

焼 結 合 金 の 溶 接 性

大阪大学工学部 大 西 巖

緒 言

18世紀から19世紀にかけて台頭しはじめた粉末冶金はその後ますます発展し、現在各種焼結合金はその製造上のあるいは用途上のすぐれた特性のため各方面に利用されている。一般的には、鑄造、鍛造、機械加工などの工程を経ずに最終製品に近い形状のものが直接多量かつ簡単に造り得るのが特徴であるが、用途によっては研磨、鍍金などが施され、またろー付、溶接などによって取付けられねばならない。またさらに進んで溶接によるビルトアップにより、複雑な形状の焼結合金製品を容易に造ることも考えられる。したがって焼結合金自体の圧接、ろー接、融接などの概念を得るための実験結果を報告しておくことも決して無意味でなからう。

供 試 材 料

実験に使用した焼結合金の種類、寸法は表1のごとくである。

1号および2号の試験片から引張試験片(全長77mm 平行部の巾15mm, 標点距り25mm, $R=25$ mm)を製作し、常温および1100°Cに加熱処理を行なったものについて引張試験を行なった。総括して平均値を示すと表2のごとくである。

表 1 焼 結 合 金 の 種 類

1号試験片 2号試験片 Fe系 Fe-C系 1% C Fe-Ca系 8% Cu Fe-S系 0.5% S	39×77×3 mm 39×77×6 mm	日本粉末合金 KK提供
3号試験片 Fe系 (FO10) Fe-Cu系 1% Cu (FZ) Fe-Cu系 7% Cu (FH)	25×40×2 mm	三菱金属KK 提供
4号試験片 Fe系 (FL-0-2) Fe-Cu系 3% Cu (FL-3-2)	直径20mm, 厚 さ2mm 座金型	住友電気工業 KK提供

表 2 供 試 材 の 引 張 強 さ

種 類	常 温 の 引 張 強 さ (kg/mm ²)	加 熱 後 の 引 張 強 さ (kg/mm ²)	常 温 の 伸 量 (mm)	加 熱 後 の 伸 量 (mm)
Fe系	13.9	15.6	0.85	1.25
Fe-C系	13.8	19.0	0.80	0.90
Fe-Cu系	20.0	31.0*	0.55	0.50

* 銅の融点は 1083°C

なお、見掛けの比重はいずれの供試材も表面処理をして測定した場合は6.2~6.4、処理せずに水中測定を行なった場合の値は7.10~7.25の範囲内であった。

有機接着剤による接合

1号試験片を長さの方向に重ね合わせ、重ね代を9mmとして接着した。接着剤としては市販の2液性接着剤ペタリコンを使用し、万力でしめたまま48時間を経て後、引張剪断強さを求めた。なおこの接着剤は接着直前に硬化剤と溶媒の等量を混じ、攪拌して適用する種類のものである。

供試材の表面処理は次の4方法を試みた。

- a) アセトンで洗滌
- b) トルエンで洗滌
- c) エメリー紙(016)で表面研磨後、トルエンで洗滌
- d) トリクロールエチレンで洗滌

なお供試材と同様寸法の軟鋼板をも接着に使用した。この軟鋼板の洗滌にはアセトンを用いた。試験結果は表3のごとくである。

表 3 表面処理と接着強さ (剪断強さ kg/mm²)

表面処理 供試材	表面処理			
	アセトン	トルエン	ペーパー, トルエン	トリクロ エチレン
Fe系	1.34	0.94	1.14	1.10
Fe-C系	1.36	1.10	1.17	1.29
Fe-Cu系	1.29	0.90	1.03	1.10
軟鋼	1.44	—	—	—

