

# スコット結線による三相双極ユニオンメルト溶接

Double-electrode Submerged Arc Welding with Scott-connected Power Supply

横尾尚志\* 今宮弘万\*  
Takashi Yokoo Hirokazu Imamiya

## 内容梗概

2台の溶接トランスをスコット結線して三相双極ユニオンメルト溶接する場合の電気的特性、溶接特性および実用上の諸問題について調査、検討した結果、従来の単電極および単相双極溶接に比べ、はるかに高能率で作業性もすぐれており、また溶接部の機械的性質においてもそんなことを確認した。

## 1. 緒言

最近構造物が大形化し使用鋼板の板厚が増大するに伴って、ユニオンメルト溶接においてもさらに作業能力を増大することが望まれるようになった。ユニオンメルト溶接における作業能力が使用電流によって決定されることは周知のとおりであるが、従来のような1本の電極線材を使用する方法ではいかに大径の線材を使用しても溶接作業性の点からおのずから溶接電流に一定の限界があり、したがって複数の電極から複数のアークを発生せしめるのが理想的である。

双極溶接で最も簡単なものは第1図に示すような単相電源を用いて並列のアークを発生させる方式であるが、これでも確かに能率は向上するが、アークの安定度、ビード外観、き裂感度などの点で満足すべき結果が得られない。一方、三相電源を用いる方式には第2図に示すような方式が考えられるが、このうちスコット結線方式では、

- (1)  $\Delta$ 結線方式に比べて溶接トランスが2台で済み、それだけ制御因子が少なく操作が簡単である。
- (2) V結線方式に比べて電源に対する負荷がバランスする。
- (3) 2個のアークの電流位相差が約 $90^\circ$ で相互の干渉が少ない。
- (4) 単電極で使用する場合も他の方式に比べて決して不便でない。

などの特長を有している<sup>(1)</sup>。

筆者らはこのスコット結線方式による双極ユニオンメルト溶接(以下三相双極ユニオンメルト溶接と呼ぶ)の電気的特性、平面ビードおよび開先内ビードによる溶接特性などを調査し、検討を加えて実用に供したので、この経過の概要を以下に述べる。

## 2. 溶接装置

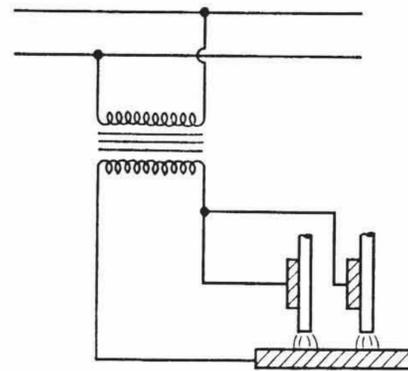
使用した溶接装置は

- (1) ユニオンメルト溶接機 (容量 1,200A)
  - メイン電極用 1台
  - ティーザ電極用 1台
- (2) 溶接トランス (定格容量 80 kVA)
  - メイントランス 2台
  - ティーザトランス 1台

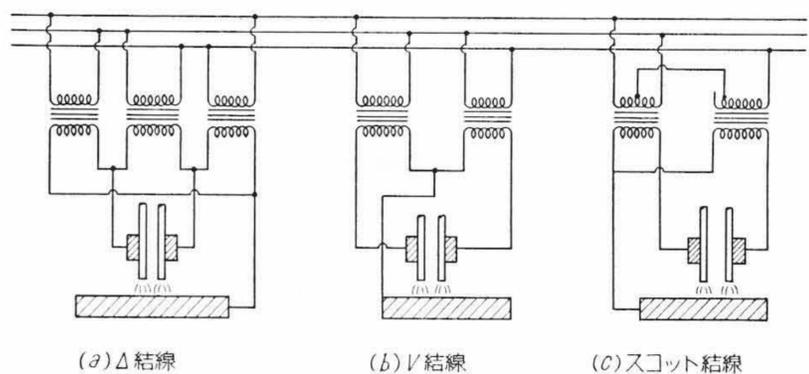
すなわち、メイン電極のアークとティーザ電極のアークを別個に制御するため溶接機は2台を使用し、これを1台の架台に組込んで使用した。この場合、両電極の間隔は30~70 mm程度であるから2台の溶接頭をかなり接近して組込む必要があり、しかもその関係位置を調整できるようにしなければならない。

溶接トランスのうち、メイントランスは容量の関係で2台を並列

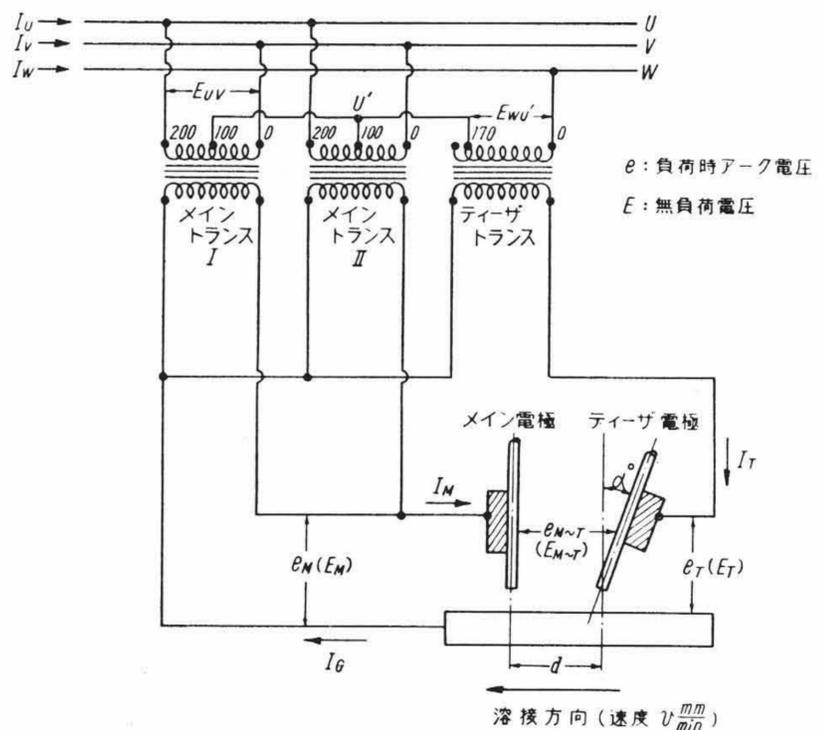
\* 日立製作所亀有工場



第1図 単相双極溶接の結線図



第2図 三相双極溶接の結線図



第3図 実験に使用した溶接トランスの結線

に接続して使用する必要があり、実際の結線は第3図のようにした。

メイントランスは一次側を並列にして三相電源の任意の2相に接続し、二次側も並列にして1相をアースとし他の1相をメイン電極に接続する。ティーザトランスは一次側の0端子を三相電源の残り

の1相に接続し、170V 端子をメイントランスの一次側100V 端子に接続したうえ、二次側の1相をアースとし、他の1相をティーザ電極に接続する。このように接続すれば後述するように、メイン電極およびティーザ電極と母材の間にはともに熔接トランスの定格無負荷電圧が発生するのである。

実験に際して使用した線材は Oxweld No. 36 4.8mmφ、フラックスは Grade 80、20×200メッシュである。

### 3. 熔接電源およびアークの静的特性

第3図に示す回路について電圧および電流を測定し、無負荷状態および負荷状態における静的特性（ここでいう静的特性とは、後述する瞬時値に関する特性に対して実効値に関する特性をいう）について検討した。

