

## [論文]

## 熱間押し法を応用した鉛フリー快削黄銅の開発

関西大学 大学院 工学研究科 大学院生・修士(工学) 中 畑 憲一郎

[現: 山陽特殊製鋼株式会社]

関西大学 大学院 工学研究科 大学院生 遠 藤 康 利

日本伸銅株式会社 監査役 吉 川 嘉 宥

関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科 准教授・博士(工学) 西 本 明 生\*

関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科 教授・工学博士 赤 松 勝 也

## Development of Free-Cutting Brass without Pb by Hot Extrusion

Graduate School of Engineering, Kansai University, Graduate Student, M. Eng. Kenichiro Nakahata

[Present: Sanyo Special Steel Co., Ltd.]

Graduate School of Engineering, Kansai University, Graduate Student Yasunori Endoh

Nippon Shindo Co., Ltd., Auditor Yoshihiro Yoshikawa

Department of Chemistry and Materials Engineering, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering,  
Kansai University, Associate Professor, Ph. D. Akio NishimotoDepartment of Chemistry and Materials Engineering, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering,  
Kansai University, Professor, Dr. Eng. Katsuya Akamatsu

(Received February 26, 2010 ; Accepted June 11, 2010)

A direct consolidation of brass machined chips wastes has been attempted from a viewpoint of energy-saving and recyclability. A direct consolidation process from machined chips wastes has successfully been developed in our laboratory. So a free-cutting brass without Pb has been developed using this consolidation process in our laboratory by adding graphite powder and  $\text{Cu}_2\text{S}$  powder as a substitution for Pb. However, ZnS formed during the extrusion processing disturbs the improvement of machinability of the extruded rod to which  $\text{Cu}_2\text{S}$  is added. In this study, therefore, a surface of 6-4 brass machined chips was oxidized and dezincified by heating in air in order to suppress the formation of ZnS. After extruding, the density and mechanical properties such as hardness, tensile strength and elongation of extruded rods decreased with an increment of  $\text{Cu}_2\text{S}$  addition while an application of heat-treatment to machined chips suppressed a degree of drop in density and mechanical properties of extruded rods. Moreover, a machinability of extruded rods improved with increasing  $\text{Cu}_2\text{S}$  addition and more obviously by heat-treatment.

**Keywords:** 6-4 brass, machined chips wastes, hot extrusion, free-cutting brass, copper sulphide, oxidation, dezincification, machinability

## 1. 緒 言

現在、黄銅系スクラップのリサイクルはその大半が

溶解法によって行われているが、この方法では溶解に必要なエネルギーの消費および不純物の混入などが問題となる。最近、このような黄銅系材料の切削屑を省エネルギー性およびリサイクル性等に関連させながら直接固化成形させる技術の開発に興味を持たれて

\* 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号  
Tel: 06-6368-1121 Fax: 06-6388-8797  
E-mail: akionisi@kansai-u.ac.jp

いる。一方、黄銅の被削性を向上させるためには従来より鉛が添加されてきたが、鉛が人体に有害であることが問題として取り上げられるようになって以来<sup>1)</sup>、鉛フリー黄銅合金の開発が重要な課題となっている。鉛に代わる添加元素として現在までにビスマス、ケイ素および黒鉛を添加した黄銅についての研究報告が行われてきている<sup>2)~6)</sup>。しかし、これらの研究はすべて溶解法による合金化であり、この合金化法による問題点として添加元素の不均一分散が挙げられる。

現在までに我々の研究室では、鉛の代替物質として黒鉛粉末を用いて、押し出し加工により鉛フリー快削黄銅を開発する方法について検討してきた<sup>7)</sup>。しかし、黒鉛粉末は被削性の向上には寄与するが、機械的性質の低下を招く要因となることが明らかになった。そこで被削性向上が見込める種々の物質の中から、硫化銅(Cu<sub>2</sub>S)粉末を添加することにした。しかし、この場合加工の途中で硫化亜鉛(ZnS)が生成され、これが被削性の向上に対して妨害となることが明らかとなってきた<sup>8)</sup>。そこで本研究では、亜鉛と硫黄の反応を抑制させるために、まず6-4黄銅切削屑の表面のみを酸化させるとともに脱亜鉛させ、その切削屑にCu<sub>2</sub>Sを添加した鉛フリー快削黄銅を開発することを目的とした。

