Fig. 11 Calculation of equation (6) when $\beta=0.5$, $m=3.12$

それ以後の段階においても開先間隔がほとんど閉じることのないことによるものと考えられる。

Case 3 の場合には、熔接方向が前の場合と逆に円の中心から外方へ向うことに注意して、同様の方法で u_B の値を求めてみると次のようになる。

$$u_B = (m+1) \cdot \frac{g_0 L}{s^2} \left\{ (1+sz) \ln(1+sz) - sz - \frac{\beta(s z)^2}{2} \right\} - 2m \cdot \frac{g_0 L}{s^3} \left\{ \frac{(1+sz)^2 \ln(1+sz)}{2} - \frac{sz(2+3sz)}{4} - \frac{\beta(s z)^3}{6} \right\} + u_0 \quad (7)$$

が手熔接とユニオンメルト熔接とで異なる理由は、ユニオンメルト熔接では一般に手熔接に比べて電流が高いため、熔接開始直後の高温の状態における開先間隔の開き量が手熔接に比べて著しく大きいこと、熔接速度が一般に大きいため、

この場合には開先端の移動が Case 1 の場合ほど自由ではない。そこでいま仮に $u_0=0$, $\beta=0.1$ として u_B と z との関係式(7)から計算してみると Fig. 12 のようになり Fig. 8 に示した実験結果の特性とほぼ一致する。

Fig. 12 Calculation of equation (7) when $\beta=0.1$, $m=3.12$

5 結 論

本研究の結果によると突合わせ継手の回転変形のあらわれ方は、外的拘束の条件により全く異なる。周辺自由な突合わせ継手の第1層を熔接する場合には、手熔接とユニオンメルト熔接との差が顕著にあらわれた。(Fig. 6, Fig. 7) 第2層目以後は両者の特性は全く同様であり、変形量の大きさにも大差はない。(Fig. 2~5) 継手の拘束の程度と熔接条件とによってこのような差異のあらわれる理由を簡単な計算によって定性的に説明した。

最後に試験片作製に協力せられた播磨造船所、川崎重工業 K.K. および実験に協力せられた城宏、滝川光一の両君に厚く御礼申上げる。

銅板の窒素ガスアーク熔接*

大 西 巖** 奥 井 大 三**

Nitrogen-Arc Welding of Copper Plate*

By I. Onishi** and T. Okui**

Abstract

Phosphor deoxidized copper and also tough pitch copper plates of 3-4mm thickness were butt welded with nitrogen-arc welding process. Welding conditions such as nitrogen flow, welding current, arc length and travelling speed were selected properly. Good weld result was obtained only when silicon deoxidized copper was used as a filler rod.

1 結 言

最近、主として経済的な見地からと考えられるが、窒素ガスアークにより銅の熔接を試みんとする傾向がある。窒素は銅に対して、特に銅の温度が 1400°C 以下ならば何等

の作用を行わないことが明らかであり、既に Edwin あるいは Winterton 等もこの熔接の可能性を報告している。

著者等はこの方法により純銅を熔接せんとし、熔接の際に生じる種々の現象を報告すると同時に実際熔接する時の諸条件を明らかにしたいために多少の実験を行った。

2 熔接装置、器具、材料

容量 600A の直流熔接機を正極性として使用した。トーチとしてはアルゴンアーク熔接用の 300A のものをその

* 原稿受付 昭和31年5月2日 (昭和31年度熔接学会春季学術講演会において発表)

** 正員 大阪大学工学部 Member Faculty of Engineering Osaka University

Fig. 1 Apparatus for nitrogen arc welding

まゝ使用した。電極は直径 $\frac{1}{8}$ " の 1%トリウムタングステンである。Fig. 1は熔接装置を示す。図において台車 a は銅板 f をのせたまゝレール e の上を移動し、トーチ b は固定されている。

窒素は市販の純窒素であり、酸素の存在は認められず、水分は $100\text{kg}/\text{cm}^2$ において $0.105\text{mg}/\text{l}$ 程度を含有している。窒素流量はメーターを補正して測定した。

銅板は厚さ 4mm および 3mm であり、その寸法は 80

Fig. 2 Formation of surface blow holes by various welding factors

Table 1 Chemical Composition of Mother Metals and Filler Rods

Material		Cu %	Pb %	P %	Si %	Fe %	Mn %	Sn %
Mother plate	Phosphor deoxidized copper	99.926	tr	0.030	—	tr	nil	tr
	tough pitch-copper	99.892	tr	tr	—	tr	nil	tr
Filler Rod	Silicon deoxidized copper	98.940	tr	—	0.382	0.008	0.070	0.445
	Phosphor deoxidized copper	99.764	0.148	0.036	—	tr	nil	tr
	Copper wire for electrical use	99.719	0.166	—	—	tr	nil	tr

