

# 熱機處理對黃銅組織控制與機械性能之研究

## Effect of thermal mechanical treatment on microstructure and mechanical properties of brass

楊玉森、徐啟耀

Yu-Sen Yang Qi-Yau Xi

國立高雄第一科技大學 機械與自動化工程系

Department of Mechanical and Automation Engineering

National Kaohsiung First University of Science and Technology

### 摘 要

本研究針對六四黃銅 (C27200) 的沖壓板材，探討熱機處理對板材組織與機械性質的影響。本研究主要探討(1) 軋延量與板材組織的關係；(2) 板材軋延量與再結晶溫度的關係；(3) 熱機處理條件對應力-應變的影響；(4) 取材方向對應力-應變曲線的影響。研究結果發現(1) 當軋延量超過 50% 以上，組織為纖維狀。(2) 在軋延量 50% 時再結晶溫度為 400°C，隨軋延量由 50% 高至 90% 時再結晶溫度下降至 350°C；(3) 再結晶的晶粒尺寸會隨著軋延量增加而下降，經 50% 到 90% 的軋延材，分別在 300°C、350°C、400°C、450°C 及 500°C 退火，晶粒尺寸會隨著退火溫度增高變大，以 60% 的軋延材為例，晶粒尺寸分別為 10.3um、12.07 um、25.5um、48.8um、52.3um。其延伸率也會跟著退火溫度增高而提高分別為 3%、33%、38%、40%、47%。(4) 在 400°C 以下退火，材料會有明顯的異方性。

**關鍵詞：**黃銅，熱機處理，軋延。

### Abstract

In this study, the effects of thermal mechanical treatment on microstructure and mechanical property of brass stamping sheet materials are investigated. The aims of this paper are to study the followings (1) the effect of rolling deformation percentage on microstructures. (2) the relationship between rolling deformation percentage and the recrystallization temperature; (3) the effects of thermal mechanical treatment parameters on the stress-strain curve, (4) the anisotropy property of sheet material. The experimental results show that (1) when the rolling percentage exceeds 50%, a fibrous microstructure is formed. (2) the recrystallization temperature is 400°C at 50% rolling deformation and decrease to 350°C at 90% rolling forming. (3) when rolling deformation increase from 50 % to 90%, the recrystallization grain size is decreased. The annealing temperature affects the grain size and the ductility of the sheet materials. At 60% rolling deformation and annealing at 300-500°C for every 50°C interval increased, the grain size increase from 10.3 to 52.2 um and its ductility increase from 3%、33%、38%、40%、47% .

## 一、前言

一般傳統金屬沖壓成形製程之產品具有較佳之機械性質、韌性強、生產效率及良率高等優點。由於產品尺寸細小化，晶粒尺寸對成形特性或微成型 (Precision or micro forming)。由於產品尺寸細小化，晶粒尺寸對成形特性的影響甚大<sup>(1,2)</sup>。因此無法使用巨觀尺寸的材料性質及成形製程來進行精密微成形<sup>(3,4)</sup>。然而，當精微引伸成形常發生沖頭圓角處破裂、壓料板面皺摺與筒壁面抽痕等成形問題時，仍無法有效解決精微沖壓成形時發生成形問題，使得產品製程良率過低。因此在材料方面，利用熱機處理控制板材晶粒尺寸和拉伸試驗測試材料機械性質<sup>(5,6)</sup>。

本實驗主要探討銅合金，在微米尺度下之成形技術發展，並配合精微衝壓模具成形技術，有系統地建立一套微米尺度下，建立資料庫包括：(1) 軋延量與板材組織的關係；(2) 板材軋延量與再結晶溫度的關係；(3) 熱機處理條件對應力-應變的影響；(4) 取材方向對應力-應變曲線的影響。

## 二、實驗方法

### 2.1 研究步驟

本實驗所採用的材料為黃銅 (C27200)，表 1 為黃銅成分表。首先將黃銅(板厚 0.5 mm) 進行 450°C 退火 1 小時後，經過退火完的材料會產生氧化層，利用酸洗液將氧化層消除。酸洗後完畢後進行軋延，軋延量分別為 10% 到 90%，接著分別在 300 度到 500 度進行熱處理。經軋延及熱處理完的試片，進行組織觀察及拉伸試驗。

