

[論文]

熱間押し出し法による黄銅切削屑からの硫化マンガン分散鉛フリー快削黄銅の調製

関西大学大学院 理工学研究科 大学院生 佐藤 直樹

[現：ウメトク株式会社]

関西大学大学院 理工学研究科 大学院生 竹田 諒佑

[現：YKK株式会社]

関西大学 化学生命工学部 化学・物質工学科 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・博士(工学) 丸山 徹

Preparation of Lead-Free Machinable Brass dispersed MnS by Hot Extrusion of Machined Chips

Graduate School of Science and Engineering, Kansai University, Graduate Student Naoki Sato

[Present : Umetoku Co., Ltd.]

Graduate School of Science and Engineering, Kansai University, Graduate Student Ryosuke Takeda

[Present : YKK Corporation]

Department of Chemistry and Materials Engineering, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering, Kansai University, Professor, Ph. D. Akio Nishimoto

Department of Chemistry and Materials Engineering, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering, Kansai University, Professor, Ph. D. Toru Maruyama

(Received February 28, 2014 ; Accepted May 19, 2014)

The most popular recycle process of brass machined chips wastes is remelting process. However, this process is much energy consumption. On the other hand, lead has been added conventionally in order to improve the machinability of metallic materials. The development of lead-free alloy has become an important issue since lead is harmful to the human body. In this study, MnS was applied to a substitutional material of lead to improve machinability and a direct consolidation process from machined chips of 60/40 brass has been developed. Mixture of machined chips of 60/40 brass and the MnS powder of 0.1-1.0 mass% were consolidated by hot extrusion. Extrusion was conducted at 773 K and an extrusion ratio of 11.1. After the tensile test of the extruded specimen, the tensile strength of the extruded specimen with MnS and that without MnS showed a nearly equivalent value. And tensile strength of the extruded specimen with MnS particles of 106 μm in diameter was slightly higher than that of 45 μm in diameter. Elongation of the extruded specimen decreased with an increase of the MnS additive amount. The cutting resistance test and the chip observation indicated that an increase of MnS additive improved machinability.

Keywords: 60/40 brass, machined chips, hot extrusion, machinable brass, manganese sulfide, lead-free copper alloy

1. 緒言

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、この方法では大量のエネルギー消費や不純物の混入などが問題となっている¹⁾。スクラップの中には使用済みの部品のほか、部品の加工段階で生じた切削屑が含まれている。最近、このような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、

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

原料粉末として固相状態のままバルク化する試みに興味を持たれている。一方、黄銅に限らず金属材料ではその被削性を向上させるために従来から鉛が添加されてきたが、鉛が人体に有害であるため鉛フリー黄銅の開発が重要な課題となってきた²⁾³⁾。そこでビスマス、ケイ素、グラファイト粉末などを鉛に代替する添加元素として黄銅に添加する研究が行われてきたが、これらの研究はすべて溶解法による合金化である^{4)~12)}。そのため黄銅と添加元素の比重差によって、溶解過程での浮遊分離により添加元素の不均一分散が生ずるとされている。また、近年では粉末冶金法による鉛フリー黄銅に関する研究も報告されている¹³⁾¹⁴⁾。本研究では黄銅系スクラップとして機械加工などによって排出される切削屑を用い、熱間押し法を用いることによって溶解せず固相のまま直接固相成形する技術を応用した¹⁵⁾。鉛の代替物質としては、化学的に安定で、応力集中効果によって材料の被削性を向上させることが期待できる硫化マンガン (MnS) 粉末を用い、MnS粒子を微細かつ均一に分散させた鉛フリー黄銅の開発および機械的性質の検討を行うことにした。今回は押し出し材中におけるMnS粉末の粒径が機械的性質および被削性におよぼす影響について調査するために、106 μm 以下と45 μm 以下の粒径の粉末を使用した。

