

# 特殊溶着法によるアルミブロンズの肉盛について

日立造船KK\*, 技術研究所

第1研究室長 中井恒男\*\*

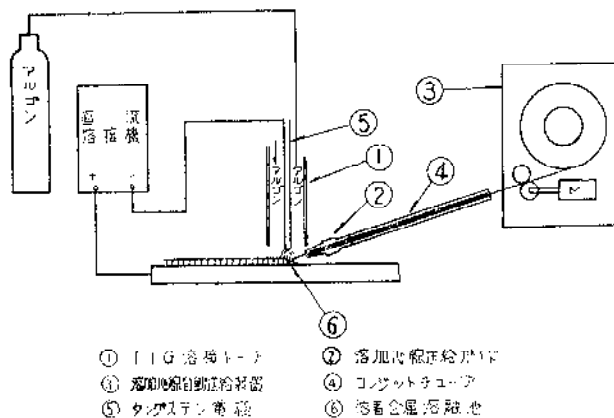
## 1. はしがき

耐食、耐摩耗などの目的から、種々の鋼材上に、その目的に応じた金属合金類の溶着肉盛の施工を行う場合、母材への溶込みが大となると肉盛金属中に母材成分が混入して、肉盛金属部の耐食、耐摩耗性をそこなう恐れがある。このため肉盛を行う際には、母材への溶込みという有害な現象を避けて溶着を行うのが理想的方法である。

この方法として非消耗式不活性ガス溶接法（TIG法）を利用して母材の溶融による溶込みを最少限度に抑制するような肉盛方法、すなわちタングステン電極と母材上の肉盛金属との間にアークを飛ばし、この肉盛金属の溶融プールへ溶加すべき肉盛金属の心線を高速度で送給しアーク熱の大部分は肉盛金属溶加心線の溶融に消費させて、母材への溶込みを殆んどなくすることのできる肉盛方法を見出した。

以下この新肉盛方法を、軟鋼板上へアルミブロンズの肉盛溶着に適用した結果にいて述べよう。

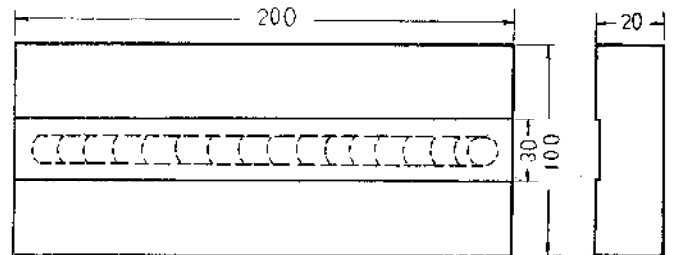
## 2. 実験の方法



第1図 肉盛溶接装置

図1に示すようにTIG溶接用トーチ①の先端に、肉盛すべき溶加心線を送給するためのガイド②を装着し、定速度心線送給装置③によつて任意の定速度で送り出される肉盛心線をコンジットチューブ④を経てガイド②に

送りこむ。ガイド②はアーク柱に対し肉盛心線を適当な一定の供給角度に保持して、溶融池内に肉盛心線を供給するためのものである。またトーチ①は走行台車に取付け移動させた。



第2図 肉盛用母材の寸法単位 (mm)

実験には母材として図2に示す寸法の軟鋼板を用い、肉盛りを行なう部分すなわち、試験板の長手方向の中央部 30 mm の間はシーパー加工により鋼板黒皮を削除した。

肉盛心線として使用した材料は直径 1.6 mm φ のアームスブロンズ線であつて、その化学成分を分析した結果は表1のとおりである。

溶着の熱源はアークであつて温度が高く、また熱集中性も大きいので、母材の溶込みを制限することによつて溶着金属の純度を高めるためには、溶着時の施工条件が重要な因子となる。考えられる因子としてはアーク電

第1表 肉盛用線材の化学成分 (%)