Table 1 黃銅(C27200)成分規範表

Cu	Zn	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Autres
62.0-65.5	Balance	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	<0.30	<0.10

### 2.2 顯微組織觀察

將欲觀察之部位切取及熱鑲埋後將試片以砂紙研磨至#2000，再進行拋光。拋光過程分別以 $1\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 及 $0.05\mu\text{m}$  氧化鋁粉混合水作為拋光液。拋光完之試片加以腐蝕液 ( 5 克的三氯化鐵 (  $\text{FeCl}_3$  ) 加上 15 ml 鹽酸 ( HCL ) 和 85 ml 的水 )，然後利用桌上型電子顯微鏡 ( SEM )，並以截取圖像，觀察顯微組織。

### 2.3 拉伸試片規範

圖 1 為拉伸試片規範，採用美國材料測試協會 ASTM E8M 標準試片，利用沖壓成形將試片沖成 20 mm × 180.06 mm，平行部長 58 mm、寬 12.7 mm，標距 ( gage length ) 為 25 mm。

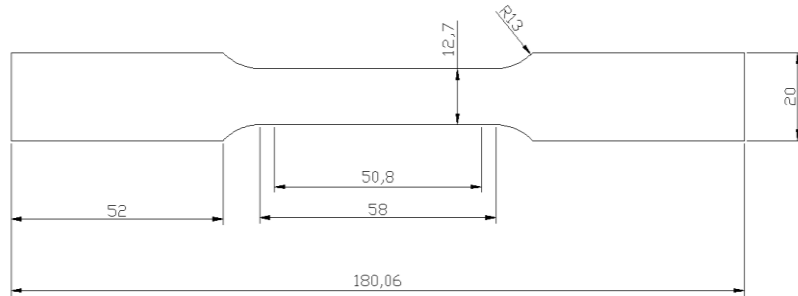
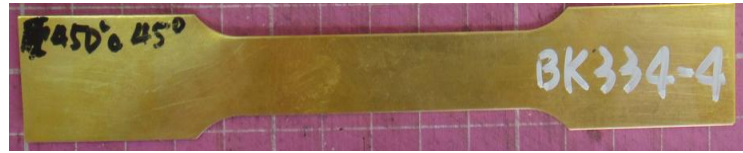


Fig. 1 拉伸試片規範

## 2.4 拉伸試片取材方向

圖 2 為拉伸試片取材方向。利用沖壓機將試片沖成拉伸試片。分別為平行軋延方向(以下稱為 $0^\circ$ )，垂直軋延方向(以下稱為 $90^\circ$ )，與軋延方向成 $45^\circ$ 度(以下稱為 $45^\circ$ )。經拉伸試驗後得到抗拉強度 ( tensile strength, UTS )、降伏強度 ( yield strength, YS ) 及伸長率 ( elongation ) 等，研究分析其機械性質。

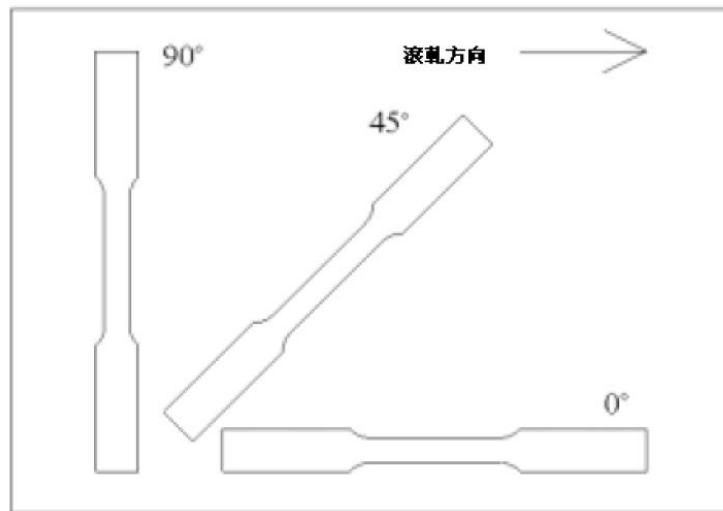


Fig. 2 拉伸試片取材方向

## 三、結果與討論

### 3.1 軋延量與板材組織的關係

圖 3 為軋延量 10% 到 90% 組織圖。經 SEM 觀察顯微組織，在軋延 10% 到 30% 為軋延前的晶粒組織，當軋延量為 50% 以上時，組織漸漸的纖維化。

