(5) したがって, 溶接金属幅および炭素当量 (または硬さ) が与えられれば, 溶接金属の靱性水準を推定することが可能となる。

参 考 文 献

1) 小菅, 国定, 仲田, 田中: 電子ビーム溶接部の靱性 (第1報), 溶

接学会論文集, 3-2 (1985) 284-290

2) S. Elliott: The Effect of Process Parameters on the Metal Toughness of EB Welds in a Range of C and C-Mn Steels, TWI Research Report, No. 169/1981, December, 1981

3) B. G. Sudreau, B. D. Sivry and O. R. Anselme: Electron Beam Weldability for Deep Sea Pipelines, Offshore Technology Conference, OTC4102, 1981

ベリリウム銅合金の固相溶接に関する研究 (第2報)*

—め っ き 効 果—

橋本 達哉**, 横田 武男**, 森河 和雄***, 岩根 徳明****

Solid Phase Welding of Beryllium-Copper Alloy (Report 2)*

—Effects of plating on weldability—

by Tatsuya Hashimoto**, Takeo Yokota**, Kazuo Morikawa*** and Noriaki Iwane****

In this report, the effects of copper and nickel plating in advance of welding on the solid phase weldability of beryllium-copper are studied, using the so-called 25-alloy bar which contains about 2.0%Be. The results obtained are summarized as follows.

- [1] Optimum thickness of plating for welding is about $5\mu\text{m}$ in copper and $2.5\mu\text{m}$ in nickel, respectively.
- [2] Even in this process, the weldable temperature can not be reduced as low as the aging temperature.
- [3] Change of weld strength with welding time is unnoticeable in copper plated weld. But nickel plated weld often becomes weak because of occurrence of defect which looks like precipitate or kirkendall void.
- [4] By proper copper plating in advance welding and heat treatment after welding together, such a nearly strong weld as the parent metal can be obtained.

1. 緒 言

析出強化型合金であるベリリウム銅合金は, 融接とか高温長時間の溶接では溶接継手部の軟化は避けられず, 継手の機械的性質の低下を招くので溶接後熱処理を施して強化しなければならない。前報¹⁾では, ①本合金の熱間の固相溶接では, 接合境界に Be が偏析し, これが酸化して安定な酸化物を形成し, 結晶の合体を阻止し, これが本合金の溶接性の劣る最大原因と考えられること, ②この酸化物の生成を抑制して溶接性を向上させるため

には母材とぜい弱な合金を作らない Cu や Ni などで予めめっきすれば, 偏析 Be 濃度が減じると共に, 接合境界が密着性を増して大気遮蔽効果の向上が期待できると, ③大気遮蔽をより完全にし, 接合境界の酸化を防止するためには高真空中での圧接が望まれることなどについてすでに述べた。

そこで本報では, 棒状の溶体化処理材を用い, 高真空中 ($3 \times 10^{-4} \text{Torr}$) の突き合わせ継手によって, めっきによる接合性の向上について検討した結果を報告する。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

試験に供した材料は, 第1報と同じベリリウム銅棒材 (25-0 材) で, 化学成分および機械的性質を Table 1²⁾ に示す。これを Fig. 1 に示すように, 直径 10 mm, 長さ

*原稿受付 昭和59年4月9日 (昭和58年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 芝浦工業大学 Member, Shibaura Institute of Technology

***正 員 東京都立工業技術センター The Tokyo Metropolitan Industrial Technology Center

****学 生 員 芝浦工業大学大学院 Student Member, Graduate School, Shibaura Institute of Technology

Table 1 Chemical compositions, heat treated condition and mechanical properties.

Alloy	Chemical compositions (wt.%)	Heat treated condition	Tensile strength (kgf/mm ²)	Hardness (Hv)
25 (Cl720B)	Be 1.80-2.00	0	42-60	90-190
	Co+Ni > 0.20			
	Co+Ni+Fe < 0.6	OT	112-140	300-400
	Cu+Be+Co+Ni+Fe > 99.5

Fig. 1 The shape of the test specimen. **Fig. 2** Vacuum pressure welding equipment.

60 mm, 接合部直径 9 mm に仕上げ, 表面をあらかじめアセトンで脱脂し酸洗液 (FeCl : 10 g, HCl : 30 ml, H₂O : 120 ml) で酸洗を行ない酸化物を取り除いた。銅めっきには, 硫酸銅めっき浴 (硫酸銅 : 225 g/l + 硫酸 : 50 g/l, 液温 : 20~30℃) 中で電流密度 2 A/dm² で, ニッケルめっきには, めっき浴 (硫酸ニッケル : 300 g, 塩化アンモニウム : 30 g, ホウ酸 : 30 g, 純水 : 2000 ml, pH : 5.8~6.2, 液温 : 15~30℃) 中で, 電流密度 2.4 A/dm² で, それぞれ所定のめっきを施した。