Cu	Fe	Al	Ni	Mn	C
87.83	3.39	7.32	0.66	0.79	0.009

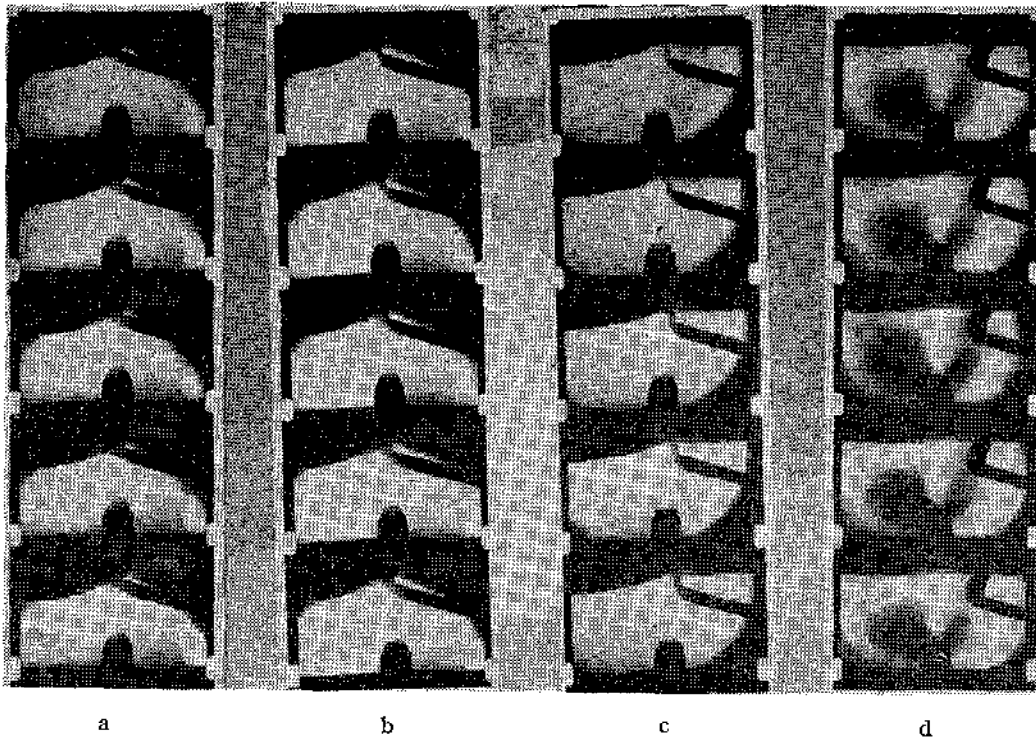
流、電圧、溶加心線送給速度、トーチ走行速度、タングステン電極と母材との間げき、心線およびタングステン電極の径ならびに板厚などいろいろ考えられるが、この肉盛方法の特徴をつかむため上記因子のうちアーク電流、アーク電圧、および溶加心線送給速度の3因子に注目しその他の因子は一定条件にして実験したものについて述べることにする。

## 3. アーク現象の高速写真撮影

この肉盛方法の構想は溶加心線を十分豊富に送給して溶融池中に絶えず新鮮な心線を送りこみ、母材が直接ア

\* 大阪市北区中之島2

\*\*工学博士



第3図 アーク周辺の高速度写真

送給速度 45cm/min 送給速度 120cm/min 送給速度 180cm/min 送給速度 240cm/min  
 溶込み率 2.1% 溶込み率 7.8% 溶込み率 0% 溶込み率 0%  
 (電流 200A, アーク電圧 17V, 走行速度 12cm/min)

アークにさらされないようにして母材の溶込みを抑えることにある。この現象は溶着中の溶融池の状態の観察を行えば明らかに説明されるであろう。そこで撮影したアークの高速度写真の一例を図3(a)~(d)に示す。シャッター速度はいずれも1800コマ/sである。a~dはそれぞれ電流200A, 走行速度12cm/minなる条件に対し、心線送給速度を45, 120, 180, および 240cm/min に変えたものである。この写真でわかるように心線送給速度のおそい場合には、(a)に見られるように心線の先端と溶融池との間に間げきがあり、送られてくる心線の先端はアーク柱で溶融してふくれ上がり塊りとなつて落下する。

これに対して送給速度が早くなると、(b)のように送られてくる心線の先端はアーク柱の中に入つて塊状の溶滴とならずに心線につながつたまま溶融池へと移行する。さらに送給速度が早くなると(c), (d)のように、心線は溶融状態にならずに溶融池へ突込んでいるのがよくわかる。

さらに、これらの写真を観察すると心線送給速度がもつともおそいaの場合にはアークはタングステン電極と軟鋼母材との間に飛んでいるが、心線送給速度がやや早い(b)の場合にはタングステン電極から出たアークは大部分が軟鋼母材、一部が心線の間を飛び、これより心線送給速度がさらに早くなつた(c)ではアークの大部分が