#### 3.1 無負荷特性

電源電圧各相200Vにおけるメイントランスおよびティーザトランスの一次側および二次側無負荷電圧は第1表のとおりであった。一次側電圧  $E_{UV}$  および  $E_{WU'}$  の関係は第4図(a)のようであり、したがって二次側無負荷電圧  $E_M, E_T$  および  $E_{M-T}$  の関係は第4図(b)のようになるはずである。実測値を代入すると、両トランスの二次無負荷電圧  $E_M$  および  $E_T$  はほぼ90°の位相差を示している。

ここで注意すべきことはメイントランスはそれ自身で定格無負荷電圧を発生しているのに反し、ティーザトランスはメイントランスを併用してはじめて定格無負荷電圧を発生していることである。すなわち、スコット結線のままでメイントランスの一次側V相を電源からはずした場合、ティーザトランスの170V 端子にかかる電圧  $E_T$  は

$$E_T = 170 \times \frac{200}{270} = 125.8(\text{V})$$

となりティーザ電極と母材との間には安定なアークを発生させることはできない。このことは本結線によって単電極熔接する場合にも、双極熔接する場合のクレーターの処理方法についても、十分考慮しなければならないことである。

#### 3.2 負荷特性

メインアークとティーザアークを種々の電流および電圧で安定に発生させた場合のアース電流および熔接電流位相差の実測例を第2表に示す。

第2表に示した  $I_M-I_T$  間位相差というの第5図(a)に示す角  $\alpha$  であるが、この値は一定ではなく 81~94°の間を変動しており、しかも両者のアーク電圧の大小に関連してある一定の変化を示している。すなわち、メインアーク電圧  $e_M$  が大になれば  $I_M$  と  $I_T$  の位相差は大になり、ティーザアーク電圧  $e_T$  が大になれば位相差は小になっている。

第5図(b)は熔接負荷状態における負荷電圧のベクトル図であるが、ここで  $e_M$  および  $e_T$  はそれぞれ第5図(a)における  $I_M$  および  $I_T$  と同位相にある。しかるに第5図(b)と第4図(b)における  $e_M-E_M$  および  $e_T-E_T$  の関係を一般に負荷電圧と無負荷電圧の関係として  $e_a-E_{20}$  で表わし、回路の固有抵抗を無視すれば、

$$\frac{e_a}{E_{20}} = \frac{IR}{I\sqrt{R^2+L^2}}$$

ここに  $R$ : アークの負荷抵抗  
 $L$ : 等価回路のリアクタンス

が得られ、したがって  $e_a$  と  $E_{20}$  の位相角  $\varphi$  は

$$\cos\varphi = \frac{e_a}{E_{20}}$$

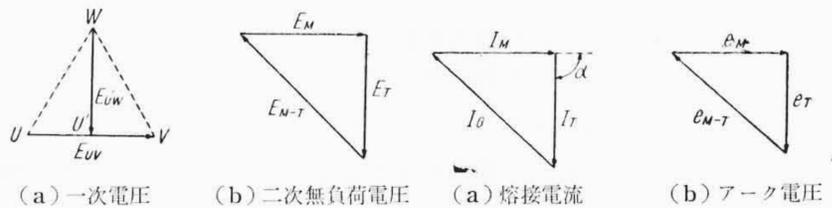
で与えられる。このような理由から、アーク電圧  $e_a$  が変動すれば、

第1表 無負荷電圧

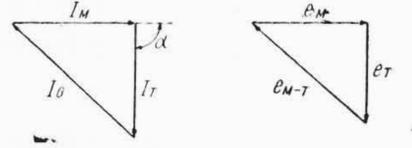
$E_{UV}$	$E_{U'W}$	$E_M$	$E_T$	$E_{M-T}$
200V	176V	84V	84V	120V

第2表  $I_M-I_T$  間位相差

$I_M(\text{A})$	$I_T(\text{A})$	$e_M(\text{V})$	$e_T(\text{V})$	$I_G(\text{A})$	$I_M-I_T$ 間位相差
850	600	30	38	1,100	81°15'
850	600	38	38	1,060	87°00'
850	600	42	38	990	94°30'
900	650	30	38	1,050	83°30'
900	650	34	38	1,100	88°48'
900	650	38	38	1,125	90°00'
990	750	30	30	1,245	90°00'
990	750	30	34	1,215	87°24'
990	750	30	42	1,185	85°28'



第4図 一次、二次電圧のベクトル図



第5図 負荷時の電流電圧ベクトル図

電流  $I_M$  および  $I_T$  がそれぞれ無負荷電圧  $E_M$  および  $E_T$  となす位相角が変化するので、これに伴って  $I_M$  と  $I_T$  の位相差も変動するのが当然である。しかし、 $e_a$  の変動はそれほど大きくないので実用的には  $I_M$  と  $I_T$  の位相差がほぼ90°と考えて差しつかえない。

スコット結線における負荷時の一次電流は、両トランスの一次および二次巻数をそれぞれ  $N_1$  および  $N_2$  とすれば第3図の記号で表わした場合次式が成立する。

$$\begin{cases} \dot{I}_T N_2 + \dot{I}_W \frac{\sqrt{3}}{2} N_1 = 0 \\ \dot{I}_M N_2 + \left( \dot{I}_U \frac{N_1}{2} - \dot{I}_V \frac{N_1}{2} \right) = 0 \\ \dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = 0 \end{cases}$$

ゆえに

$$\begin{cases} \dot{I}_U = \frac{1}{a} \left( \dot{I}_M + \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_T \right) \\ \dot{I}_V = \frac{-1}{a} \left( \dot{I}_M - \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_T \right) \\ \dot{I}_W = -\frac{2}{a\sqrt{3}} \dot{I}_T \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

ただし  $a = \frac{N_1}{N_2}$

したがって  $|\dot{I}_M|$  と  $|\dot{I}_T|$  が相等しく、互いに90°の位相差をもつならば

$$|\dot{I}_U| = |\dot{I}_V| = |\dot{I}_W| = \frac{2}{a\sqrt{3}} |\dot{I}_T|$$

となり、一次電流は各相相等しくなるはずである。しかし、実際熔接作業の場合  $I_M$  と  $I_T$  の絶対値はかなり相違するものであるから、一次電流においても不平衡を生ずるのはやむを得ないが、V結線方式などに比べれば負荷の平衡はかなり良好といわねばならない。

(1)式はスコット結線の場合の一次電流であるがトランスを単相電源に接続した場合の一次電流は

$$I_U = \frac{1}{a} I_M$$

であるからスコット結線の場合のほうが同一負荷電流  $I_M$  に対して  $\frac{2}{\sqrt{3}}$  倍の一次電流を生ずることになる。したがってスコット結線において一次電流を定格電流にするためには二次負荷電流を定格の  $\frac{\sqrt{3}}{2} = 0.86$  倍におさえねばならない。