薬品処理前のペーパー処理は有効であり、アセトンの場合も予めペーパー研磨を行なった方がさらに好結果が

得られたかも知れない。

一般に全量が接着剤と化するものにくらべ、溶剤が蒸発する接着剤では接着面に気泡、不着部を残すという欠陥を生じることがある。焼結合金では蒸発すべき溶剤が母材内に浸透するため却って有利であるとも考えられるが、この現象が接着剤の乾燥、固化に普通よりも長時間を要するという悪結果をもたらす場合も考慮に入れる必要がある。焼結合金の接着には幾分長時間の放置、加熱などの手段を考えてよからう。

スポット溶接

4号試験片を重ねてスポット溶接を行なった。上部の電極直径が5mmの直列点溶接機を使用し、通電時間を14サイクルとした。溶接条件と剪断強さ、くぼみ量を第4表に示す。

表4 スポット溶接の条件、強さ

供試材	電流 (A)	電極加圧力 (kg)	引張剪断強さ (kg)	くぼみ率 (%)
FL-0-2 (Fe系)	8,000	350	—	27.4
	8,000	250	—	25.0
	6,600	250	220	5.0
	5,800	150	298	3.75
	5,000	150	—	3.75
FL-3-2 (Fe-3% Cu)	10,500	350	355	41.5
	9,300	350	295	5.0
	8,500	350	216	22.5
	8,000	250	225	8.0
	5,800	150	283	12.5

一般に電流および加圧力が著しく大となれば溶接部には割れを生じ、あるいは押し潰される。しかし5,000A、30kgの低い値では完全な圧接ができない。これらの実験結果からただちに最適条件を示すことは避けねばならないがFe系では5,800~8,000A、150~250kg、Fe-Cu系では8,000~10,000A、250~350kgが好ましいようである。

ガス溶接

2号試験片4種類を母板とし、直径3.2mmの軟鋼用ガス溶接棒で酸素・アセチレン標準焰による溶着金属を置く。結果は表5のごとくである。

次に1号試験片のうちFe系、Fe-C系、Fe-Cu系のみについて、突合せ溶接を行ない、引張試験片(全長154mm、巾39mm、平行部の巾20mm、標点距り70mm、R=15mm、中央部溶接)で引張試験を行なった結

表5 酸素・アセチレン焰による溶着

母材の種類	作業性	外観	備考
Fe系	良	良	普通の軟鋼板溶接とほとんど同じ
Fe-C系	不良	やや不良	火の粉の発生著しく、ガスの発生も多い
Fe-Cu系	良	やや良	—
Fe-S系	不良	不良	ビード、母材間の融合不良、ガスの発生極めて多く、多孔となる

表6 ガス溶接の引張試験結果

母材	引張強さ (kg/mm ²)	伸量 (mm)	伸び (%)	破断箇所
Fe系	19.23	0.85	1.13	熱影響部
Fe-C系	17.54	0.10	0.13	溶着金属

果を表6に示す。Fe-Cu系ではFeとCuの熱膨張の差のためか、あるいは融点と応力の関係か、ビード境界に割れを生じやすく、機械加工を完遂し得なかった。

Fe系焼結合金は軟鋼板とほとんど変らぬ溶着性を有しており、Fe-C系はやや劣るが溶着は可能である。

アーク溶接

2号試験片4種類を母板とし、心線直径4mmのイルメナイト系被覆アーク溶接棒で、溶接電流100A(A.C)アーク電圧35Vで溶着金属を置いた。結果は表7のごとくである。

表7 アークによる溶着

母材の種類	作業性	外観	備考
Fe系	良	良	軟鋼板溶接とほとんど変わらない
Fe-C系	やや良	〃	アークスタートがややにくい
Fe-Cu系	良	〃	ビード境界にたて割れを生じた
Fe-S系	不良	不良	ビード内部および表面に気泡、気孔多し

次に1号試験片について上記溶接条件による突合せ溶接を行なった。ただし溶接棒としてはイルメナイト型の他に低水素型被覆溶接棒をも使用した。引張試験片の形状、寸法はガス溶接の場合と同様である。なおFe-Cu系母材においては境界割れを生じ、試験片の加工ができなかった。引張試験結果を表8に示す。