×240mm である。熔接棒は直径 4mm の銅線を使用して、Table 1 はその組成を示す。

3 予備実験

最初、厚さ 4mm の磷脱酸銅母板面中央を長さの方向に約 150mm の間、一直線に熔融した。もちろん熔接棒は使用していない。かくの如き実験をアルゴンアークで行えば、銅面は平滑、平坦で単に熔融の跡を残すのみであるが、窒素アークの場合は熔融部が盛り上がり、恰も熔接棒を使用したかの如き外観を呈する。この現象は表面に連続的に生じた大小のガスホールに起因している。しかしながら、熔融がある程度進行して母材

Fig. 3 Depth and width of solidified zone

が加熱されてくるとガスホールは内部に生じ表面に現われなくなる。

表面に気泡の現われた部分の長さを b とし、熔融部全長を l として b/l の値とガス流量、電弧長、移行速度、電流値等との関係を示せばそれぞれ Fig. 2 の (A). (B). (C). (D) の如くなる。この実験は予備実験の予備として行ったに過ぎないものであり、横軸以外の諸条件は熔接を行い易い事実を目標にしてとっている。

次に熔融金属部が凝固した後、熔融部の幅と深さを測定した。Fig. 3 (A) は窒素流量とこれ等の値との関係であり、さらに流量と電流値との関係を△印で示す。窒素流量が増加すると電弧電流が次第に増大し、ある点に至って逆に降下している。本実験に使用した熔接機の電流、電圧特性は実験時の如き電圧の範囲内では微小の電圧変化による電流の変化が鋭敏であったように見受けられる。すなわち窒素流量が電弧電圧に影響してかくの如き結果を生じたものと考えている。

熔融部の幅、深さと電弧長との関係は Fig. 3 (B) の如くであり、深さは電弧長2—3mmにおいて最小値を示すが、幅は増大している。

Fig. 3 (C). (D) はそれぞれ移行速度および電流値との関係であり、傾向としては一般の熔接の場合と同様である。

これ等の事実より窒素流量を無制限に増加することは不都合であり、本実験の如き条件下においては 15l/min 程度までにとめておく方が適当であると考えられる。Fig. 4 は後述のレクチアーク直流熔接機により長さ285mmを熔接せる場合の電極の消耗を示す。電極の消耗はガス流量

Fig. 4 Electrode consumption

と関係し、15lと9lとにおいては前者の方が著しい。また電弧長の増大はガスによる被覆能を減じることが既にアルゴンアーク熔接において認められており、さらに本実験においても電流値の著しい低下を示したが、熔融の幅、深さの増大のためには幾分か長い方が好ましいと考えられる。

4 熔接棒を用いた熔着実験

前記の如く母材面に生じるガスホールの原因が窒素中に存在する水分にあるか、あるいは母材の材質にあるか等は明らかでないが、Table 1 に示す如き各種の母材および熔接棒を使用して実験を行うことはこれを説明する一助ともなると考え、母板上に熔着金属を造る実験を行った。

実験〔I〕 Fig. 1 に示した熔接装置において熔接棒を約30°に傾斜、保持し、半自動的に前進熔接を行った。母板は厚さ4mmの磷脱酸銅であり、熔接棒は磷脱酸銅およびタフピッチ（電気用銅）を使用した。熔接条件はTable 2 に示す如くである。

Table 2 Conditions of Semi-Automatic Nitrogen-Arc Welding

Filler rod	Mother metal	Plate thickness mm	Nitrogen flow l/min	Welding current A	Welding speed cm/min	X-ray film no.
Phosphor deoxidized copper	Phosphor deoxidized copper	4	14.5	235—210	17—35	6
◇	◇	4	14.5	270—260	27.5	5
Copper wire for electrical use	◇	4	14.5	260	27.5	4

Table 3 Conditions of Manual Nitrogen-Arc Welding

Filler rod	Mother metal	Plate thickness mm	Nitrogen flow l/min	Welding current A	X-ray film no.
Phosphor deoxidized copper	Phosphor deoxidized copper	4	15.2	200	3
Silicon deoxidized copper	◇	4	15.2	200	1
◇	◇	4	15.2	200	2
Copper wire for electrical use	◇	4	15.2	200	7