の予想をもつことができる。

また、これらの写真から、心線送給速度と溶融池の厚さの関係も明らかに認められる。すなわち、送給速度がおそいと溶融池の厚さが薄く、したがつてアーク熱によつて容易に母材に溶込みが生ずることになるであろう。

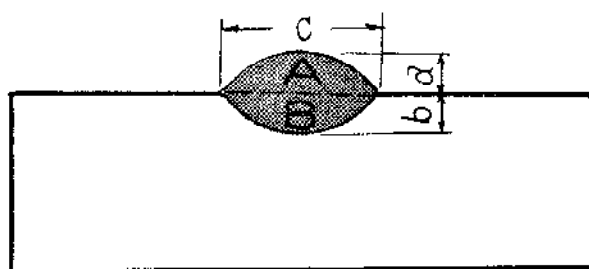
さらに(c), (d)においては、アークは高速で送給されてくる多量の心線が溶融してできた厚い溶融池に飛んでいるので、母材に溶込みを生ずるに至らないであろう。

このように高速度写真によるアークの観察から、溶着中の溶融池周辺の現象はきわめて明りようになり、溶込み量を小さくするために必要な条件に対する考え方に確実な根拠が与えられると思う。

そこで溶込みが肉盛金属の諸性質にどのように影響するかについてまず調べてみる必要がある。

#### 4. 肉盛金属の諸性質

溶着肉盛においては溶込みにより、溶着金属が稀釈されるわけであるが、この稀釈が溶着金属に及ぼす影響について調べよう。そこで溶込みの評価が問題となるが、ここでは次に述べるような溶込み率なる量をとることにした。すなわち図4に示すように溶込み面積を肉盛面積と溶込み面積との和、すなわち全溶着金属の面積で除した値の100分率を溶込み率と定義した。



第4図 溶着金属断面

- d : 肉盛りの高さ
- b : 溶込みの深さ
- C : 肉盛りの幅
- A : 肉盛面積
- B : 溶込み面積

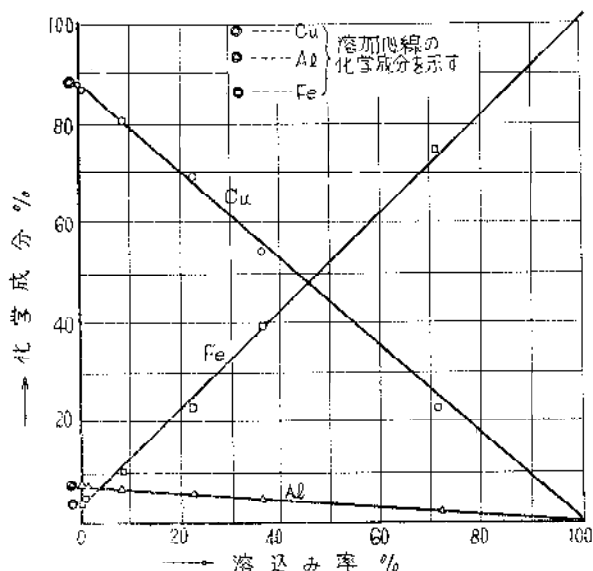
$$P = B / (A + B) : \text{溶込み率}$$

金属中の主成分の分析値はほぼこの直線上にのつていることがわかる。したがつて、先に定義した溶込み率とは稀釈率にほかならないことがわかる。以上の結果から溶加心線のもつ諸性質を 100%

(1) 肉盛金属の化学分析結果

溶着は不活性ふんい気中で行なうので、溶加心線中の合金成分の燃焼、酸化による損失が一応ないものと仮定すれば、肉盛された溶着属の組成は溶込み率の大小による稀釈の程度に従うはずである。すなわち、溶込みが大きいほど溶着金属中の母材成分は増し、また溶込みが小さいほど溶着金属は溶加心線に近い組成になるはずである。そこで、溶加心線の主成分である Cu および Al、ならびに母材の主成分である Fe が溶込み率によつてどのように変化しているかを示したのが図5である。