2. 実験方法

実験試料は、鉛フリー6-4黄銅材が市販されていないため、無酸素銅および電解亜鉛を用いて必要となる純粋な6-4黄銅鑄塊を作製した。得られた鑄塊から縦型フライス盤による機械加工により、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。この切削屑に鉛の代替物質として粒径の異なるMnS粉末を添加した。粒径45 μm 以下のMnS粉末では0.1、0.3、0.5、0.7および1.0 mass%を、106 μm 以下のMnS粉末では0.1、0.5および1.0 mass%を切削屑に添加して充分混合した後、押し出しを行った。切削屑とMnS粉末の混合については袋中で手混合した。粉末が袋内に付着する

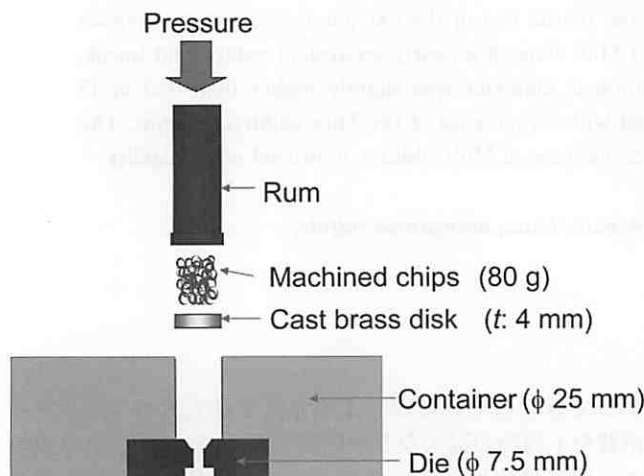


Fig. 1 Schematic illustration of hot extrusion.

ことを防ぐために、静電気防止加工が施されたビニール袋に切削屑とMnS粉末を入れ、0.6 ks袋を振ることによって攪拌を行った。押し出し装置の概略図をFig. 1に示す。まず切削屑がダイスの穴からこぼれ落ちることを防ぐために、コンテナ下部のダイスの上に厚さ4 mmの鉛フリー6-4黄銅製のディスクを置き、その後80 gの切削屑をコンテナ内部に入れて熱間押し出しを行った。押し出し条件は温度を773 K、ダイス径を7.5 mmおよび押し出し比を11.1とした。また、コンテナ内部に機械油と黒鉛粉末を混合させた潤滑剤を塗布し、ラムの下降速度は15 mm/minで行った。その後、得られた押し出し材の外観観察、SEMおよびEDX観察、硬さ試験、引張試験、切削抵抗試験を行い、切削抵抗試験後にはスローアウェイチップおよび切削屑の観察を行った。硬さ試験については、マイクロピッカー硬さ試験機により荷重0.98 Nとして測定を行った。引張試験については、押し出し材を全長84 mm、標点間距離40 mmとして、Fig. 2の寸法となるように旋盤による機械加工によって引張試験片を成形し、インストロン型万能試験機を用いて引張速度を1 mm/minとして行った。切削抵抗試験は押し出し材に対し、旋盤による切削加工時の抵抗を測定することとした。試験条件はTable 1にしたがって

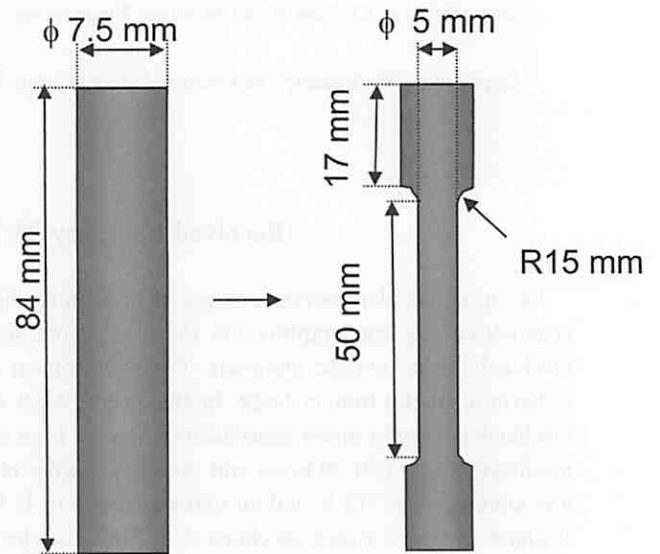


Fig. 2 Schematic illustration of extruded specimen for tensile test.

