# 1. 緒 言

銅および銅合金は,鉄鋼材料およびアルミ ニウム合金材と並んで使用量が多く,薄板成 形品として使用されることも多い.薄板成形 品などの組立に用いられる点接合は,抵抗ス ポット溶接<sup>1)</sup>が主流であるが,銅および銅合 金やアルミニウム合金などの電気伝導性や熱 伝導性の良い材料の接合は困難である.また 蒸気圧の高い亜鉛を含有する Cu-Zn 系合金は,加熱されることにより亜鉛の蒸気が発生し, 接合界面ナゲット部に欠陥が生成される原因 となるため溶融接合は困難であり,一般的に は接合はろう付けによっている<sup>2)</sup>.このよう

な合金の接合には固相接合が適すると考える が,銅および銅合金の固相接合に関する研究 は著しく少ない.

本研究では,摩擦スポット接合<sup>3)</sup>を用いて, 銅および銅合金薄板の点接合を行い,得られ た継手の機械的性質について検討した.

### 2. 供試材および実験方法

供試材は純銅板(C1100),銅合金板(C2801) とし、いずれも板厚1mmのものを幅30mm,引 張せん断試験用には長さ100mm,十字引張試 験用は長さ130mmに機械加工したものを重ね 代が30mmとなるよう治具により固定し実験 に供した.供試材の機械的性質をTable1に 示す.

接合は数値制御全自動摩擦圧接機を使用し、 Table 2 に示す接合条件を組合せて行った.回 転工具は炭素工具鋼(SK105)製とし,直径

日大生産工(院)	〇狩野	芳光
日大生産工	加藤	数良

	Table 1	Mechanical	properties	of	base	metals
--	---------	------------	------------	----	------	--------

Materials	Tensile strength	Elongation	Hardness
materiale	(MPa)	(%)	(HK0.05)
C1100	221	47.0	79.7
C2801	364	46.1	101.0

Table 2 Friction spot welding conditions.

Rotational speed	Ν	(rpm)	2500~3000
Friction pressure	Ρ	(MPa)	40~80
Friction time	t	(s)	1

N=2500rpm N=3000rpm

P=60MPa





Fig.1 Surface appearances of C1100 joint.

10mmの円柱状に機械加工したものを用いた.

得られた継手の外観観察,組織観察,硬さ 試験,温度測定,トルク測定,引張せん断試 験,十字引張試験をいずれも室温で行った.

3. 実験結果および考察

## 3.1 C1100 同種材の組合せ

Fig.1 に継手外観を示す. 継手外観は回転工 具と同一径の圧痕に加えて,外周部にはばり の発生が観察された. 回転工具の押込み量は, 工具回転数および摩擦圧力の増加に伴い増大 し,ばりの発生量も増大した. これらの現象

Mechanical Properties of Friction Spot Welded Copper and Copper Alloy Joint

Yoshimitsu KANO and Kazuyoshi KATOH

は工具回転数に比較して摩擦圧力の影響が大 きかった.外周部近傍に全条件でむしれが観 察され、回転工具表面に C1100 が付着する状 態であったが、回転工具に特別な処理を行う ことなく連続接合を行っても、継手の強度へ の影響は認められなかった.また圧痕の外周 部の周囲には接合時の熱影響によると考えら れる変色した部分が観察された.

Fig.2 に接合部中心横断面の巨視的および 微視的組織の一例として最も変形の大きかっ た継手を示す. 接合部にはナゲットの生成は 認められなかった. 接合界面は工具回転数, 摩擦圧力の低い接合条件では確認できたが, 工具回転数,摩擦圧力の増加に伴い接合界面 は判別できなくなった. 摩擦圧力の増加に伴 い上板とした供試材が大きく変形し、下板と の間に浮上がりが認められた. この現象は抵 抗スポット溶接に観察されるシートセパレー ション現象4と類似の様相であった.

浮上がり部(Fig.2A)では接合界面はわずか に観察されたが、接合部中心に近づくのに伴 い不明瞭となった.回転工具外周部直下 (Fig. 2B)は、母材に比較して結晶粒は微細と なった. 接合部中心(Fig. 2C)は、母材部に比 較して粗大な組織を示した. この組織形態は 全接合条件において同様であった.

Fig.3 に継手横断面板厚中心部の硬さ分布 を示す.工具回転数,摩擦圧力の低い接合条 件では,若干ではあるが上板,下板ともに硬 化した.また、上板の回転工具外周部に相当 する部分に硬化が認められた.工具回転数, 摩擦圧力の高い接合条件では上板、下板とも に接合部中心近傍で回転工具径よりも広範囲 で軟化した.

Fig.4 に引張せん断試験結果を示す. 引張せ ん断強さは摩擦圧力の増加に伴い向上した. また、工具回転数の影響は摩擦圧力の増加に 伴い小さくなった.本実験の範囲内では,工 具回転数 3000rpm, 摩擦圧力 80MPa で引張せ



Macro- and microstructures of Fig.2 C1100 joint. (N=3000rpm, P=80MPa)





ん断強さ 3.94kN の値が得られた.破断は,引 張せん断強さ 3 kN 以上の継手ではプラグ破 断となり,他の接合条件では,接合界面では く離した.