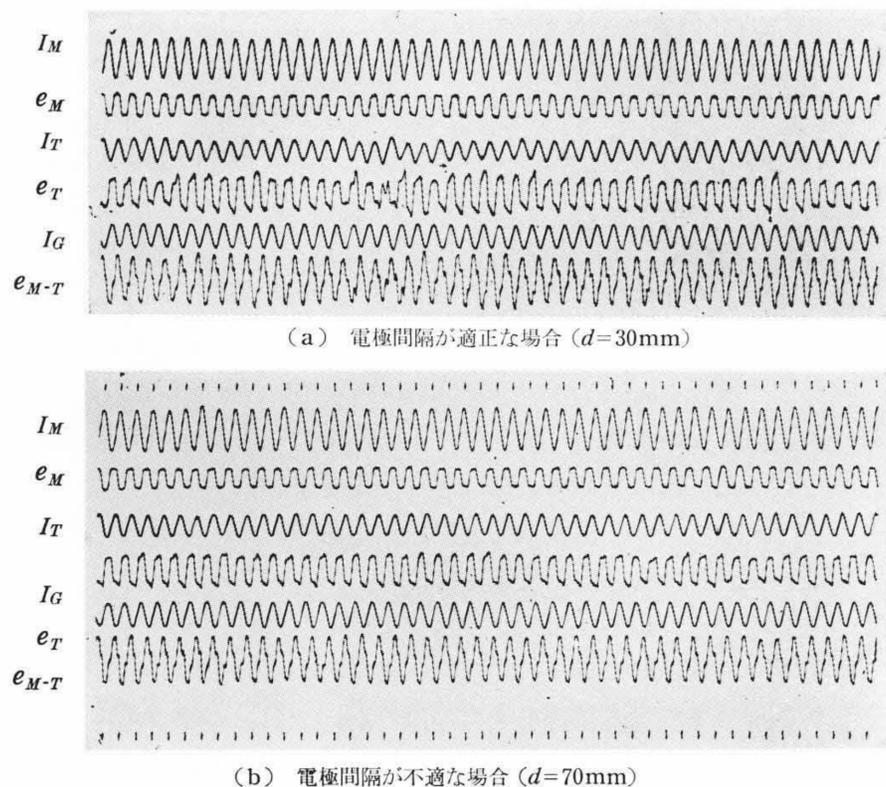
#### 4. アークの動的特性

スコット結線方式により2個の交流アークを発生した場合のアークの瞬時的特性を調査するため、熔接電流およびアーク電圧のオシログラムを検討した。記録した電流および電圧の記号は第3図による。

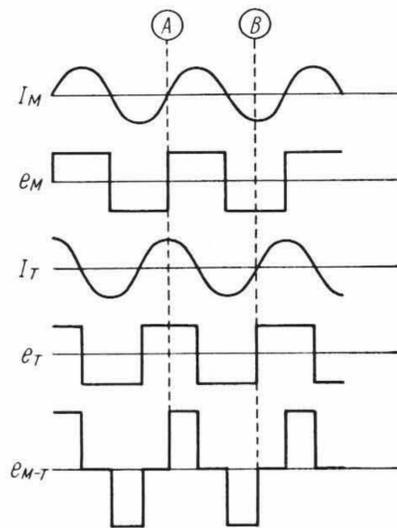
三相双極熔接においてはメイン電極とティーザ電極の間隔がアークの安定性にかなり影響を及ぼすことを予備実験により確かめたので、電極間隔が適正な場合と接近しすぎた場合について記録した。第6図(a)は間隔が適正な場合、(b)は接近しすぎた場合のオシログラムを示す。いずれの場合もメインアークはきわめて安定で電流  $I_M$  および電圧  $e_M$  にほとんど変動がみられない。特にアーク電圧  $e_M$  において再点弧の場合にもほとんど明りょうなピークを示していないことはアークの安定性がきわめて良好なことを立証している。熔着金属の移行もきわめて細粒のものが様な状態で移行しているように想像される。これに反してティーザアークはやや不安定で(a)図においても  $I_T$  および  $e_T$  にわずかな変動が認められ、 $e_T$  においては明らかにピーク電圧の発生が認められる。(a)図の状態ではティーザアークがわずかに不安定であるとはいっても単電極ユニオンメルト熔接でかなり安定にアークを発生している場合に匹敵するが、電極間隔が接近するとティーザアークはきわめて不安定になり(b)図に示すとおり、 $I_T$  および  $e_T$  にかんがりの変動がみられ、瞬間的な短絡も起っている。このように両電極が接近した場合ティーザアークが特に不安定になる理由はメインアークによるクレータの干渉によるものと想像される。

これに反して電極間隔を適正にした場合にもメインアークのほうがティーザアークよりも安定な理由は、純粋に電氣的なものと考えられるが、これはクレータ間の干渉がまったく無いように両電極を熔接方向に対して横方向に配置したトランス配置の場合にも第6図(a)と同様な現象がみられることから知られる。

第6図から明らかなように、電極間の電圧  $e_{M-T}$  の波形は  $e_M$  および  $e_T$  の瞬時値を加算したものであるから、半サイクルに2段のステップを有している。これはスコット結線やV結線のように2台の熔接トランスで2個の交流アークを発生する場合に共通の現象であり、したがって両電極をいくら接近しても電極間にアークが発生することはありえないはずである。第6図(a)のように安定な状態



第6図 負荷時のオシログラム (熔接条件  $I_M=800\text{A}$ ,  $e_M=30\text{V}$ ,  $I_T=650\text{A}$ ,  $e_T=40\text{V}$ ,  $v=300\text{mmmin}$ ,  $\alpha=12^\circ$ )



第7図 アーク電流、電圧波形線図

でアークを発生している場合の電流、電圧波形を線図で示すと第7図のようになっているが、Aで示したメインアークの再点弧の瞬間とBで示したティーザアークの再点弧の瞬間を比較すると、前者の場合電極間の電圧  $e_{M-T}$  が最高値に近いのに対して、後者の場合は  $e_{M-T}$  がほとんど零に近い。このことがメインアークとティーザアークの再点弧の容易さを左右しているのではないかと想像される。