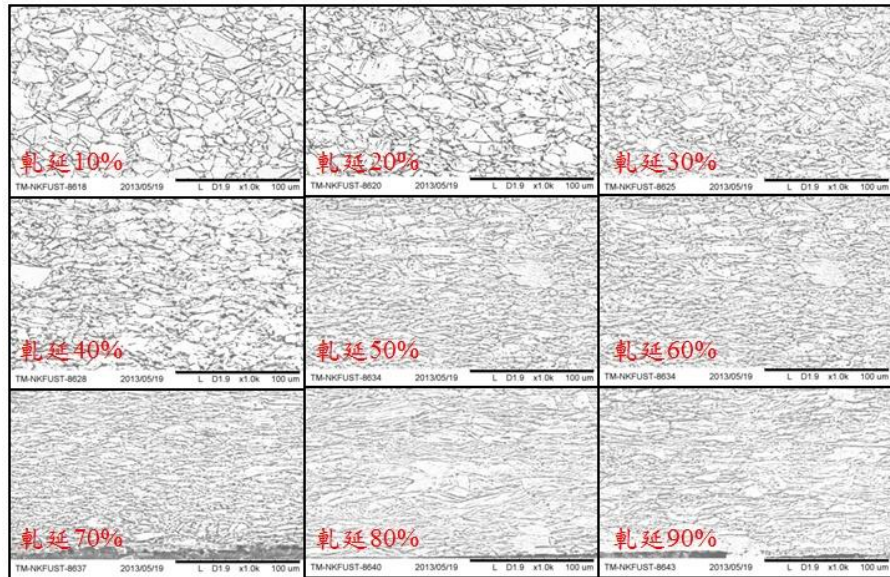


Fig. 3 軋延量 10% 到 90% 組織圖

### 3.2 熱機處理條件對晶粒尺寸的影響

由上述圖 3 軋延量 10% 到 90% 組織圖可得知，10% 到 30% 軋延材組織圖並沒有纖維化，故不加以討論 10% 到 30% 的熱機處理。利用 40% 到 90% 軋延材，經過 300°C 到 500 °C 退火 1 小時，可得到表 2 不同軋延量與不同退火溫度的金相組織圖。

Table 2 不同軋延量與不同退火溫度的金相組織圖

軋延量 \ 退火溫度	40%	50%	60%	70%	80%	90%
無						
300°C						
350°C						
360°C						
370°C						
380°C						
390°C						
400°C						
450°C						
500°C						

### 3.3 熱機處理與再結晶溫度之關係

圖 4 顯示再結晶溫度與軋延量關係。由表 3-1 300°C 到 500°C 退火 1 小時的金相組織觀察結果，發現再結晶溫度會隨著軋延量的增加而下降。當軋延量由 40% 增加至 90% 時，再結晶溫度由 400°C 下降至 350°C。