## 2. 実験方法

現在市販されている6-4黄銅にはすべて鉛が含まれているため、本実験で使用することができない。そこで、まず純粋な6-4黄銅切削屑を得るため、必要となる純粋

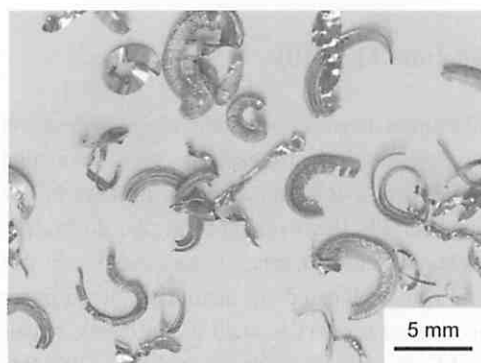


Fig. 1 Appearance of machined chips of 60% Cu-40% Zn alloy.

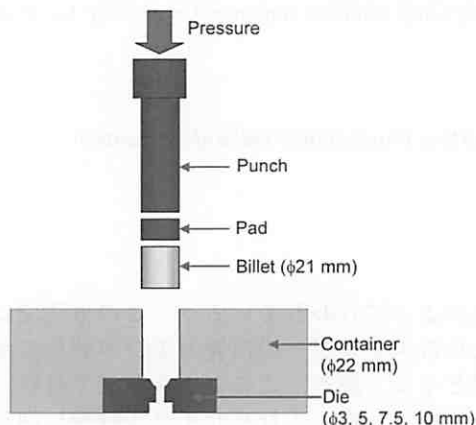


Fig. 2 Schematic illustration of hot extrusion apparatus.

な6-4黄銅鋳塊を、無酸素銅および電解亜鉛を用いて作製した。得られた鋳塊から機械加工により、工業的に排出される切削屑に近い形状ならびに大きさを有する純粋な6-4黄銅切削屑を作製した。得られた切削屑の外観写真をFig. 1に示す。この切削屑に対し、大気中で773 Kに保持した炉中にて0.6 ks間保持し、加熱処理を施した。この加熱処理を施した切削屑に、平均粒径10 μmのCu<sub>2</sub>S粉末を1、2、3、4および5 vol%添加した。これらを充分混合した後、686 MPaの荷重を印加して冷間圧縮成形を行い、φ21 mmの圧縮成形体を作製した。この圧縮成形体を押し出し用ピレットとし、熱間押し出し加工により773 Kでφ10 mm(押し出し比4.8)、φ7.5 mm(8.6)、φ5 mm(19.4)およびφ3 mm(53.8)に押し出した。使用した押し出し装置の概略図をFig. 2に示す。得られた切削屑に対し元素分析を、また押し出し材に対しては、外観観察、硬さ試験、密度測定、引張試験および切削抵抗試験により種々の特性の評価を行った。また、比較材として加熱処理を施していない切削屑からの押し出し材についてもそれぞれの分析を行った。硬さ試験については、マイクロビッカース硬さ試験機により荷重を0.98 Nとして測定を行った。引張試験はφ5 mm(押し出し比19.4)の押し出し材を全長45 mm、標点間距離20 mmに機械加工により成形し、インストロン型万能試験機を用いて引張速度を2 mm/minとして行った。切削抵抗試験はφ7.5 mm(押し出し比8.6)の押し出し材に対し、旋盤による切削加工時の抵抗を測定することとした。すなわち、バイトの上下にひずみゲージを取り付け、試料とチップの接触部分における垂直応力を主分力として測定する方法を採用した。以降、得られた押し出し材について、加熱処理を施した切削屑から作製した押し出し材を「加熱処理材」、加熱処理を施していない切削屑からの押し出し材を「加熱未処理材」と呼ぶこととする。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 切削屑のEDX元素分析