図中◎△□は溶加心線中の Cu, Al および Fe の含有量(%)を示している。



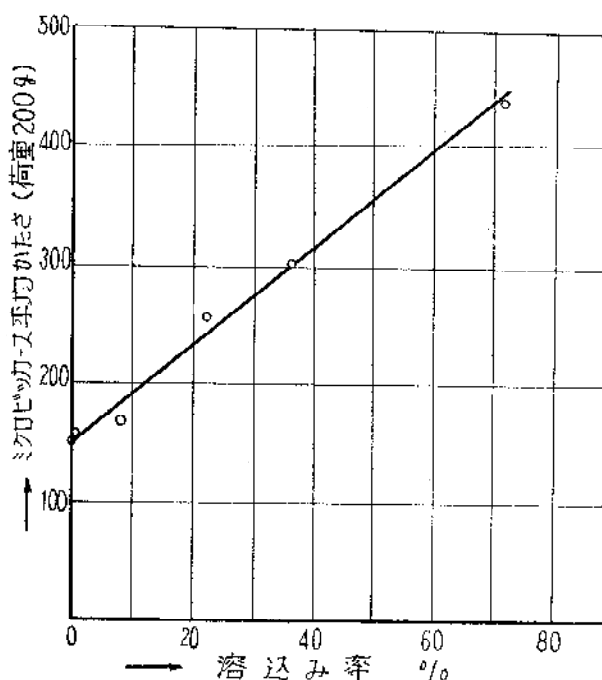
第5図 溶込み率と溶着金属の化学成分との関係

溶込率 0% の場合の肉盛金属の組成は溶加心線自身とほとんど差がないことが同図から明らかである。しかし溶込み率が増すとともに肉盛金属中の Cu および Al は次第に減少し、逆に Fe は増してくる。溶込み率の増大に伴う溶着金属主成分の減少すなわち稀釈は、溶込率 0% (溶加材) と 100% (母材) との間で直線的な関係をもつべきであるが、図5から各溶込み率に対する溶着

生かすためには、この溶込み率をできるだけ 0% にすることが必要であり、この溶込み率を知れば肉盛金属の大体の性質がわかることになる。

(2) 肉盛金属のかたさについて

溶着金属の組成は溶込み率により支配されるので、溶込みが異なれば溶着金属に生成される溶加材料と母材との合金も当然異なるべきである。そこで溶着金属のかたさ分布を計測し溶込み率との関連を求めた。溶込率と溶着金属中の平均かたさとの関係は図6に示すごとくである。図6に示すように溶込み率が増せば溶着金属平均か



第6図 溶込み率と肉盛金属の平均かたさとの関係

たさも次第に上昇する。溶込み率が約40%以上になるとマイクロピッカースかたさで300をこえるようになり、溶込み率70%の場合にはかたさは約450に達する。ただし肉盛りの目的を耐食におくとすれば当然溶込み率、すなわち稀釈率の制限は設けられるべきであつて、いま仮にこれを10%とすれば、稀釈による母材成分との合金の機

械的性質は、かたさから考えてさほど憂慮すべきものではないであろう。

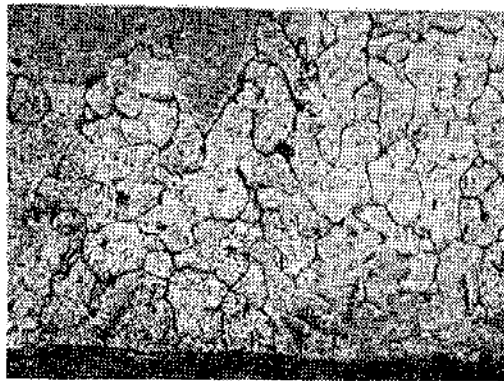
(3) 肉盛金属の顕微鏡組織

溶込み率の相違により溶着金属の組織がどのような影響をうけるかを調べるため顕微鏡組織の観察を行つたが、これらの溶込み境界線付近の肉盛金属の顕微鏡写真を図7(a)~(f)に示す。写真(a)によれば溶込み率0%の場合の肉盛金属部の組織は正常なCu—Al系の $\alpha$ 相固溶体であり溶込み境界線付近も清浄である。

(b)は溶込み率が0.7%の場合であるが、溶込み境

界線から約0.06mm位のごくせまい間にFeリッチの別の相の結晶粒が認められる。しかしこの範囲以外は正常な $\alpha$ 相の組織を呈する。次に溶込率が8.5%の(c)では溶込み境界線近くのごとくせまい範囲に(b)と同様なFeリッチの相が認められる。