Table 1 Cutting condition of cutting resistance test.

Tool material	WC-TiC-Co (TH10)
Throw away tip	TNGA160404
Tool holder (Shank)	ETGNR2020K33W
Rotating speed	560 rpm
Depth of cut	0.1, 0.2, 0.5 mm
Feed speed	0.27 mm \cdot rev ⁻¹
Cutting fluid	Dry

行い、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成分力として測定する方法を採用した。

3. 実験結果および考察

3.1 押し出し材の外観および組織

Fig. 3に熱間押し出し法を用いて切削屑から直接固化成形した押し出し材の外観を示す。切削屑どうしの界面部がみ



Fig. 3 Appearance of an extruded brass rod at 773 K.

られない金属光沢を帯びた健全な押し出し材が得られた。

押し出し材に添加したMnS粉末の分散状態を観察するために、SEMによるEDX元素分析を行った。Fig. 4に45 μmおよび106 μm以下の粒径のMnS粉末を0.5 mass%添加した押し出し材の横断面の元素分布を示す。106 μmの粉末を添加した試料ではMnSが一部塊状になって偏析していることが観察できる。この偏析は45 μmの粉末を添加した試料でもみられたが、106 μmの粉末を添加した試料と比較すると、きわめて少ない範囲にとどまっていた。

3.2 押し出し材の機械的性質

押し出し材におけるMnS粉末の添加量および粒径が硬さにおよぼす影響を調べる目的で、硬さを測定した結果をFig. 5に示す。いずれの試料でも120 HV前後の硬さであり大きな変化はみられなかった。MnSの添加量や粒径の違いは硬さに影響をおよぼさないものと考えられる。

押し出し材の引張試験を行い、その引張強さと伸びを調べた結果をFig. 6、Fig. 7にそれぞれ示す。いずれの試料についても引張強さは400 MPa程度であり、45 μm以下のMnS粉末を添加した試料ではやや低くなる結果となった。伸びはMnS粉末の添加量の増加とともに減少する傾向がみられた。これは添加したMnS粉末の応力集中効果により試料が脆化したためと考えられる。また、粒径の違いに関しては、粒径が45 μm以下のMnS粉末を添加した試料の方が、粒径106 μm以下のMnS粉末を添加した試料よりも伸びが小さくなる傾向が認められた。これは同量のMnS粉末であれば粒径が細かい方が押し出し材中に微細に分散し、引張試験時のMnS粉末の応力集中効果によって、より多量のディンプルが発生するためと考えられる。得