Fig. 3にSEM-EDXによる切削屑の元素分析結果を示

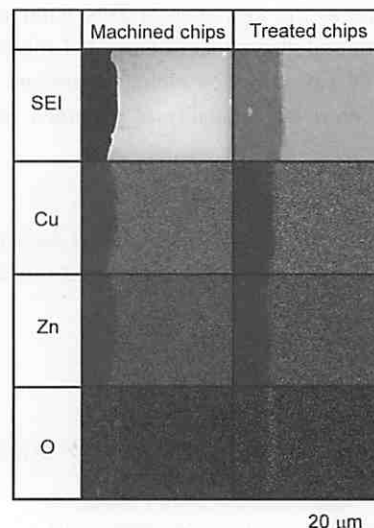


Fig. 3 SEI and EDX analysis of machined chips and treated chips.

す。加熱処理の有無に関わらず、切削屑表面には酸素の濃化領域が確認され、その厚さは加熱処理を施した切削屑が大きくなった。また、脱亜鉛の影響を調べるために点分析を行った結果、皮膜付近の領域において脱亜鉛層の存在が確認された。しかし、この層の厚さは非常に薄く、加熱処理後の組成は加熱処理前と比較して、1%程度低いZn量であった。そのため、全体として脱亜鉛による影響は小さいといえる。

### 3.2 外観観察

Fig. 4に切削屑から直接固化成形させた押出し材の外観観察の結果を示す。φ10(押し比4.8)、φ7.5(8.6)、φ5(19.4)およびφ3 mm(53.8)に押し出した棒材はすべて先端部に一部接合不良部が観察されたものの、金属光沢を有する外観の健全な押出し材であった。また、加熱処理を施した切削屑は金属光沢が失われていたが、押出し材では外観上の差異はみられなかった。この原因として、切削屑の最表面部は酸化皮膜の形成によりいったん金属光沢を失うが、押し加工を行うことで酸化皮膜が破れ均一化されるため、押し材はふたたび金属光沢を呈したことが考えられる。また、押し材に

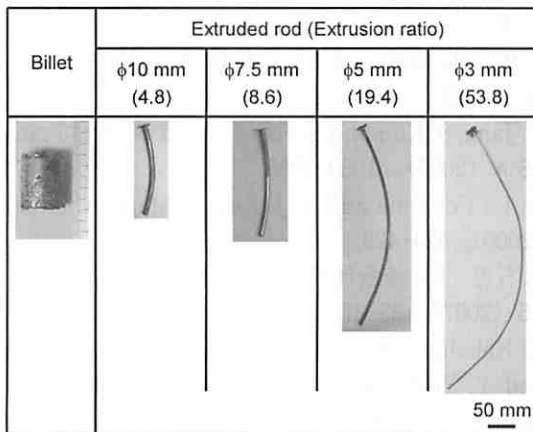


Fig. 4 Appearance of billet and extruded rods.

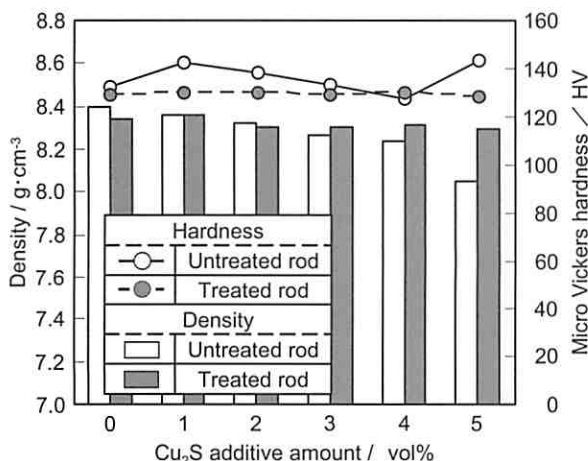


Fig. 5 Hardness and density of extruded rods with different Cu<sub>2</sub>S additive amount.