しかし(b)と異なつて、溶込みがこの程度あれば境界線近傍以外の部分にもこの相が樹枝状に分散して認められる。さらに溶込みが大きくなるにつれて、(d)、(e)、(f)のようにこのFeリッチの相の量が増して、溶着金属全体に拡つてくる。



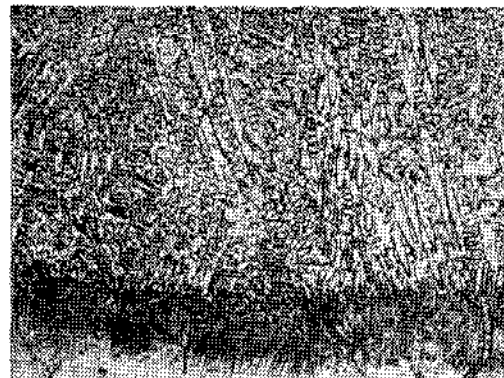
(a) 溶込み率 0%



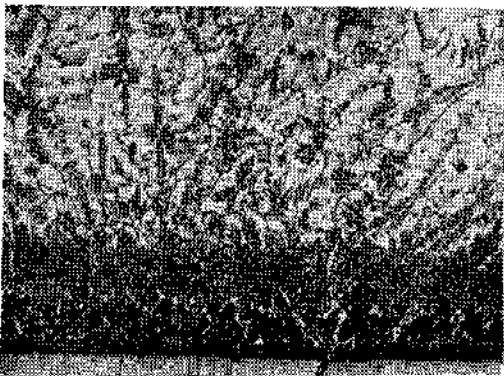
(d) 溶込み率 22.8%



(b) 溶込み率 0.7%



(e) 溶込み率 36.8%

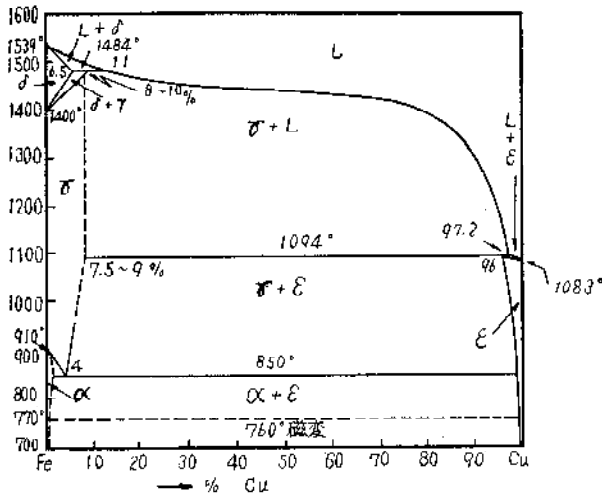


(c) 溶込み率 8.5%



(f) 溶込み率 71.5%

第7図 溶込み境界付近の肉盛金属顕微鏡組織



第8図 Cu-Fe系状態図

このFeリッチの相については図8のCu-Fe系状態図から次のごとき推測がなされる。すなわち、アルミブロンズの溶融肉盛金属に溶融したFeは、アルミブロンズの溶融点が高いために十分に拡散されず、部分的にFeのリッチな溶液が生じ、この溶液から凝固する。その凝固に当ってはまず、Cu-Fe系の $\gamma$ 相固溶体が凝固し、 $\epsilon$ 相固溶体が生ずる。さらに温度が下ると、 $\gamma$ 相固溶体から850°Cの共析点において、 $\gamma$ 相 $\rightarrow$  $\alpha$ 相+ $\epsilon$ 相なる共析反応により、 $\alpha$ 相と $\epsilon$ 相が析出するのであるけれども、肉盛部の冷却速度は早いので共析反応は抑制されてマルテンサイト変態が起り結果的には $\gamma$ 相の部分はマルテンサイト組織となつて冷却が完了するであろう。したがつて、このFeリッチの部分はマルテンサイト組織の部分と $\epsilon$ 相固溶体とからなるものと思われ、このマルテンサイトの存在のために顕微鏡組織に見られるFeリッチの相のかたさが高くなつてゐるものと推察される。