#### 5. 線材およびフラックスの溶融速度

種々の電流電圧でビード熔接し、線材溶融速度とフラックス溶融速度を測定した。熔接速度は  $v=600\text{mm/min}$  である。

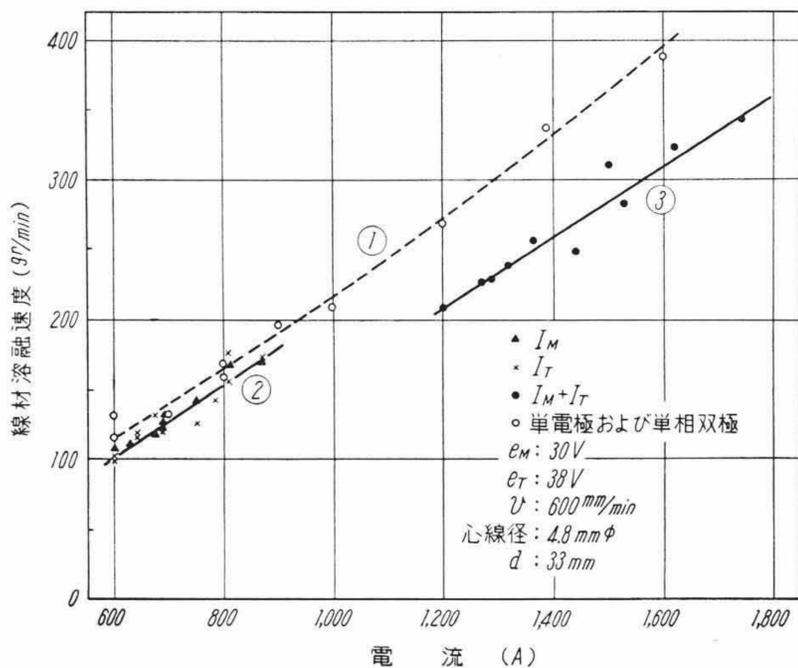
##### 5.1 線材の溶融速度

電流と線材溶融速度との関係を第8図に示す。

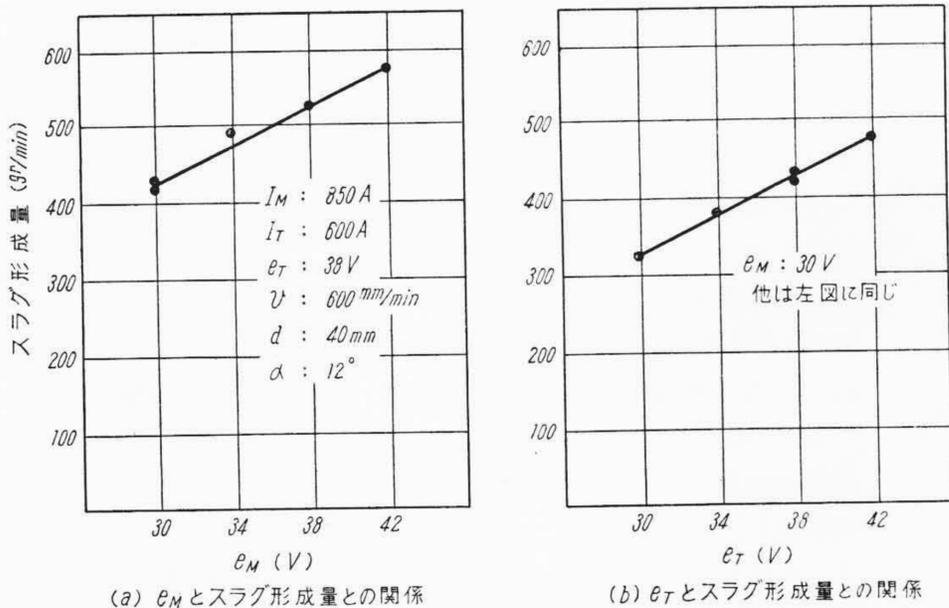
メイン電極およびティーザ電極の溶融速度をそれぞれ  $I_M$  および  $I_T$  に対してプロットすれば曲線②が得られるが、この曲線は単電極および単相双極の場合の曲線①とほとんど一致しているから三相双極熔接における両電極線材の溶融速度も単電極熔接の場合の溶融と本質的に異なるものでないことが知られる。スコット結線においては  $I_M$  と  $I_T$  の位相関係からメイン電極とティーザ電極の溶融速度の間に若干差があるといわれているが<sup>(2)</sup>、この実験ではそれがほとんど認められなかった。曲線③は  $I_M+I_T$  と両線材溶融速度の和との関係を示したもので、曲線①よりはかなり下回っており、これは曲線②が原点を通る直線でないことに起因している。

##### 5.2 フラックスの溶融速度

生成したスラグ重量からフラックス溶融速度を算出し  $e_M$  および



第8図 電流と線材溶融速度の関係



第9図 アーク電圧とスラグ形成量との関係  
 (a)  $e_M$ とスラグ形成量との関係  
 (b)  $e_T$ とスラグ形成量との関係

$e_T$  との関係をもとめたものが第9図である。フラックスの熔融速度は  $e_M$  および  $e_T$  の増加に従い直線的に増加し、両者のこう配もほぼ等しい。

第9図の場合  $I_M + I_T = 1,450 A$  であって、スラグ形成量は 320~570 gr/min の間にあり、一方線材熔融速度は第8図から 250 gr/min である。ここで線材とフラックスの消費量の比をとると 1.28~2.28 の範囲にあり、三相双極溶接の場合にも線材消費量に対してフラックスの消費がかなり大なることが知られる。

### 6. 平面ビードによる溶接特性

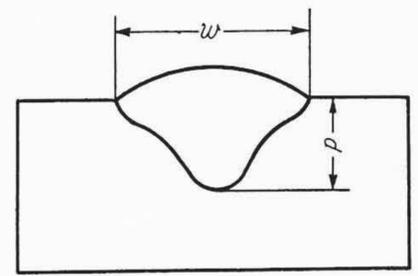
十分な広さを有する板厚 25 mm の軟鋼板上に種々の条件で十分な長さ (約 400 mm) ビード溶接し、ビード中央部の断面について溶接結果を調査した。溶接条件としては  $\alpha = 12^\circ$  以外のすべての変数  $I_M, I_T, e_M, e_T, v$  および  $d$  を変化して実験したが、装置容量の関係で  $I_M$  は 600~1,200 A,  $I_T$  は 600~800 A の間で変化せしめた。ビード断面については第10図に示すように溶込み  $p$  とビード幅  $w$  を測定し、検討を加えた。

#### 6.1 溶込み

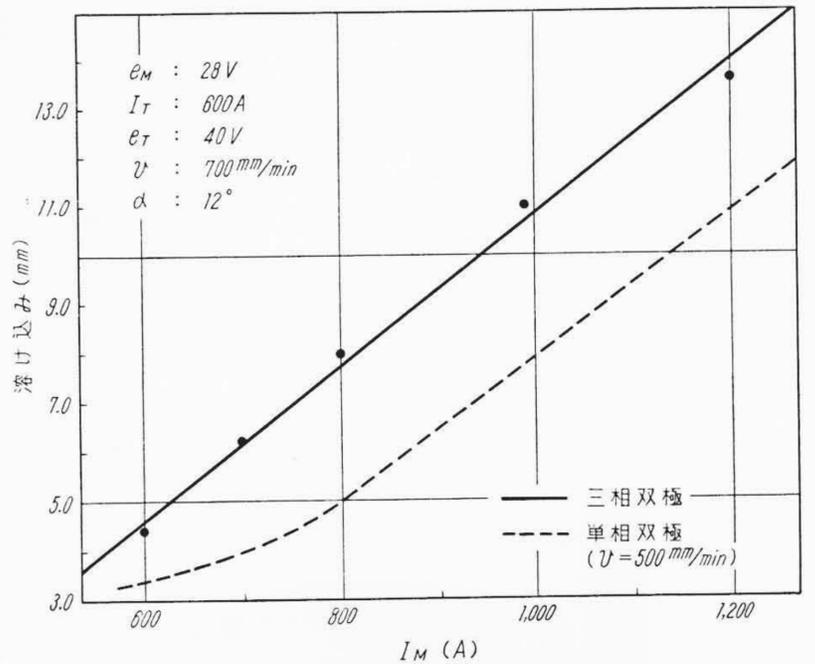
メイン電流  $I_M$  と溶込み  $p$  の関係は第11図に示すようになる。溶込み  $p$  は  $I_M$  の増加に伴って直線的に増加しており、 $I_M = 1,200 A$  では 13 mm をこえる溶込みが得られている。同図には単相双極溶接の場合の溶込みについて点線で併記してあるが、1,200 A においては  $p = 11 \text{ mm}$  であり三相双極の場合よりやや下回っている。溶接速度は単相双極の場合のほうがおそいのであるから、溶込みは三相双極のほうがかなり深いことが知られる。

電極間隔  $d$  と溶込み  $p$  の関係は第12図のとおりである。すなわち電極間隔が大になるほど溶込みは小になり、ある程度の間隔になるとそれ以上間隔が大になっても溶込みは一定になっている。これを熔融池の状態から考察すると、 $d$  が小なときは第13図のように両電極から発生するアークによって生じた熔融池が重畳し、その溶込みには  $I_M$  と  $I_T$  の両者が寄与するのに対して、 $d$  が大なる場合は第14図のように熔融池が分離するので  $I_T$  はほとんど溶込みには無関係となる。 $d$  が大なる場合にも  $I_M$  に対して  $I_T$  がきわめて大きい場合は  $I_T$  によって溶込みが決定されることもありうるであろうが、一般に  $I_T$  は  $I_M$  に等しいかまたは小であるから  $d$  が大なるときは溶込みに対して  $I_T$  は無関係と考えて差しつかえないであろう<sup>(3)</sup>。