Fe系は軟鋼板のアーク溶接とほとんど変わらぬ作業性を有している。Fe-C系の作業性はやや劣るが溶着は可能であり、成績はよい。Fe-Cu系は溶接後の機械加工に難点を有している。Fe-S系の溶着金属は多孔となる。

表 8 アーク溶接の引張試験結果

母 材	イルメナイト型溶接棒		
	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	破断箇所
Fe 系	16.5	0.46	熱影響部
Fe-C 系	23.9	0.97	母 材
Fe-S 系	14.8	0.97	溶着金属
母 材	低水素型溶接棒		
	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	破断箇所
Fe 系	18.4	0.70	熱影響部
Fe-C 系	22.1	0.87	母 材
Fe-S 系	16.0	0.70	溶着金属

またイルメナイト型被覆溶接棒と低水素型被覆溶接棒とでは、引張試験結果に差異がない。

ろ ー 接

1号試験片のうち Fe 系, Fe-C 系, Fe-Cu 系についてろー接を行なった。ろー材としては表9に示す3種類を使用している。

表 9 使用したろー材

ろー材	組 成 (%)	融 点 (°C)
ハンダ	Sn 59~61, Pb 41~39	液相線 185~195
真鍮ろー	Cu 51.5, Zn 45, Sn 3.5	〃 877
銀ろー	Ag 45, Cu 30, Zn 25	〃 743

試験片の寸法, 形状は接着の場合と同様である。またろー接前の母材表面処理は行っていない。溶剤としてハンダ付には塩化亜鉛を, 真鍮ろー付, 銀ろー付には硼砂, 硼酸の混剤を使用した。ろー接方法はいずれもトーチろー接法によっている。引張剪断強さを表10に示す。

いずれの母材においても, またいずれのろー材においてもろー材の母材中への滲透が著しい。銀ろー付の場合にはろーが反対側に達するよりも母材中への滲透の方が著しく, 反対側から再びろーをさし込む必要があった。これらの滲透現象がもたらす結果はろー材の損失のみでな

表 10 ろー付部の試験結果 (引張剪断強さ kg/mm²)

	ハンダ付		真鍮ろー付		銀ろー付	
	引張剪断強さ	破断箇所	引張剪断強さ	破断箇所	引張剪断強さ	破断箇所
Fe 系	2.32	ろー接部剥り	7.95	裏側の熱影響部で破断	2.61	ろー接部剥り
Fe-C 系	2.07	〃	9.60	〃	2.38	〃
Fe-Cu 系	2.03	〃	12.67	〃	2.34	〃

く, 重ね代部に未着部分を残すおそれもある。また用途上, 焼結合金の多孔性が要求される場合にはこの特性を失うことになる。

ろー接前の表面処理

ろー材が母材中へ滲透することを防ぐため, ろー接前にあらかじめろー接面の処理を行なった。

a) 硫酸銅溶液中に浸漬

メッキ液; Cu SO₄ · 5 H₂O 225 g/l
H₂SO₄ 50 g/l

メッキ時間; 10秒, 30秒, 1分, 3分, 5分, 10分

b) ニッケル・メッキ

メッキ液; Ni SO₄ 150 g/l NH₄Cl 15 g/l
Na₂B₄O₇ 15 g/l 活性炭 2 g/l

PH; 5.8~6.2

極; 陽極は 99.99% 純度の圧延ニッケル (20×40×1 mm) 陰極は 1号試験片を半分に切断したもの (39.4×38.5×3.1 mm)

c) 銅およびニッケルプラズマ溶射

電流, 電圧; 500A, 30V

アルゴン流量; 60 l/min

溶射距り; 60 mm

溶射速度; 60~70 cm/min

純銅, 純ニッケル粒度; 100~250 メッシュ

d) 溶融錫中への浸漬

黒鉛ルツボ中にて錫を溶融し, 塩化錫の溶剤層を通して母材を錫中へ浸漬し, 10秒間保持する。

以上試みた表面処理はいずれもろー材の母材中への滲透を防ぐ効果があった。ただし, 錫中への浸漬は浸漬時間の不充分なため, 母材表面の約 70% しか錫が行き届いていなかった。