X-線試験の結果これ等の熔着金属中にはガスホールが存在すること多く、表面に現われたものもあった。また熔着金属の長さの方向に亀裂を生じることも多い。

実験 (II) 容量 600A の別の直流熔接機 (レクチアーク) を使用し、アルゴンアーク熔接の熟練者により手熔接を行った。この場合の母材ならびに熔接条件は Table 3 に示す如くである。

X-線透過試験の結果より見るに、熔接棒として珪素脱酸棒を使用した場合は多少のアンダーカットは存在していたが、熔着金属中にガスホールは存在しなかった。脱酸銅および普通銅線を熔接棒とした場合には熔着金属中に多数のブローホールが存在するのが見受けられた。すなわち純銅の窒素アーク熔接においては熔接棒の種類が熔接成績に著しく影響すると考えられる。

Fig. 5 は透過X線写真を示す。

5 突合せ熔接

前記実験 (II) に述べた熔接機を使用し、種々の母材、熔接棒の組合わせによる突合せ熔接を手熔接前進法によって行った。

Table 4 は突合せ熔接における熔接条件ならびに熔接部より切り取った試験片についての試験結果を示す。

Fig. 5 X-ray photographs

Table 4 Nitrogen Arc Welding of Phosphor Deoxidized Copper and Tough Pitch Copper

Filler rod	Plate thickness mm	Base metal	Nitrogen flow l/min	Welding current A	Welding speed cm/min	Mechanical properties*			Fracture at
						Tensile strength kg/mm ²	Elongation % (G.L.=20mm)	Bend angle	
Phosphor deoxidized copper	4	Phosphor deoxidized copper	15.2	215—225	18.7	9.1	8.2	35	Tw, Aw
	4	Tough-pitch copper	15.2	208—220	26.3	10.4	9.5	22	Tw
	3	Phosphor deoxidized copper	9.2	198—200	34.5	12.6	5	9	Tw
	3	Tough-pitch copper	9.2	168—170	26.8	—	—	—	—
Silicon deoxidized copper	4	Phosphor deoxidized copper	15.2	218—222	33.5	20.7	34.5	152	Aw
	4	◇	9.2	230—240	34.4	21.3	42.0	152	Aw
	4	◇	9.2	200—210	28.4	22.0	53.0	78	Aw
	4	Tough-pitch copper	15.2	220—230	35.9	20.9	27.0	96	Tw, Aw
	4	◇	9.2	218—220	33.8	18.7	24.3	150	Aw
	4	◇	9.2	198—204	29.8	22.1	47.0	77	Aw
	3	Phosphor deoxidized copper	9.2	186—196	42.9	16.6	17.0	142	Aw
	3	Tough-pitch copper	9.2	160—168	23.0	16.0	22.2	152	Aw, Tw
Copper wire for electrical uses	3	Phosphor deoxidized copper	9.2	158—164	24.4	3.4	6.2	7	—
	3	Tough-pitch copper	9.2	168—170	24.2	—	—	—	—

* test condition ; as weld (mean values) Aw ; adjacent to weld Tw ; through weld

Fig. 6

Fig. 6 (A) は試験片の切り取り要領を示す。幅 40mm の部分は Fig. 6 (B) の如く加工して引張試験にあて、幅 25mm および 30mm の部分は一樣に 20mm の幅に仕上げ曲げ試験用とした。

各種熔接棒により熔接した場合の記録を示せば次の如くである。

(a) 磷脱酸銅熔接棒

熔融金属の流れは良好であるが、モールドプールよりのガス吹きがあり、ビードの波形に沿って表面に気泡が現われる。透過試験によればビード全般に亘って大小極めて多数の気泡が存在している。厚さ 3mm の母材の場合はビード方向の亀裂を生じたものもあった。タフピッチ銅母材においては気泡、亀裂の発生は特に著しかった。

(b) 珪素脱酸銅熔接棒

熔融金属の流れは磷脱酸銅熔接棒の場合に劣るが、プールよりのガス吹きは見られず、X線試験においても気泡は殆ど存在していない。顕微鏡検査により熔接部境界附近に僅に気泡が散見される程度である。またビード波形は際立たず、平滑、平坦に近い。アンダーカットは多少生じ易いようである。