2.2 実験方法

溶接には, 試料を Fig. 2 に示すような真空圧接装置で突合わせ, 高周波誘導加熱装置を用いて加熱し, すべて 1.5 t の荷重下で圧接を行なった。また圧接時間は一応 5 分間としたが, これより長時間加熱する際は, 継手を圧接装置から取りはずし, 電気炉によってアルゴン雰囲気中, 無荷重下で追加熱した。

3. 実験結果および考察

3.1 めっきの有効性

Fig. 3 に母材を銅またはニッケルめっきして圧接した時の継手強さを示す。めっき厚さは銅, ニッケルとも 2.5 μm 及び 5 μm とした。なお, めっきに関しては前報で触れ

Fig. 3 Effects of plating (Cu or Ni) on weld strength. (Joints post-heated at 500°C are welded at 500°C, ones post-heated at 600°C and over are welded at 600°C).

た通り, 継手強さは母材を 2 本ともめっきした方が, 片方だけめっき (めっき厚さは 2 倍) した時よりも優ることが明らかであったので, 本実験では 2 本ともめっきしたものを接合することにした。そして以下では 2 本ともめっきすることを単にめっきと表現している。なお図において溶接温度 500℃, 600℃ の継手に関しては 5 分間で圧接したものを, これと同温度でさらに 10 分間の追加熱後, 水焼入れしたもの, また 700℃, 800℃ の継手は予め 600℃ で 5 分間圧接した継手を, それぞれ 700℃, 800℃ で 10 分間追加熱後水焼入れしたものである。めっきの有無に関係なく, いずれも 500℃ での継手より 600℃ 以上の継手の方が遥かに強い。しかし 600~800℃ では継手強さに大きな差は認められない。また, めっき元素によっても継手強さに顕著な差はみられなかったが, 強いて言えば低温領域ではニッケルめっきが, 高温領域では銅めっきが優った。まためっき元素や厚さには関係なく, いずれの温度でもめっきの方が無めっきより強い継手を得ており, めっきが接合性の向上に有効なことを示している。

3.2 めっき厚さの検討

Fig. 4 はめっき厚さ 2.5, 5, 10 μm の銅めっき母材同士, 及び 2.5 μm 銅めっき母材間に 30 μm のタフピッ

Fig. 4 Effects of thickness of plating (Cu) on weld strength.

Fig. 5 Comparison of strength between plated weld and parent metal.

チ銅をインサートした溶接継手の引張強さを示している。なお継手は、各圧接温度で5分間圧接したままのものと、これと同温度でさらに30分間追加熱し、水焼入れしたものである。いずれの溶接処理温度でも5 μ mめっきで最高の値を示している。めっきを施すことは界面の密着化を向上させる有効な手段と思われるが、2.5 μ mではめっき厚さが薄すぎためめっきの効果は不十分のようである。一方、めっき厚さが10 μ m以上では、軟質金属の銅が多量に添加されるため引張強さが低下したものである。以上の結果から論文の実験範囲内では、銅めっきでは5 μ m程度の厚さが強力な継手を得るには好ましく、約5 μ mを適正めっき厚さと判断した。また、ニッケルめっきに関しては、Fig. 3から2.5 μ mを適正めっき厚さと判断した。

Fig. 6 Effects of heating time (at 500°C) on weld strength.

3.3 適性溶接温度の検討

Fig. 5は、最適と思われる銅めっき5 μ m、ニッケルめっき2.5 μ mを施して各温度で溶接した継手の強さと、母材を各温度で30分間加熱後放冷した時の強さとを比較したものである。継手強さを見るに400℃当たりから接合し始め、温度と共に上昇し600℃付近ではほぼ一定となっている。一方、母材強さは時効温度の約300℃(本合金の時効処理は315℃×3時間である。)から600℃当たりまで急激に減少し、それ以上ではゆるやかに減少しほぼ一定となっている。つまり母材の軟化傾向の急峻な300~600℃の間では、継手は母材の軟化にも拘らず強くなり、接合性は母材強度の低下について向上することを物語っている。そして継手強さの増加傾向が緩慢となる600℃付近で接合性もほぼ一定に落着くものと想像され、以上のことから次のように結論できよう。つまり適正溶接温度はほぼ600℃と考えることができ、後熱などの特別な処理を施すことなく溶接のままでは、600℃以下では接合性が不十分なため当然、また以上でも接合性に顕著な向上が認められないため、600℃におけるより強力な継手を得ることは期待できない。以上のことから本法によっても、350℃近傍の接合温度で強力な継手を得ようとするにはまだかなりの距離がある。

3.4 溶接時間の影響

Fig. 6は、500℃、5分間で圧接したままの継手と、同温度でさらに10、30、60分間追加熱した後水焼入れした継手との引張強さを示している。また600℃で圧接した継手を同様に600、700、800℃で追加熱した場合をそれぞれFig. 7、8、9に示しているが、以上から追加熱時間を増加しても継手強さに顕著な差のないことがわかる。

Fig. 7 Effects of heating time (at 600°C) on weld strength.