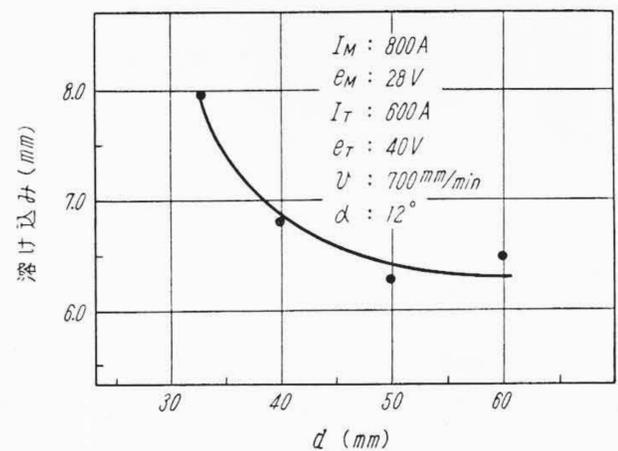
このように三相双極溶接においては溶込みが主としてメインアークによって支配されるもので、 $e_M$  も溶込み  $p$  に対してある程度影響を及ぼすが、実用する電圧の範囲においてその影響は約 1 mm に過ぎない。



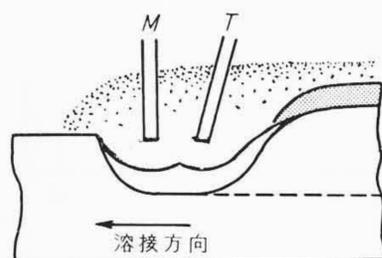
第10図 平面ビードの測定箇所



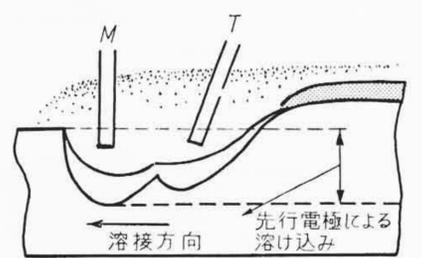
第11図  $I_M$  と溶込みの関係



第12図  $d$  と溶込みの関係



第13図  $d$  が小さい場合の熔融池

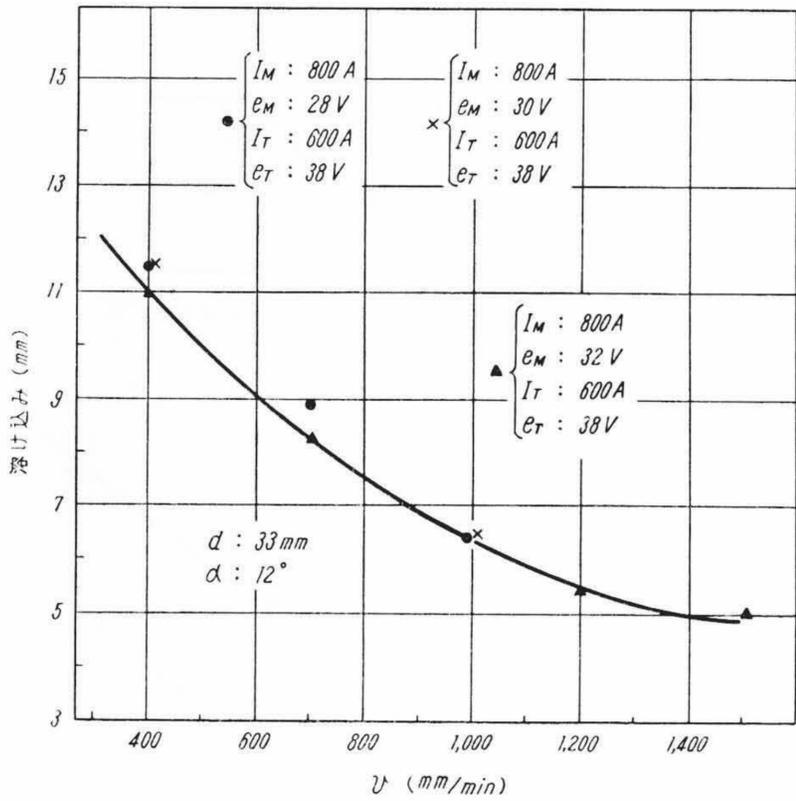


第14図  $d$  が大きい場合の熔融池

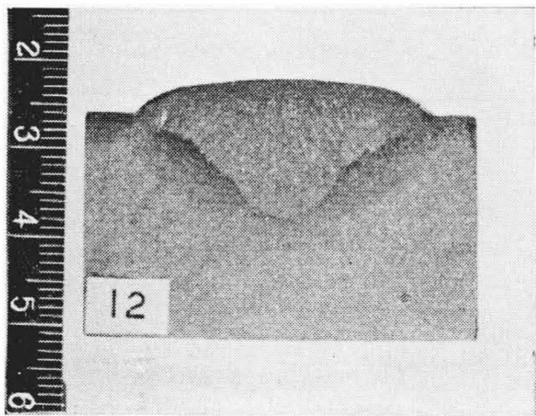
溶接速度  $v$  は溶込み  $p$  に対して第15図に示すようにかなりの影響を及ぼす。すなわち  $v$  が増加するに従い溶込みはかなりの減少を示す。

#### 6.2 ビード断面形状

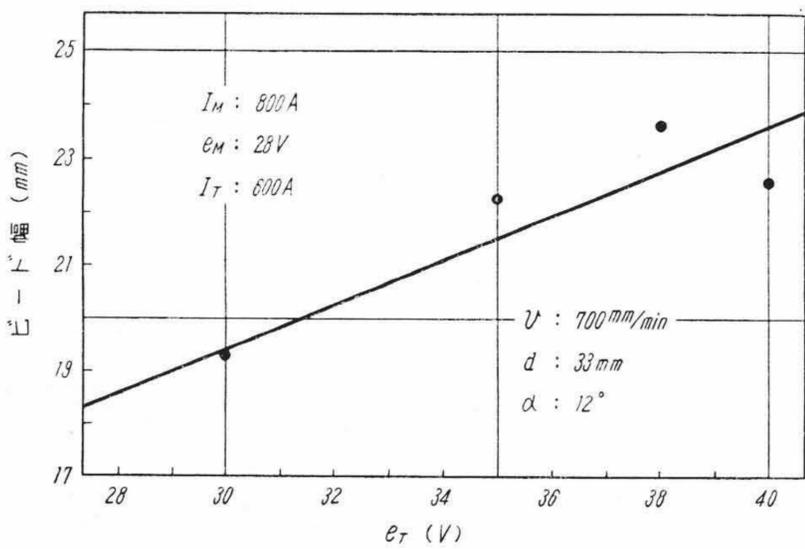
ビード断面形状は溶込み  $p$  に対するビード幅  $w$  の割合でほぼ決定することができるが、第16図に示すようにこれが適当な場合にはビード外観も良好である。溶込み  $p$  は主として電流 (特に  $I_M$ ) と溶接速度によって決定されるが、ビード幅  $w$  はアーク電圧と溶接速度によって左右される。