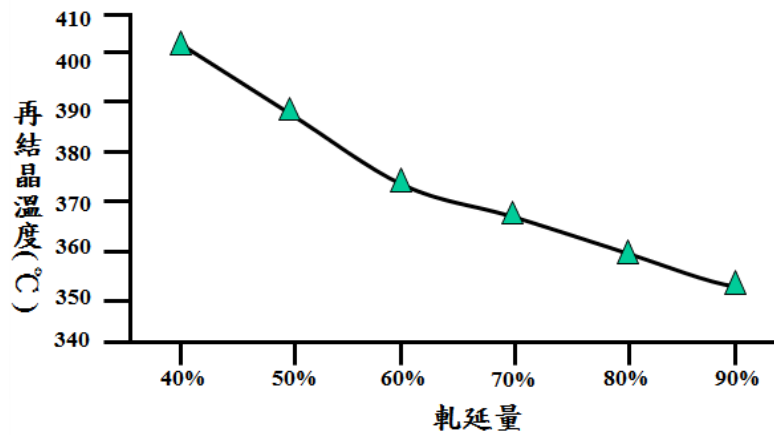


Fig. 4 再結晶溫度與軋延量關係圖

### 3.4 退火溫度對晶粒尺寸的影響

圖 5 為 40%-80% 軋延量下，退火溫度與晶粒尺寸的關係圖，在相同軋延量下，晶粒尺寸會隨著退火溫度升高而越大。以 40% 軋延量為例，退火溫度 400°C 到 500°C 晶粒直徑由 31.8  $\mu\text{m}$  增加至 53.8  $\mu\text{m}$ 。

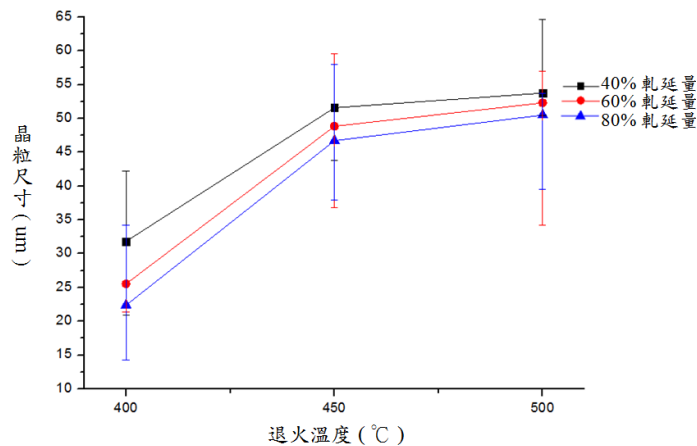


Fig. 5 晶粒尺寸與退火溫度的關係

### 3.6 軋延材之應力應變曲線分析

圖 6 為軋延量 10%-60% 下的應力-應變曲線。從圖 3-4 可以得知軋延量大於 40% 以上六四黃銅合金的加工硬化率趨向於一致。當軋延量小於 40% 組織並沒有完全纖維化導致加工硬化率隨軋延量增加而上升。延性則隨軋延量的增加而下降。



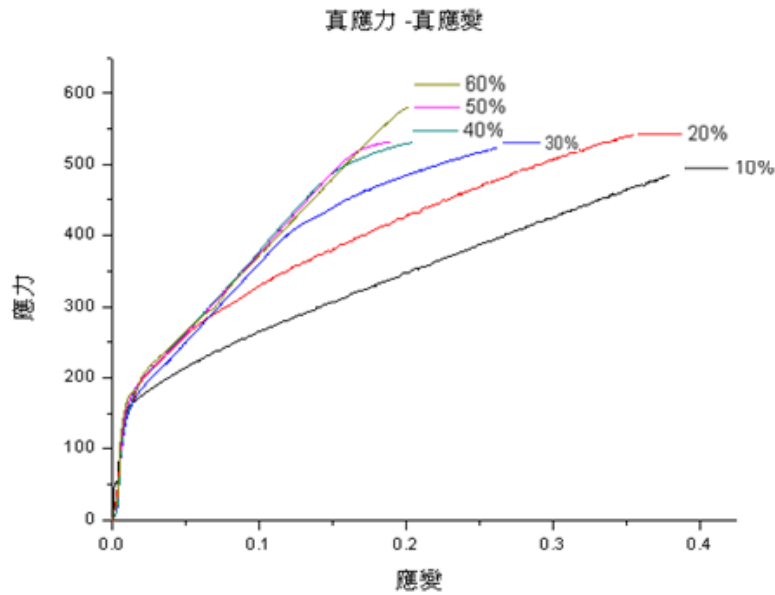


Fig.6 軋延量10% -60%下的應力-應變曲線

### 3.7 退火溫度對應力-應變曲線的影響

圖 7 為軋延量 60%下退火溫度 300°C 到 500°C 的應力-應變曲線。從圖 7 可以得知退火溫度 300°C 到 500°C 的加工硬化率隨著退火溫度增加而下降。延性則隨退火溫度的增加而上升；降伏強度則隨退火溫度的增加而下降。在退火溫度 300°C 到 500°C 的晶粒尺寸分別為 10.3um、12.07 um、25.5um、48.8um、52.3um。從圖 3-5 可以得知延伸率會隨著退火溫度增高而提高。分別為 3%、33%、38%、40%、47%。