(c) 普通電線(タフピッチ銅)を熔接棒とした場合

熔融金属からのガス吹きが激しく、熔接ははなはだ困難である。ビードの波形に沿って多数の気泡を生じ、表面にスラグの附着することが多い。X線試験によれば大気泡が集まっているのが見られる。またビードのほぼ中央においてビード方向の亀裂を生じることがある。

6 突合せ熔接部の試験結果および考察

(a) 引張りおよび曲げ試験

Table 4 の試験結果に明らかな如く、いづれの熔接棒の場合でも窒素流量の増加は熔接結果に好ましい影響を与えていない。たゞし曲げ角度が窒素流量の減少に伴って低下している理由は明らかでない。この曲げ試験は荷重速度 41 mm/min, スパン 40mm, ラム直径 10mm で行っているが、さらに多数の試験を必要とするものと考えられる。

磷脱酸銅熔接棒を用いたものゝ切断面には多数の気泡が見られる。銅電線を熔接棒に使用した場合にはビード方向の亀裂を生じることがある。母材として脱酸銅を使用しても、タフピッチ銅を使用しても、良好な機械的性質の熔接部を得るためには熔接棒として珪素脱酸銅を使用することが必要である。

しかしながら本実験に使用した 2 種の母材は共に 0.10% 以上の鉛を含有しており、ビード方向に発生する亀裂の原因が結晶粒界に析出した鉛のための赤熱脆性によるのではないかとの疑もあり、この点を明らかにしなければ母材としての適否は未だ断定し得ないと考えられる。

(b) 硬度試験

熔接部の硬度分布は各試験片に就て測定したが、その一例を示せば Fig. 7 の如くである。Fig. 7 (A) は熔接棒が磷脱酸銅で母材が磷脱酸銅およびタフピッチ銅の場合である。この場合、熔着部の硬度は母材部硬度に比較して幾分低くなっている。熔接棒として珪素脱酸銅を使用した場

Fig. 7

Fig. 8
Copper plate
(Phosphor deoxidized copper)
Weld metal
(silicon deoxidized copper)

Fig. 9
Copper plate
(P-deoxidized copper)
Weld metal
(Si-deoxidized copper)

Fig. 10
Copper plate
(P-deoxidized copper)
Weld metal
(P-deoxidized copper)

Fig. 11
Copper plate
(P-deoxidized copper)
Weld metal
(P-deoxidized copper)

Fig. 12
Copper plate
(P-deoxidized copper)
Weld metal
(copper for electrical use)

Fig. 13
Weld metal
(Filler metal ; Copper wire for electrical use)

合、母材が燐脱酸銅ならば熔着部硬度は母材よりも高くなり、時には低くなり一定しない。

Fig. 7 (B) は熔接棒として珪素脱酸銅を使用した場合を示す。

(c) 顕微鏡試験

顕微鏡組織を見るに Fig. 8 Fig. 13 の如く、熔接棒が珪素脱酸銅で、母材が燐脱酸銅の場合は熔着金属と母材の境界部に僅かの気泡が見受けられる程度である。しかし、熔接棒として燐脱酸銅と電線を使用した場合は熔着金属中に大なる気泡が存在し、さらに後者においては不純物の集積が見受けられる。

7 結 言

以上の実験において明らかな如く、銅の窒素ガスアーク

熔接は一応可能である。また厚さ 3—4mm の銅板 熔接に対する熔接条件を見出すことができた。最も重要な点は熔接棒として珪素脱酸銅を使用することであり、この際生じ易いアンダーカットは操作の熟練により克服し得ると考えられる。

最後に本実験の材料を提供された古河電気工業大阪伸銅所ならびに実験に御協力を得た日本蒸溜工業技術部に対し厚く御礼申上げる次第である。

文 献

Nitrogen-arc welding of copper K. Winterton British Welding Journal 1954.

Nitrogen-arc welding of copper Edwin Davis, C.A. Terry British Welding Journal 1954.

1957年度国際熔接學會 (I. I. W.) 年次大會への論文の推せん依頼について

1957年度国際熔接学会年次大会が、1957年 6 月 29 日から 7 月 6 日までエツセンにおいて開催される旨、連絡がありましたのでお知らせいたします。

つきましては、御多忙中恐縮に存じますが、標記大会へ提出する論文の題目および要旨を、きたる 9 月 30 日までに日本学術会議内本研究連絡委員会係あて御推せん下さるようお願い申し上げます。

日本学術会議熔接学研究連絡委員会 委員長 岡 田 実