へられる。

1) J. L. Gregg; B. N. Daniloff, The alloy of Iron and Copper (1934) 34頁

2) G. Hindricks, Z. Anorg. Chem. 54 (1908) 422; E. Siedschlag, Z. Anorg. Chem. 131 (1923) 173.

3) P. Oberhoffer; H. Esser, Stahl u. Eisen, 47 (1927) 2020; J. Adcock, J. Iron &amp; Steel Inst. 124 (1931, II) 99; 松永陽之助, 鐵と鋼 17 (1931) 703.