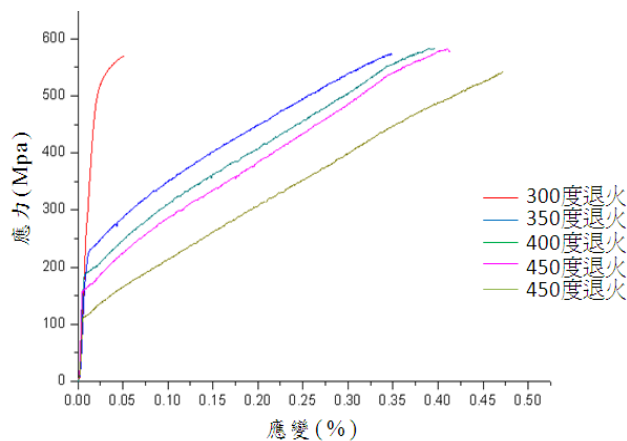


Fig.7 軋延量60%下退火溫度300°C到 500°C的應力-應變曲線。

### 3.7 晶粒尺寸/板厚的比值對應力-應變的影響

表 4 為軋延量 40%-80% 對應的晶粒尺寸與板厚比值 ( D=晶粒尺寸、T=板厚 )。從表 3-2 得到 D/T 比會隨著退火溫度增加而上升。以 60% 軋延量為例，退火溫度 400°C 到 500 °C 晶粒直徑從 25.5 um 增至 52.3 um、D / T 比從 0.13 增至 0.26。

Table 4 軋延量 40%-80% 對應的晶粒尺寸與板厚比值

軋延量	退火溫度( °C )	晶粒尺寸( um )	D/T ratio
40% (板厚 0.3mm)	400	31.8	0.11
	450	51.6	0.17
	500	53.8	0.18
60% (板厚 0.2mm)	400	25.5	0.13
	450	48.8	0.24
	500	52.3	0.26
80% (板厚 0.1mm)	400	22.4	0.22
	450	46.7	0.47
	500	50.5	0.51

### 3.8 D/T 對應力-應變曲線的影響

圖8 為軋延量40%-80%下退火溫度 400 度到 500 度對應 D/T 比值的應力-應變曲線。從圖8 得知延性會隨著 D/T 比增加而上升，降伏強度會隨著 D/T 比增加而下降。以 60% 軋延量為例，退火溫度 400°C 到 500°C 延性從 33.8% 上升至 41.8%、降伏強度從 175N/mm<sup>2</sup> 下降至 125 N/mm<sup>2</sup>。

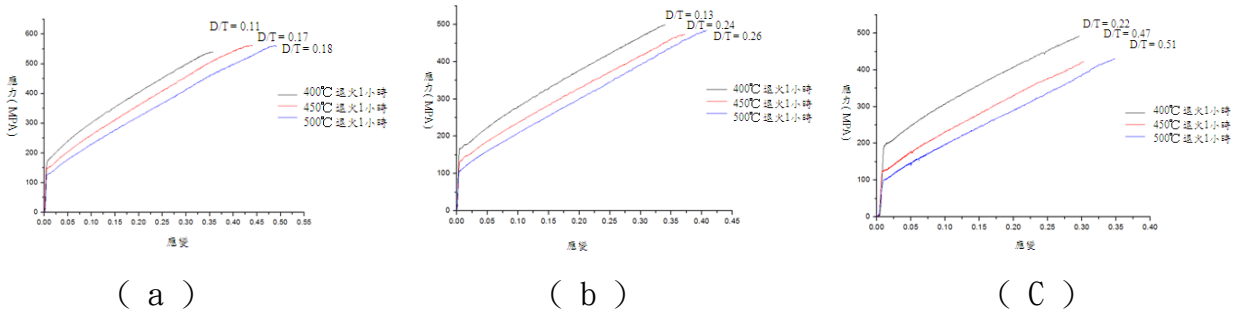


Fig. 8 軋延量40%-80%下，退火溫度400 度到 500 度對應 D/T 比值的應力-應變曲線。圖(a)(b)(c)軋延量為40%、 60% 及 80%。