次に溶込み境界線の母材側の観察中に、肉盛金属が母材の結晶粒界に沿つて浸入しているのを発見した。その一例を図9に示す。



第9図 溶込み境界付近の母材顕微鏡

この写真には境界線より母材の結晶粒界に沿つて肉盛金属の浸入している白い線が見られる。この粒界浸入の状態について境界線上で綿密な顕微鏡観察を行なつてみた。その結果溶込み率が大きくなれば、粒界浸入数も増大する傾向のあることがわかつた。このような粒界浸入は、少ないほど好ましいことは容易に推察できるので、この点からも溶込み率を低くすることは有利である。

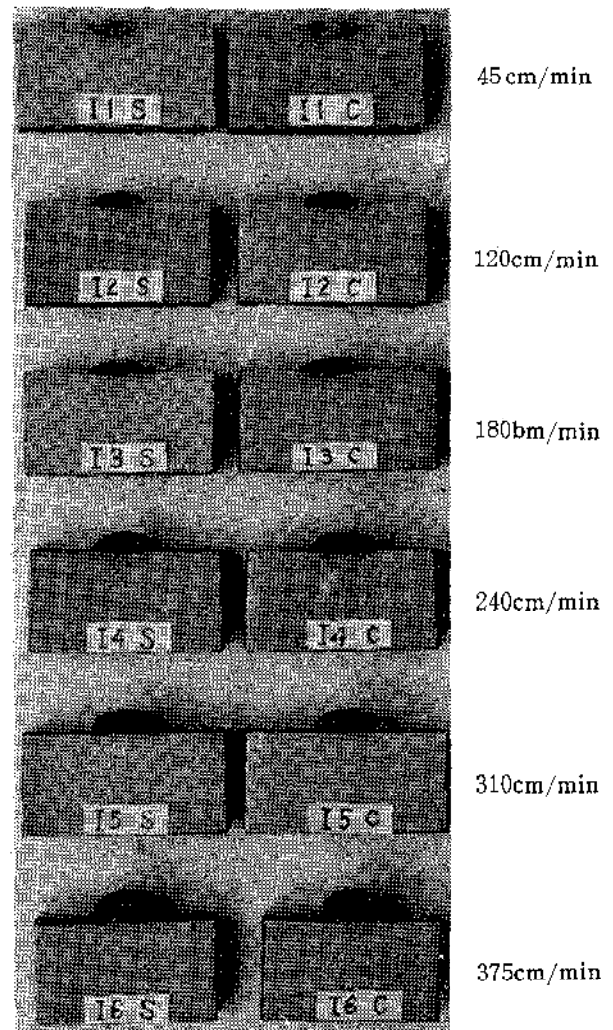
以上の顕微鏡組織観察の結果から、溶込み率を0%にすることは異常な金属学的組織を伴わない点でも、理想的な肉盛りであることを確認した。

### 5. 溶接条件と溶込み率との関係

以上溶着金属の諸性質について溶込み率をできるだけ少なくすることが、内盛溶接の場合にいかに必要なことであるかについて述べたが、溶込み率を少なくするためにはいかなる溶接条件を選ぶべきかについて述べる。

そこで溶込み率が溶接条件によつていかに変化するか、この両者の関係について調べてみよう。

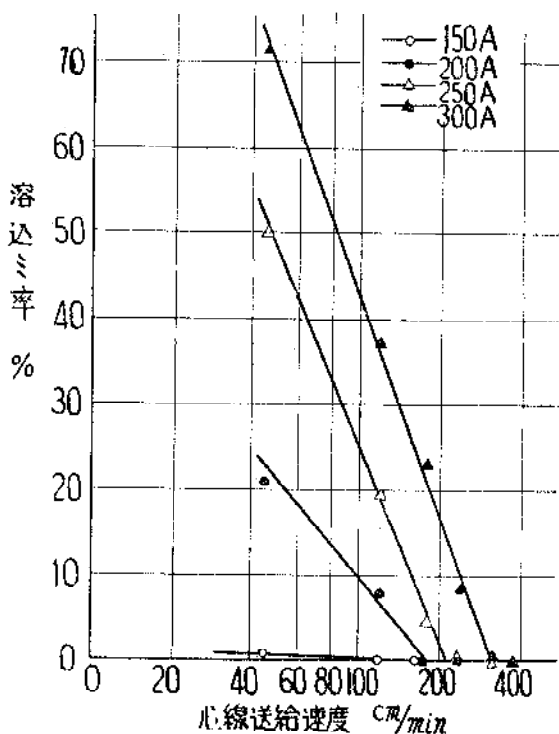
2の「実験の方法」の項でも述べたように本報告では



第10図 溶着部断面マクロ写真 (電流300 Amp, 電圧19 Volt, 走行速度12 cm/min)