また, 表面処理によってあるいはろー材との組合せによってろーの表面拡がり性に差異がある。図1はこれを示す。

図2, 図3はメッキ時間の長短と母材面へのろーの拡がりの関係を示す。ただしこの実験ではろー材は何れも 100 mg とし, その上に適当量の溶剤を置き, 真鍮ろーでは 930°C, 銀ろーでは 800°C の炉中に 3分間放置し

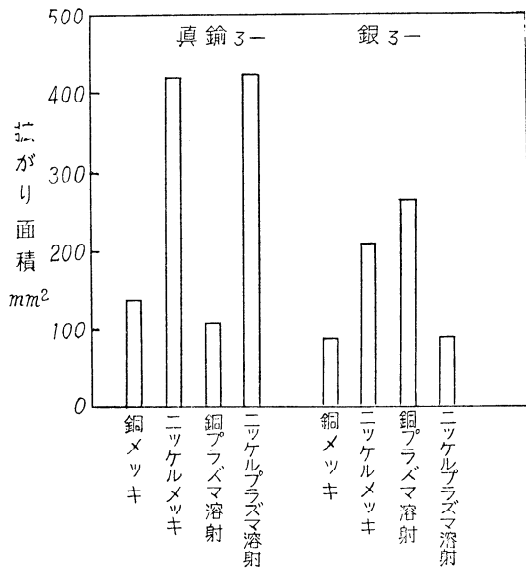
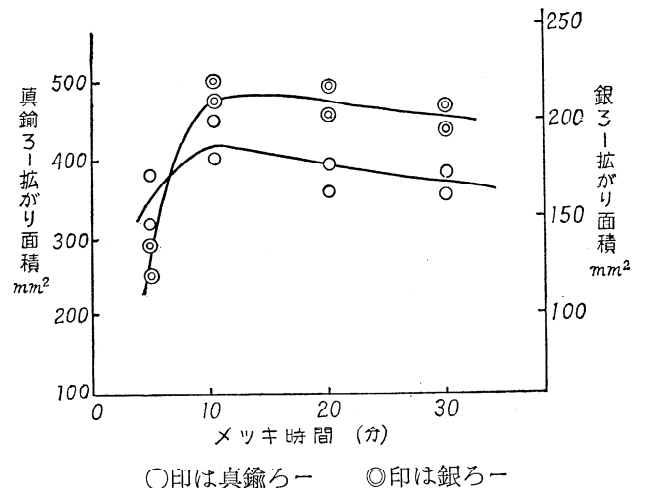


図1 表面処理と拡がり面積



○印は真鍮ろー ◎印は銀ろー
 図3 ニッケルメッキ上での銀ろー、真鍮ろーの拡がり面積

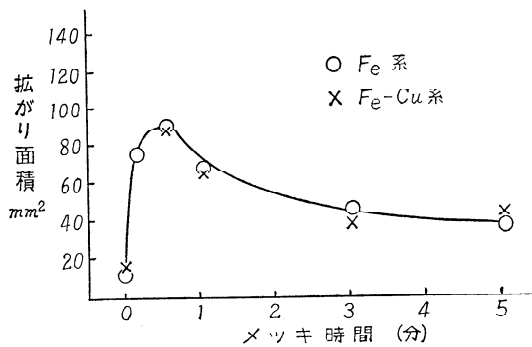


図2 銅メッキ上での真鍮ろーの拡がり面積

表11 硬ろー付の強さ

処 理	Fe 系	Fe-C系	Fe-Cu 系
表面処理せず	8.0	9.6	12.6
銅メッキ	9.0	10.4	13.9
ニッケルメッキ	13.7 (12.1)	—	13.7
銅プラズマ溶射	13.1 (11.5)	14.9 (11.3)	19.2 (18.4)
ニッケルプラズマ溶射	12.3 (10.7)	12.2 (10.3)	19.1 (17.4)
錫中へ浸漬	11.4	11.5	11.0