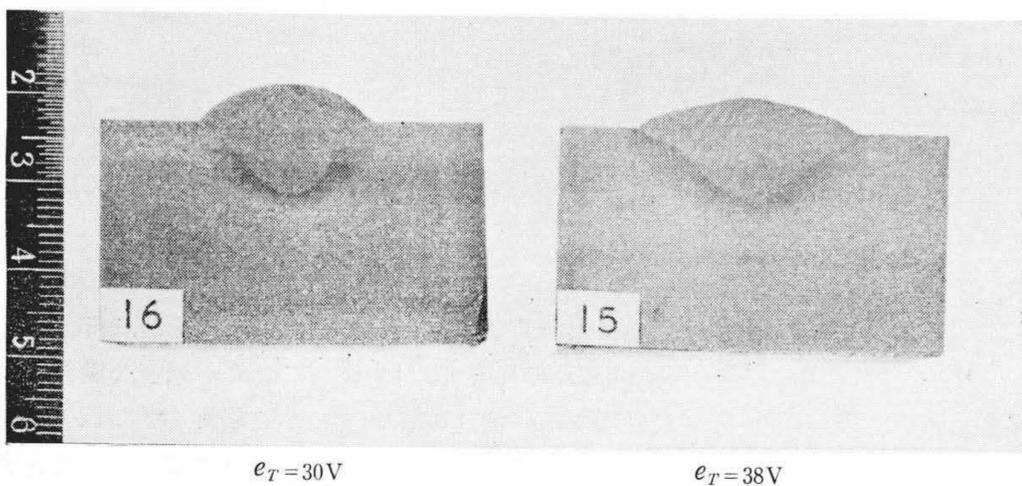
第15図  $v$  と溶込みの関係



第16図 良好なビード断面 ( $\frac{w}{p}=3$ )

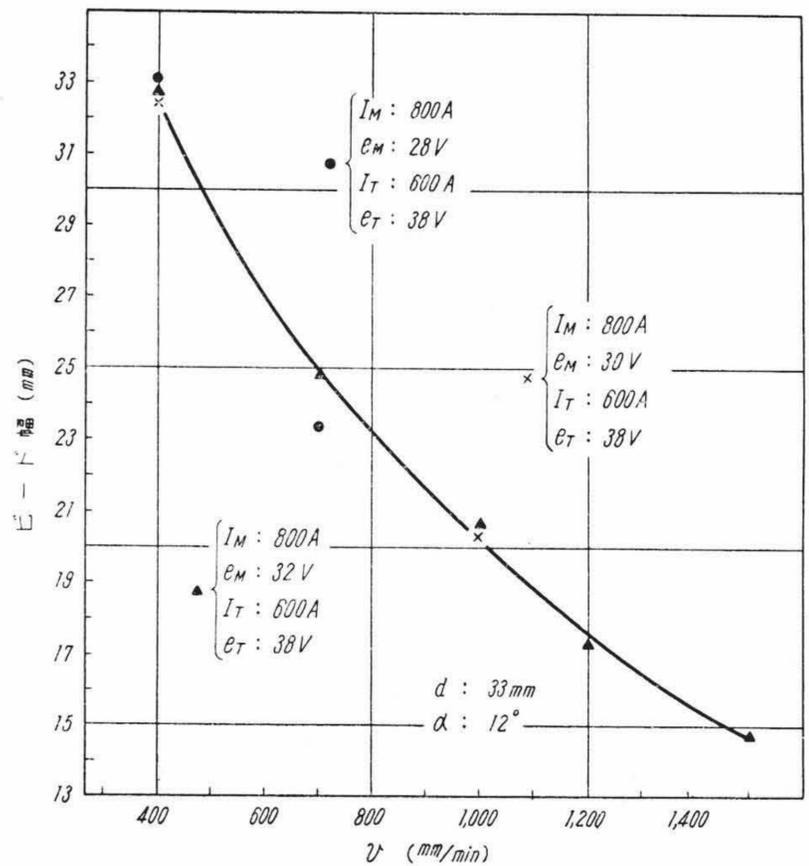


第17図  $e_T$  とビード幅の関係

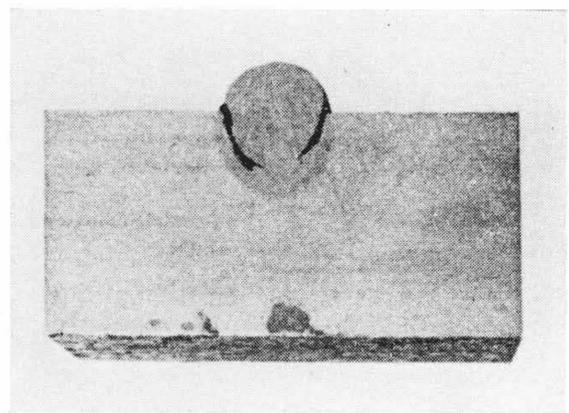


第18図  $e_T$  の影響

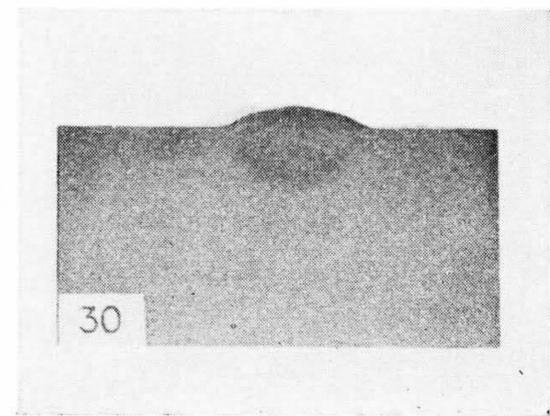
実験の結果ビード幅  $w$  は  $e_M$  によってごくわずかしき影響を受けないことが知られたが、これはビード幅やビード外観などビード表面付近の状態が主としてティーズアークによって決定されることを示すもので、ビード幅  $w$  は第17図に示すように電圧  $e_T$  の増加によって大幅に増大する。第18図は  $e_T$  が相違した場合のビード断面の変化を例示したものであって、2つのビード断面を比較すると、溶込みはほとんど同一でありながらビード幅が非常に相違しているので断面形状が明らかに異なったものになっている。しかしここで  $e_T$  の小なる場合の例として掲げたビード番号“16”の試験片は  $e_M = 28V$ ,  $e_T = 30V$  で溶接されたものであるが、このような低電圧で単電極溶接をするとビードが極端に細長い西洋梨状のビードになるのに反し、ビード“16”では正常な断面形状を有している。このことは単にビード外観の点ばかりでなく、熔着金属内の柱状晶の方向に関連したき裂感度の点でも非常に有利な現象と考えられる。



第19図  $v$  とビード幅の関係



単電極 (電流 800A, 電圧 40V)



三相双極

第20図 高速溶接のビード ( $v=1,200$  mm/min)

第19図は溶接速度  $v$  とビード幅  $w$  との関係を示したもので、 $v$  の増加とともに  $w$  はかなり急激に減少している。しかし、 $v$  の増加とともに溶込み  $p$  も減少するからビード断面形状は正常な形を示しており  $v=1,500$  mm/min の高速においても  $w/p$  の比率はほとんど変りがない。いっぽう単電極溶接では第20図に示すとおり  $v=1,200$  mm/min でも正常なビードをうることは困難であって、高速度溶接における三相双極溶接の優位性は明らかである。

### 6.3 電極間隔

さきに6.1項において電極間隔が溶込みに及ぼす影響について述べたが、電極間隔がビード断面形状に対して与える影響を究明するため、電極間隔を種々変化した場合のビード縦断面について調査した。その結果、 $d \leq 30$  mm では縦断面に先行ビードと後続ビードの区別がみられないが、 $d \geq 45$  mm では、ビード断面にみられなかった境界線が認められた。また、さきに電極間隔がアークの安定性に対して重要な影響を及ぼすことを述べたが、ビード外観に対してもまた同様な効果を及ぼすものである。すなわち、電極間隔が適当でアークが安定な場合はビード外観も良好になる。適正な電極間隔はメインアークとティーザアークによる溶融池が明りょうに分離しはじめの付近にあるから、厳密には  $I_M$  や  $v$  の値によって適正な  $d$  の値も異なるわけである。