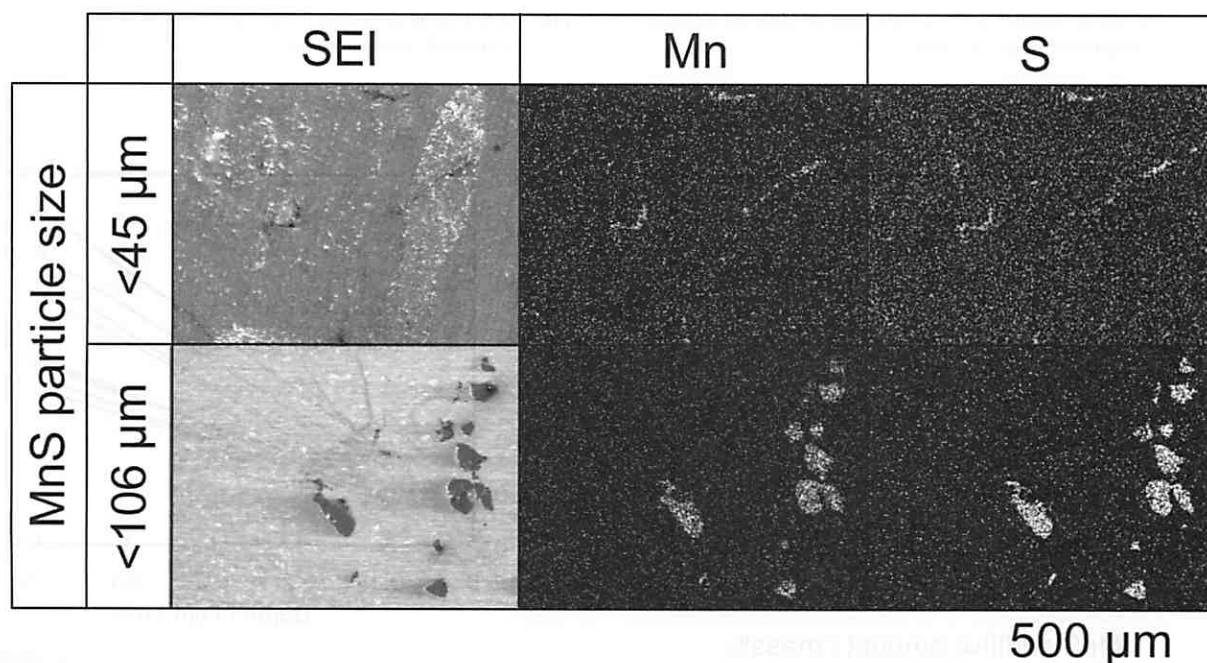


Fig. 4 SEM and EDX analysis of the cross section of extruded brass specimens dispersed 0.5 mass% MnS.

られた押し材の機械的性質は、硬さが120 HV前後、引張強さが400 MPa程度であったが、これはJIS規格C2801の6-4黄銅と比較してほぼ同等の値であった¹⁶⁾。

3.3 押し材の被削性

MnS粉末の添加量および粒径が押し材の被削性におよぼす影響を調べる目的で、切削抵抗試験を行った。その結果をFig. 8に示す。いずれの試料もMnS粉末を添加することによって切削抵抗が減少する傾向がみられ、粒径45 μm以下のMnS粉末を0.5 mass%添加した試料でもっとも低い切削抵抗値を示した。また、同量のMnS粉末を添加した試料同士を粒径の違いで比較してみると、MnS粉末を1.0 mass%添加の試料以外では、粒径45 μm以下のMnS粉末を添加した試料の方が低い切削抵抗値を示した。

添加量の多い1.0 mass%ではなく0.5 mass%のMnSを添加した試料で、切削抵抗値が小さくなった要因として、過剰にMnS粉末を添加した場合にはスローアウェイチップ表面に硬いMnS粒子が当たり、かえって切削抵抗値が上昇してしまうのではないかと考えられる。米山らは鉛入り黄銅の切削性の評価を行っており¹⁷⁾、切り込み量が3.0 mmと本研究で得られた結果と単純に比較はできないが、鉛入り黄銅では本研究のMnSを添加した押し材で得られたもっとも低い切削抵抗値(切り込み深さ0.5 mmで147 N)よりも低くなるのが推測される。

Fig. 9に切削抵抗試験を行った後のスローアウェイチップ先端部の表面をSEM観察およびEDX分析した結果を示す。スローアウェイチップ表面に帯状のCuと分散した粒状のMnおよびSが検出されたことから、切削時にMnS粒

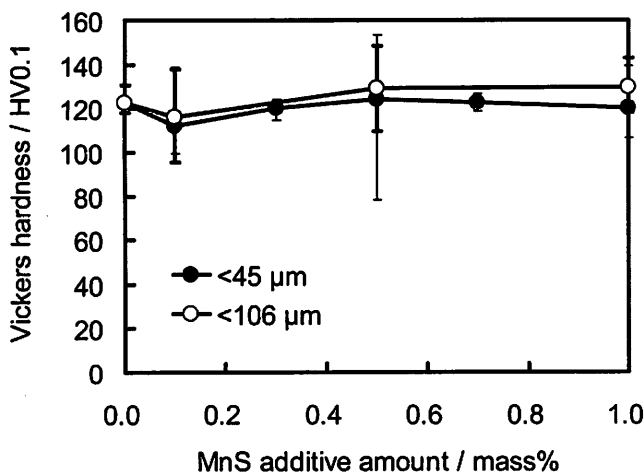


Fig. 5 Effect of additive amount and particle size of MnS on vickers hardness of extruded brass specimens.