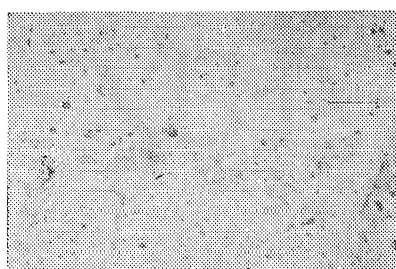


写真1 Fe系アーク溶接 (上部は溶着金属)



写真2 Fe-C系アーク溶接 (上部は溶着金属)

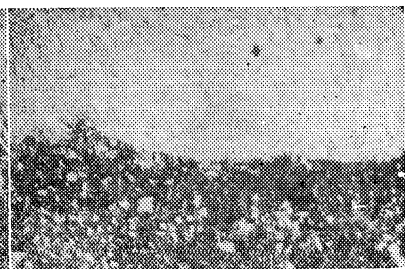


写真3 Fe-Cu系アーク溶接 (上部は溶着金属)

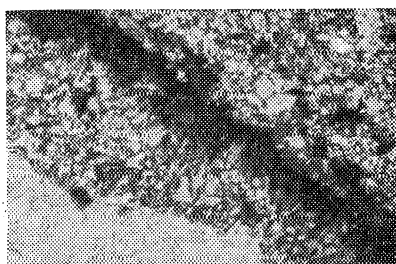


写真4 Fe-Cu系アーク溶接 (クラック)

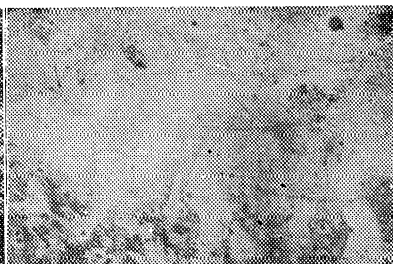


写真5 Fe系ガス溶接 (上部は溶着金属)

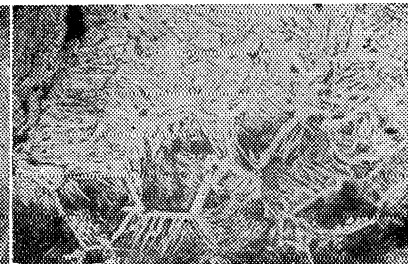


写真6 Fe-C系ガス溶接 (上部は溶着金属)



×100

写真7 Fe-Cu系ガス溶接（上部は溶着金属）

ている。

表 11 は各種処理後、真鍮ろ一付を行なった試片の引張剪断強さ (kg/mm^2) を示す。ただしカッコ内は銀ろ一付の数値である。

一般に表面処理を行ったものの強さが優れているが、プラズマ溶射以外は数値の差異が少い。プラズマ溶射は溶射時の熱が関係しているのかも知れない。銀ろ一付の

データは少いが、これから推察するとろ一の拡がり面積の大小とろ一付部の引張剪断強さの強弱との間には特別の関係があると考えられない。

次に、アーク溶接、ガス溶接部の顕微鏡組織を写真1～7に示す。

結 言

Fe系、Fe-C系、Fe-Cu系焼結合金の接着、Fe系、Fe-Cu系のスポット溶接は可能である。Fe-S系もおそらく可能と考えられる。ガス、アークによる溶融溶接ではFe-S系は好ましくなく、Fe-Cu系は溶接割れに注意しなければならない。Fe系は溶接成績もっともよく、Fe-C系はこれに次ぐ。ろ一接は母材中へのろ一の滲透著しく、表面処理によってこれを防ぎ得る。

本実験には岡本郁男博士、田中雅正君の御尽力があったのでお礼を申上げる。また試料をご提供下さった各がならびに精機学会の焼結合金加工委員会のご好意に対感謝の意を表す。