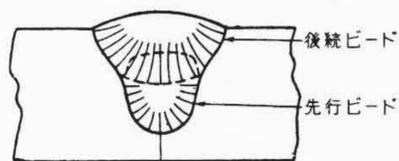
## 7. 開先内の溶接特性

ユニオンメルト溶接により比較的厚鋼板を溶接する場合、単電極溶接にせよ単相双極溶接にせよ、開先内ビードにおいてしばしば縦き裂の発生をみたが、これは多分にビード断面形状に起因するものである。三相双極溶接では前述した平面ビード溶接実験で明らかのように、ティーザアークによる後続ビードによってビード断面形状を整えることが可能であり、したがって開先内ビード溶接における縦き裂の防止にもある程度の可能性が期待できる。

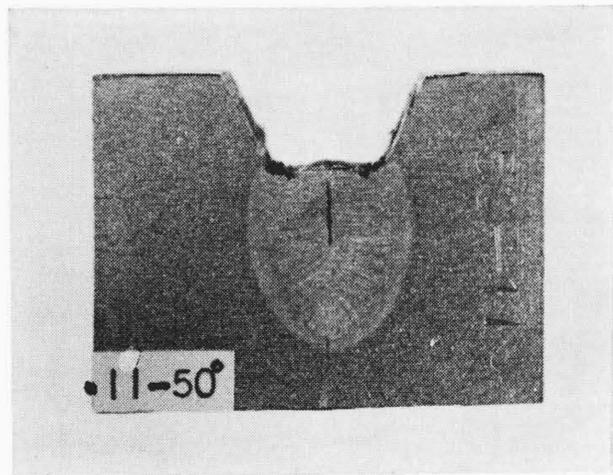
ここでは開先角度と溶接条件を変えてそのビード断面形状を調査し、縦き裂との関係およびその防止策について検討した。

試験板としては、板厚 36 mm のセミキルド鋼板を用いて、ルート寸法は 12 mm とし、開先角度は 60、50 および 40 度の3種について実験を行った。試験片は溶接による角変形を防止するため完全な拘束を与え、またルート部は十分密着した状態で溶接した。

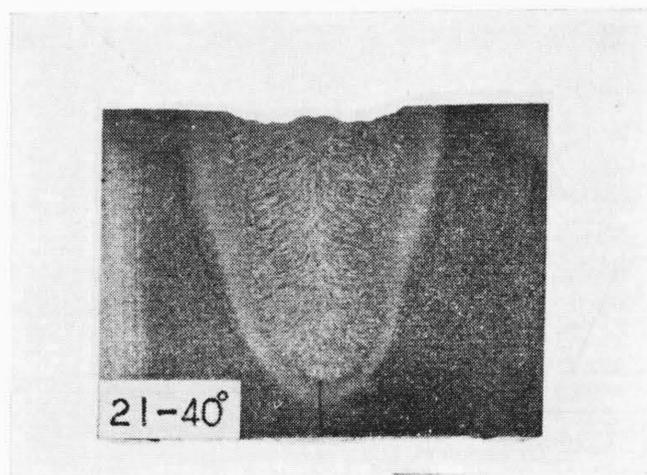
実験結果の例を第21図および第22図に示す。第21図は縦き裂の典型的なもので、この発生は明らかにビード断面形状に起因している。同図に示すとおりビード断面形状が西洋梨状になり、樹状晶が中央部に向かって成長するような溶接条件では、縦き裂の発生は避けにくい。溶接条件の選び方によっては樹状晶の方向を上向きにし、き裂の発生を防ぐことは可能であるが、しかしこの場合もビード中央部の弱点は避けえない。



第23図 一層で充てんした場合



第21図 典型的な縦き裂



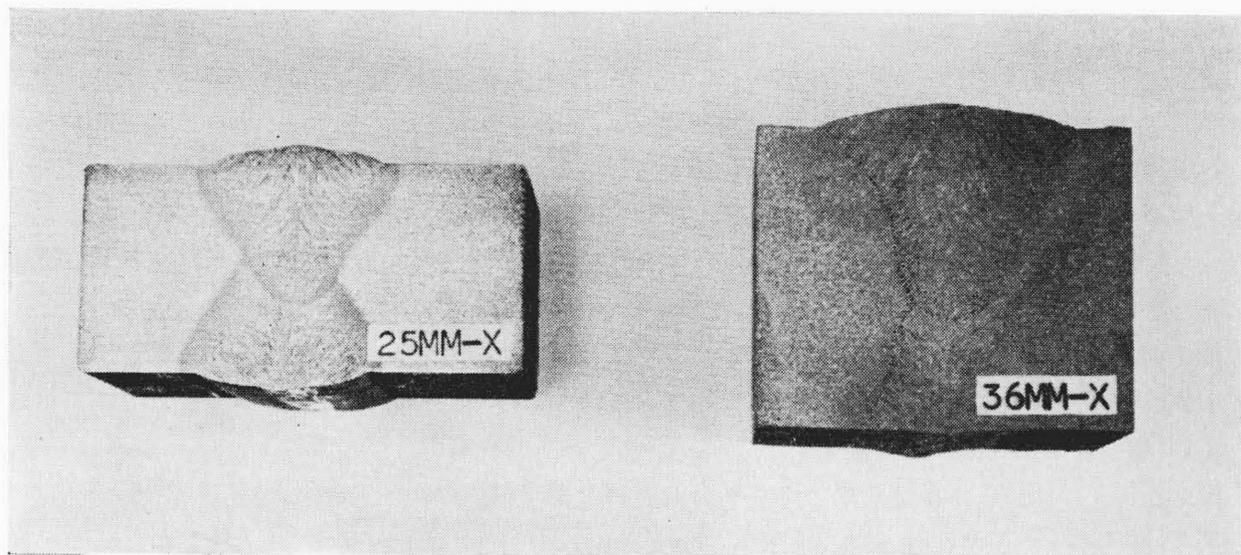
第22図 低速溶接の場合の開先内ビード

第22図は溶接速度の小なる場合のビード断面であるが開先角度が40度であるにもかかわらず縦き裂は発生していない。これは単に溶接部に対する単位長さ当りの熱入力が大きいためからではなく、樹状晶の成長の向きに関連した問題である。

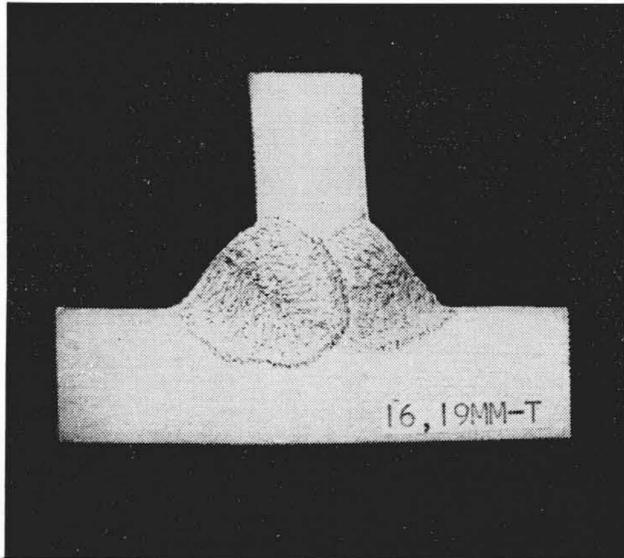
三相双極溶接では単電極や単相双極溶接の場合に比べて溶込みが深く、開先角度50度では10mmにも達する溶込みが得られるので、開先寸法としても当然特別なものを使用する必要がある。それと同時にビード断面も十分大きなものが容易に得られるから、できるだけ1層溶接で開先を充てんするように溶接条件を選択すべきである。このことは第22図でも例示したとおり、第23図に示すように樹状晶を上向きに発達させるためにも重要なことである。