対し組成分析を行ったところ、加熱処理材と加熱未処理材は同程度の値を示したことから、押し材における加熱処理による影響は小さいことが確認された。

### 3.3 硬さ試験および密度測定

Fig. 5に硬さ試験と密度測定の結果を示す。硬さについては、加熱未処理材には硬く脆いZnSが生成されやすいため、無添加材よりも硬さが上昇していた。また、加熱未処理材におけるCu<sub>2</sub>Sの5 vol%添加材では硬さの上昇がみられた。これは、5 vol%添加材は他の試料よりも添加量が多量であるためSとZnが反応しやすくなり、押し材全体にZnSが多量に分散したことが原因と考えられる。これに対し、加熱処理材ではほぼ一定の硬さを示していた。これは、加熱処理を施すことによってZnSの生成が抑制されたことが原因と考えられる。この結果から、加熱処理はZnSの生成を抑制する有効な手段だといえる。つぎに密度測定の結果について、加熱未処理材の密度は添加量の増加にともない低下していく傾向がみられたが、加熱処理材にはその傾向があまりみられなかった。これは、加熱処理時ならびに押し加工時に生成する可能性のある酸化物および硫化物の密度差によると考えられる。

### 3.4 引張試験

Fig. 6に引張試験の結果を示す。まず、加熱処理材と加熱未処理材の引張強さを比較すると、加熱処理材の方がすべての条件において高い引張強さを示した。これは、加熱処理により生成された酸化物による分散強化により、強度が上昇したと考えられる。また、加熱処理材および加熱未処理材のいずれも、Cu<sub>2</sub>Sの添加量の増加にともない引張強さおよび伸びは減少した。これは、押し材中の旧切削屑界面にCu<sub>2</sub>Sが存在することにより、ディンプルの生成および成長を促進させたためだと考えられる。しかし、5 vol%添加材では引張強さ、伸びともに上昇した。これはZnSの生成が関与していると思われ、旧切削屑界面においてZnSが生成することにより、切削屑同士の圧着がより強固になり強度が上昇したと考えられる。

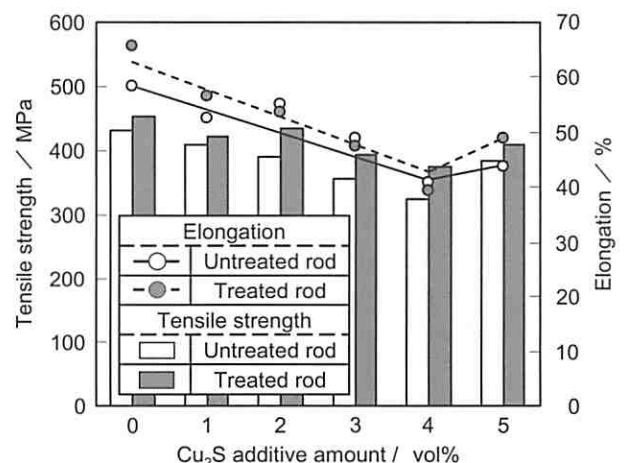


Fig. 6 Tensile strength and elongation of extruded rods with different Cu<sub>2</sub>S additive amount.