### 3.9 材料之異方性

圖9 為軋延量40%，不同取材方向在退火溫度 350°C 到 450°C 的應力-應變曲線。從圖 9 發現在退火溫度350°C，會因取材方向不同導致加工硬化率明顯的落差，但在退火溫度450°C 加工硬化率並不會因取材方向不同而有所差異。

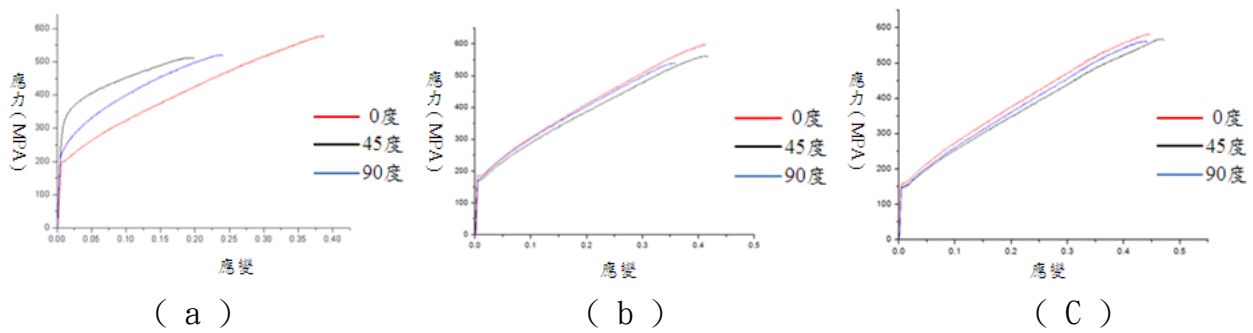


Fig. 9 軋延量40%不同取材方向在退火溫度350°C到退火溫度450°C的應力-應變曲線。(a)圖(a)(b)(c) 退火溫度為350°C、 400°C 及 450°C。

#### 四 結論

本研究針對六四黃銅 (C27200) 的沖壓板材，探討熱機處理對板材組織與機械性質的影響。得到以下結論

- (1)當軋延量超過 50%以上，組織為纖維狀。
- (2)在軋延量 50%時再結晶溫度為 400°C，隨軋延量由 50%高至 90%時再結晶溫度下降至 350°C
- (3)再結晶的晶粒尺寸會隨著軋延量增加而下降，經 50%到 90%的的軋延材，分別在 300 度、350 度、400 度、450 度及 500 度退火，晶粒尺寸會隨著退火溫度增高變大，以 60%的軋延材為例，晶粒尺寸分別為 10.3um、12.07 um、25.5um、48.8um、52.3um。其延伸率也會跟著退火溫度增高而提高分別為 3%、33%、38%、40%、47%。
- (4)在 400°C 以下退火，材料會有明顯的異方性。

#### 五 參考文獻

1. 蔡閔翔，2010，銅合金的機械性質與熱處理研究，國防大學，碩士論文。
2. W. L. Chan, M.W.Fu,J.Lu,2011, the size effect on micro deformation behaviour in micro-scale plastic deformation.
3. W. L. Chan , M. W.Fu ,2011, Experimental studies and numerical modeling of the specimen and grain size effects on the flow stress of sheet metal in microforming.
4. M.W.Fu,B.Yang,w.l.Chan ,2013,Experimental and simulation studies of micro blanking and deep drawing compound process using copper sheet.
5. M.W.Fu, W. L. Chan,2011, Geometry and grain size effects on the fracture behavior of sheet metal in micro-scale plastic deformation.
6. Horng-yu Wu, Pin-hou Sun, Feng-zheng Lin,2011, Anisotropic and tensile flow behaviors of Mg alloy AZ31B thin sheet in H24 condition at elevated temperatures.