実験結果から、実用範囲での最大溶込み量および単層最大溶接量を示せば次のとおりである。

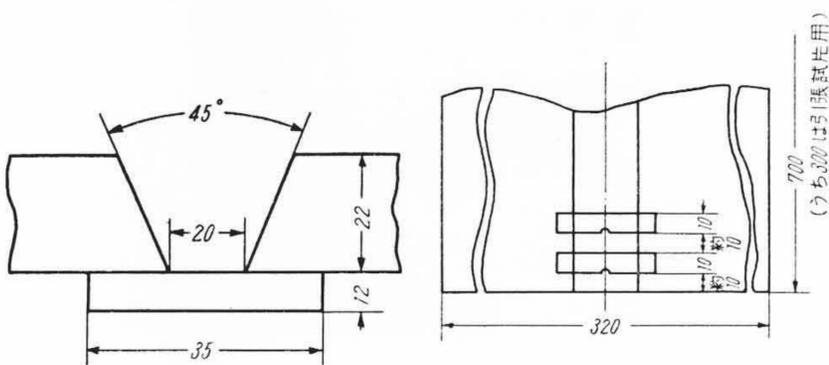
- (1) 最大溶込み 開先角度60度の場合：12mm  
開先角度50度の場合：10mm  
開先角度40度の場合：6mm
- (2) 単層最大溶着量 開先断面で：170mm<sup>2</sup>



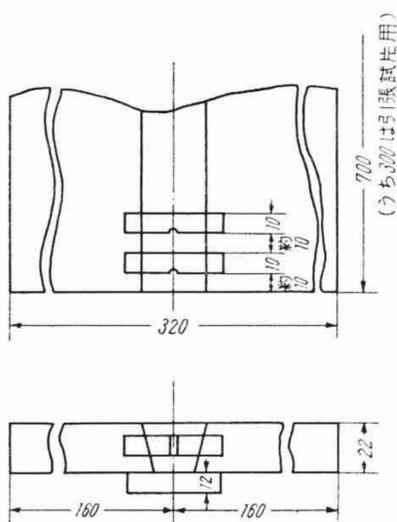
第24図 標準条件による溶接結果 (突合せ継手)



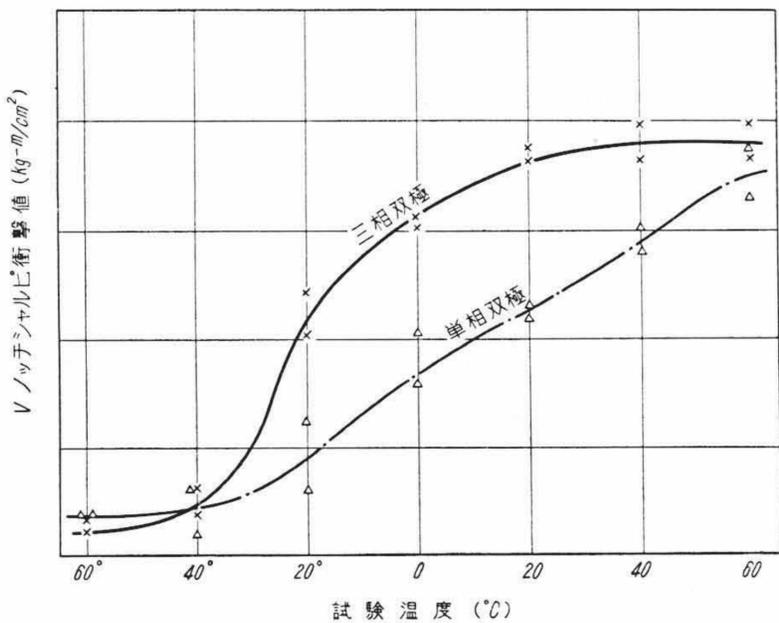
第25図 標準条件による熔接結果 (T継手突合せ熔接)



第26図 全熔着金属試験片開先形状



第27図 衝撃試験片採取要領



第28図 全熔着金属衝撃試験結果

### 8. 熔接結果

以上の基礎実験の結果に基づいて、突合せ継手およびT形突合せ継手の標準施工条件を決定した。三相双極熔接において単電極熔接と異なる特別な開先を用いるべきことは前述のとおりであるが、一般に突合せ継手においては板厚50mmまで、T継手では36mmまで両面1いっそう熔接が可能である。なお作業能率は適用板厚によっても異なるが、一般に単電極熔接に比べて約2.5倍になる。

#### 8.1 標準施工条件による熔接結果

標準施工条件による熔接部断面マクロ写真の一例を第24図および第25図に示す。

第3表 全熔着金属試験の熔接条件

$I_M$	$E_M$	$I_T$	$E_T$	$v$	$d$	$\alpha$
750A	30V	650A	35V	500mm/min	45mm	12°

第4表 全熔着金属の化学成分および引張試験結果

線材+ 熔接法	項目 フラックス	化学成分 (%)					引張試験			
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	断面収縮 (%)
三相双極	Oxweld 36 + Grade 80	0.15	0.30	1.34	0.018	0.016	39.2	52.3	33.4	65.1
							39.4	52.5	35.5	65.8
単相双極	Oxweld 36 + Grade 80	0.08	0.42	1.13	0.019	0.014	34.2	50.4	31.0	64.8
							34.0	50.9	32.4	62.4

突合わせ継手についてはその機械性も調査したが、従来の単電極および単相双極ユニオンメルト熔接の結果と比べてそんな色のない結果が得られた。

#### 8.2 全溶着金属の機械性

第26図に示す開先内に熔着金属を充てんし、その化学成分および機械的性質を試験した。熔接は第3表に示す条件により11パスのビード熔接とした。なお、実験結果は単相双極熔接の場合と比較してある。

第4表に熔着金属の化学成分および引張試験結果を示す。引張試験片の採取要領はJIS Z3211によった。

第27図に衝撃試験片採取要領を、第28図に試験結果を示す。試験片はJIS 5号試験片(Vノッチシャルピー試験片)を用いた。

この結果によれば、三相双極ユニオンメルト熔接による全溶着金属は十分良好な機械性を持っている。

### 9. 結 言

以上スコット結線による三相双極ユニオンメルト熔接について、その電気的特性、熔接特性および実用上の諸問題について検討した結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) スコット結線においてはメインアークおよびティーザアークともに安定であり、特にメインアークはきわめて安定である。
- (2) 電極のタンデム配置において電極間隔が不適當なとき、ティーザアークが不安定になる。
- (3) 平面ビードにおいては  $I_M$  が大で  $v$  が小なるほど熔込みは大きい。
- (4) 一般に三相双極熔接においては、メイン電極で深い熔込みを得て、ティーザ電極でビード形状をととのえるようにすればビード外観はきわめて良好で高速熔接が可能であり、作業性もすぐれている。この場合電極間隔は特に重要な因子である。
- (5) 三相双極熔接では特別な開先を使用する必要がある。
- (6) 熔接部の機械性は、単電極熔接に比べてそんな色なく、作業能率は約2.5倍に向上する。

以上のように三相双極ユニオンメルト熔接の実用化に成功したが、双極熔接によって開先内を1度に多量の熔着金属で充てんする場合、結晶粒の粗大化によって熔接部の衝撃値が低下しやすいので、今後この面での改善が必要であると考えられる。

#### 参 考 文 献

- (1) R. A. Kubli, H. I. Shrubbsall: Welding Journal, 35, 1128~1135 (Nov. 1956)
- (2) 安藤: 交流アーク熔接機 144~145 (昭 27) (電気書院)
- (3) 石井, 中田, 高木, 駒井, 馬場: 非破壊検査 8, 12(昭 34-1, 2)