溶接条件の諸因子のうち、トーチ走行速度 (12cm/min), タングステン電極と母材との間げき (10 mm), 給心送線の径 (1.6 mm), タングステンの電極の径 (4 mm), アルゴン流量 (15 l/min) 板厚 (20 mm) はいずれも一定として、アーク電流、電圧と心線送給速度の3因子と溶込み率との関係について調べた。

いま溶込み断面形状の代表的なマクロ写真の1例を図10に示す。この写真より明らかなように、同じ電流の場合でも心線送給速度によつて、母材の溶込みの程度が異なることがわかる。すなわち、心線送給速度が大になるにつれて溶込みが減少し、肉盛面積が逆に増大しているのが見られる。



第11図 心線送給速度と溶込率との関係

溶込み率と心線送給速度との関係を図示すると図11のようになり、アーク電流が一定のときには心線送給速度が大い程、また心線送給速度が一定のときにはアーク電流が少ない程溶込み率が小さくなるのがわかる。しかし、アーク電流が少なくなつて150A程度になると心線送給速度の減少にたいする溶込み率の増大の割合は非常に小さくなり、心線送給速度にほとんど影響されることがなく、溶込み率りに近い状態が得られるようになる。

このように溶込みを少なくするためにはアーク電流を下げればよいことがわかつたが、一方経済面から考えると肉盛金属量の少なくなることが要望される。このためには溶着条件をどのようにすればよいかを考えてみよう

前にも述べたようにこの溶着法はTIG法であるから、溶加材のスパッタ損失はないものと考えられる。また溶着中の不活性ふんい気のシールドが完全であるとすると、溶加材中の合金成分の燃焼や酸化による損失も無視することができる。そこで溶着金属の溶融前後の容積は不変であるとするれば次式が成立するはずである。

$$a \cdot l = A \cdot L \quad (1)$$

ただしここに

A : 溶着金属の肉盛断面積

L : 溶着長さ

a : 溶加心線断面積

l : 送給した溶加心線長

しかるに

$$\left. \begin{aligned} l &= v \cdot t \\ L &= V \cdot t \end{aligned} \right\}$$

ただしここに

v : 心線送給速度

V : トーチ走行速度

t : 長さLの溶着時間

であるから(1)式は

$$A = \frac{a}{V} v$$

(3)となる。すなわち肉盛面積Aは心線断面積a・走行速度Vを一定とすると心線送給速度vにたいして比例関係にあることになる。これから明らかなように肉盛金属量を少なくするためには心線送給速度を小さくすることが必要である。また(3)式からわかるようにトーチ走行速度を大とすることによつても肉盛面積を小さくすることができる。

一般にはトーチ走行速度を大にすれば溶込みは小となるので、溶込みを○に近づけ、かつ肉盛面積を小さくするためには、トーチ走行速度と心線送給速度とのかね合を考えた上で、できるだけ低い電流を使用することが必要である。

## 6. あとがき

軟鋼板上にアームスブロンズの肉盛を行なうに際してこの特殊溶着法によると、異種金属間の融合による異相の出現を抑制できるのではないかとの着想にもとずき、この場合の溶着条件と溶着部の断面形状との関連、およびアーク周辺の高速度写真による観察、また溶込みと肉盛金属部の諸性質との関連について実験を行なつた。

主要な実験結果を要約すると次のようである。

- (1) 異種金属を溶着肉盛りする場合には、母材の溶込みを最小にとどめ、溶込みによる肉盛金属の物理的・化学的性質の変化を最小にすることが必要であるが、特

(以下47頁へ続く)

(28頁より続く)

殊TIG溶接法によれば溶込み率0%の溶着も可能である。

- (2) 溶着金属の化学成分の稀釈およびかたさは溶込み率と直線的關係にあり、溶込み率が增大とすると稀釈され硬化する。
- (3) 肉盛金属の顕微鏡組織観察の結果、溶込率0%の溶着金属は、正常な $\alpha$ 組織であるが、溶込み率が増すにつれてFeリッチの相が増してくる。

以上のごとく異種金属の肉盛りにこの特殊溶着法を適用すれば、溶込み率0%の溶着を行ない得るとともに、このような溶着金属の諸性質は明らかに好ましいものであることが判明した。