Fig. 9 Effects of heating time (at 800°C) on weld strength.

Fig. 8 Effects of heating time (at 700°C) on weld strength.

Fig. 10 Effects of heating temperature on weld strength in case of heating duration of 30 min. (Joints post-heated at 500°C are welded at 500°C, ones post-heated at 600°C and over are welded at 600°C.)

またニッケルめっき $5\mu\text{m}$ の場合では、500, 600°Cの継手では溶接時間が長くなっても強さに左程の変化はないが700, 800°Cでは溶接時間の延長につれ継手強さは大幅に減少している。これらのうち各圧接温度で5分間圧接した後同温度でさらに60分間追加加熱した継手だけを取り出して比較したものが Fig. 10 である。銅めっき $5\mu\text{m}$ のものでは、700, 800°Cの継手に低下はみられないが、ニッケルめっき $5\mu\text{m}$ のものは明らかに低下している。また、同図中のニッケルめっき $5\mu\text{m}$ の場合の接合部の縦断面写真が Fig. 11 で、(a)は600°C、(b)は800°Cでそれぞれ60分間追加加熱した場合である。

ニッケルめっき層部分に多数の小さい黒点が存在していることがわかる。これが原因で上述のような結果が生

じたものと考えられるが、一方接合部縦断面の EPMA の結果では、700, 800°Cの継手では Cu-Ni 間の相互拡散がかなりおこっており、この黒点は Cu-Ni 間の相互拡散によるカーケンダーボイドまたは析出物と考えられる。なお、Fig. 12 は加熱温度700, 800°Cのニッケルめっき継手の EPMA 線分析による Ni の分布状況の一例である。

3.5 熱処理による強化

次にめっき継手を溶体化後時効処理して母材と比較してみた。Fig. 13 に、予め600°Cで圧接しためっき継手を700, 800°Cで30分間加熱後水焼入れ、さらにそれぞれを

Fig. 11 Microstructures of welds (welding: 1.5 ton, 600°C-5 min.) (a) heating: 600°C-60 min. (b) heating: 800°C-60 min.

Fig. 12 EPMA analysis of weld joint.

315, 400℃で3時間加熱し空冷した継手, および800℃で加熱後水焼入れ, さらにその後315℃で時効した母材, ならびに300~600℃の各温度で30分間加熱後空冷した母材の引張強さを示している. これにより800℃で加熱後水焼入れ, さらにその後315℃で時効した銅めっき継手は, 同条件で熱処理した母材の約80%程度の強さを示している. これはめっき継手も母材とほぼ同じ熱処理条件で強化でき, きためっき厚さも妥当なものであったことも示している. しかし700℃で加熱後水焼入れした継手は, 800℃のものに比べ継手強さはかなり低い. これは700℃では溶体化処理が十分行なわれなかったためと考えられる. さらに加熱温度が400℃の場合は315℃の場合より継手強さが低いが, これも本合金の標準の時効温度以上に加熱したため過時効の状態になったものと思われる. 以上の結果よりめっき継手でも適正な熱処理を施せば, 継手強さは母材にかなり近づけ得ることがわ

Fig. 13 Comparison of strength between age-hardened plated weld and parent metal.

かった. ニッケルめっきの場合については, Niの添加による本合金の強化機構に及ぼす影響が詳かでないが, 銅めっきの場合より若干劣る結果を示している.

4. 結 言

ベリリウム銅合金の固相溶接において, めっき処理による接合性の向上について検討し, まためっきとさらに後熱処理の併用により, 母材の80%程度の継手強さが得られる事が明らかになった. 主な研究結果は下記の通りである.

- 1) 銅めっきでは5μm程度, ニッケルめっきでは2.5μm程度のめっきを施すことが強力な継手を得るには好ましいことが判った.
- 2) めっきによって接合性はかなり向上し, 接合温度を600℃付近まで下げることができた. しかし時効温度付近まで下げるにはいたらなかった.
- 3) 溶接時間を延長しても継手強さの向上は望めなかった. またニッケルめっきでは, 析出物またはカーケンダールボイドらしきものの生成のため却って継手強さが低下する事が判明した.
- 4) 銅めっきでは, 適正厚さのめっきを施し, 溶接後, 溶体化処理, 時効処理を施すことにより, 継手強さを母材のそれにかかなり近づけ得ることが判明した.

謝 辞

本研究の一部は文部省の科学研究補助金によって進められたものである. また本研究を進めるに当たって, 元芝浦工業大学学生の守越格氏, 安本由氏に多大の協力をいただき深甚なる謝意を表します.

参 考 文 献

- 1) 橋本, 横田, 森河: ベリリウム銅合金の固相溶接に関する研究 (第1報), 本誌, 2-1 (1984), 149-154
- 2) トーチュベリアロイ工業株式会社