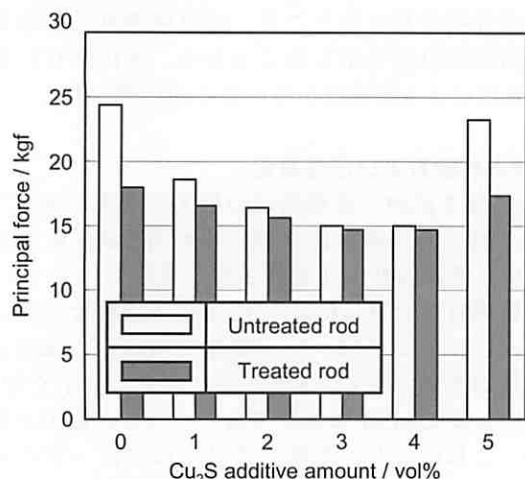


Fig. 7 Principal force of extruded rods with different Cu<sub>2</sub>S additive amount under depth of cutting of 0.5 mm.

### 3.5 切削抵抗試験

Fig. 7に切削抵抗試験の結果を示す。加熱処理の有無に関わらず、Cu<sub>2</sub>S添加量の増加にともない切削抵抗の値は低下する傾向がみられた。しかし、5 vol%添加材はこの傾向とは逆に値が上昇した。これは、1～4 vol%添加材と比較して、5 vol%添加材ではZnSが比較的多量に生成しているためだと考えられる。このことから、ZnSの生成を抑制することが被削性を改善する手段となり得るといえる。さらに、加熱処理の有無について比較すると、すべての添加量において加熱処理材の方が低い切削抵抗値を示しており、とくに5 vol%添加材では加熱処理材の方が加熱未処理材よりも切削抵抗値の増加量がわずかであった。この結果から、加熱処理を施すことによりCu<sub>2</sub>S添加材の被削性が向上しやすくなることが明らかになった。

## 4. 結 言

純粋な6-4黄銅切削屑に対し加熱処理を施すことにより酸化皮膜を形成するとともに、ごく表面のみを脱亜鉛させ、それらの切削屑を冷間で圧縮成形した後、熱

間押し加工により固化成形を試みた結果、以下の事項が明らかとなった。

- (1) 切削屑から直接熱間押し法により固化成形した結果、健全な押し材を得ることができた。また、加熱処理を施すことによる、押し材の外観上の差異は認められなかった。
- (2) 硬さ試験および密度測定の結果、加熱処理を施すことにより、Cu<sub>2</sub>S添加量に変化による値のばらつきが小さくなることが明らかとなった。
- (3) 引張試験の結果、加熱未処理材と比較して加熱処理材は、すべての条件で高い引張強さを示した。また、Cu<sub>2</sub>S添加量の増加にともない引張強さ、伸びともに減少したが、5 vol%添加材は加熱処理材、加熱未処理材ともにその値が上昇した。
- (4) 切削抵抗試験の結果、Cu<sub>2</sub>S添加量の増加にともない切削抵抗が低下した。また、加熱処理を施した試料は加熱未処理材と比較して良好な被削性を有することが明らかになった。

### 参考文献

- 1) 堀口俊一：鉛-環境中の鉛と生体影響-, 労働科学研究所出版部, (1993), 13-20.
- 2) 安藤哲也, 渥美哲郎, 吉川善浩：銅と銅合金, 42 (2003), 17-20.
- 3) 小林 武, 丸山 徹, 中尾和祺, 村上陽太郎：銅と銅合金, 42 (2003), 223-228.
- 4) Y. Jang, S. Kim and S. Han : Metall. Mater. Trans. A, 36 A (2005), 1060-1065.
- 5) A. La Fontaine and V. J. Keast : Mater. Charact., 57 (2006), 424-429.
- 6) 大石恵一郎, 後藤佳行, 吉川 勉, 岡 尚之：まてりあ, 46 (2007), 25-27.
- 7) K. Nakahata, Y. Sugiura, A. Nishimoto, K. Akamatsu and Y. Yoshikawa : Journal of JSHT, 49 Spec. Iss., (2009), 776-781.
- 8) 中畑憲一郎, 遠藤康利, 吉川嘉宥, 西本明生, 赤松勝也：第67回日本熱処理技術協会講演大会講演概要集, (2009), 29-30.