Fig.5 に十字引張試験結果を示す. 十字引張 強さは工具回転数, 摩擦圧力の増加に伴い向 上した. また工具回転数の影響は引張せん断 強さと類似の傾向であった. 本実験の範囲内 では,工具回転数 3000rpm, 摩擦圧力 70MPa で十字引張強さ 3.96kN の値が得られた. 破断 は摩擦圧力 70MPa 以上の全工具回転数でプラ グ破断となり, 他の接合条件では, 接合界面 ではく離した.

## 3.2 02801 同種材の組合せ

Fig.6 に継手外観を示す. 実験の範囲内では, 回転工具への焼付きは認められなかった. 全 接合条件で回転工具径と同径の圧痕と外周部 にばりの発生が認められた. 工具回転数, お よび摩擦圧力の増加に伴い工具の押込み量は 増大し, ばりの排出量も増加した. 圧痕部表 面には, C1100 継手同様外周部近傍に全条件 でむしれが観察され, 回転工具表面に C2081 が付着する状態であったが, 回転工具は接合 時特別な処理を行うことなく連続接合が可能 であった. 押込み量およびばりの大きさとも に C1100 継手に比較して小さくなった.

Fig.7 に接合部中心横断面の巨視的および 微視的組織を示す.接合部にはC1100継手同 様ナゲットの生成は認められず,結晶粒の大 小の違いにより接合部の両側に半円状の模様 が観察された.接合界面は工具回転数,摩擦 圧力の増加にともない判別しにくくなった.

接合部境界部(Fig. 7A)では熱影響部および 接合部ともにばりの排出方向に組織変化が認 められ,熱影響部では母材に比較してわずか に微細な再結晶組織であったが,撹拌部内は 接合中心部(Fig. 7C)と同様に母材に比較して 著しく微細な組織を示した. 圧痕外周部 (Fig. 7B)の回転工具と接触する部分に一部粗



Fig.6 Surface appearances of C2801 alloy joint.





大な組織を示す箇所が存在した.また,工具 回転数,摩擦圧力の増加に伴い各領域は広が る傾向にあった.

Fig.8 に継手横断面板厚中心部の硬さ分布 を示す.工具回転数,摩擦圧力の低い接合条 件では、下板には硬さの変化は認められなか ったが、工具回転数、摩擦圧力の増加に伴い 下板接合中心近傍で硬化した.上板では、全 接合条件で接合中心部に硬化が認められ、そ の範囲は工具回転数、摩擦圧力の増加に伴い 広くなり、回転工具径に相当する範囲まで硬 化が認められた.

Fig.9 に引張せん断試験結果を示す.工具回 転数,摩擦圧力の増加に伴い引張せん断強さ は向上した.摩擦圧力の増加に伴い工具回転 数の大小が引張せん断強さに及ぼす影響は少 なくなった.本実験の範囲内では,工具回転 数 3000rpm,摩擦圧力 60MPa で引張せん断強 さ 5.3kN の値が得られた.継手の破断は工具 回転数 2750rpm,摩擦圧力 60MPa,工具回転数 3000rpm,摩擦圧力 50MPa 以上の接合条件では, プラグ破断となり,他の接合条件では,接合 界面ではく離した.また,引張せん断強さの 向上に伴い上板の接合部周辺で大きな変形が 認められた.

Fig.10 に十字引張試験結果を示す.引張せ ん断強さと同様に工具回転数,摩擦圧力の増 加に伴い十字引張強さは向上した.また,十 字引張強さは C1100 継手とは逆に摩擦圧力の 増加に伴い工具回転数の影響は大きくなる傾 向を示した.本実験の範囲内では,工具回転 数 3000rpm,摩擦圧力 60MPa で十字引張強さ 2.59kNの値が得られた.継手の破断は工具回 転数 3000rpm,摩擦圧力 50MPa 以上の接合条 件でプラグ破断となり,他の接合条件では, 接合界面ではく離した.

#### 参考文献

- 社団法人溶接学会抵抗溶接研究委員会: 溶接学会技術資料 No.7 抵抗溶接現象と その応用(I) 第1編, (1982), pp.11.
- 服巻 孝,中村満夫,銅-異種材加圧はんだ継手の特性,溶接学会論文集, 第10巻,第2号,(1992), pp. 228-233.
- 3) 時末 光,加藤数良,変形流動接合(3)



Fig.8 Hardness distributions of C2801 alloy joint.



摩擦撹拌接合・摩擦スポット接合・摩擦 シーム接合,塑性と加工(日本塑性加工学 会誌),第47巻,第548号,(2006-9), pp.817-822.

4) 前出文献1), pp. 105-106.