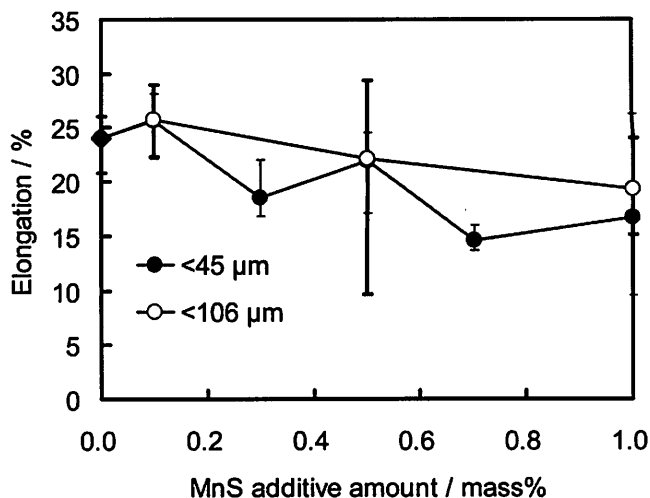


Fig. 7 Effect of additive amount and particle size of MnS on elongation of extruded brass specimens.

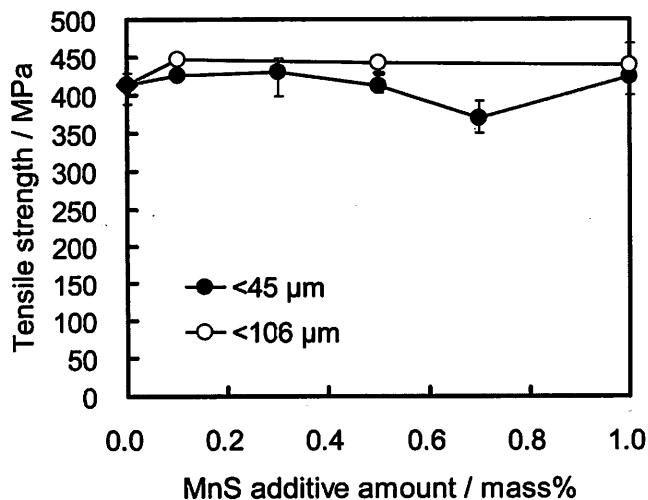


Fig. 6 Effect of additive amount and particle size of MnS on tensile strength of extruded brass specimens.

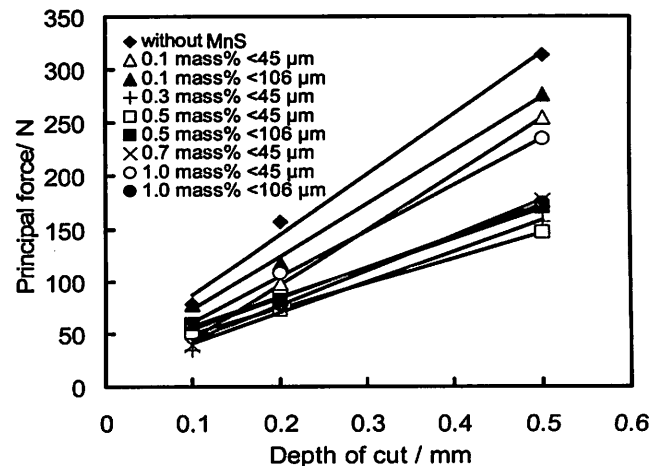


Fig. 8 Principal force of extruded brass specimens at various cutting depth conditions.

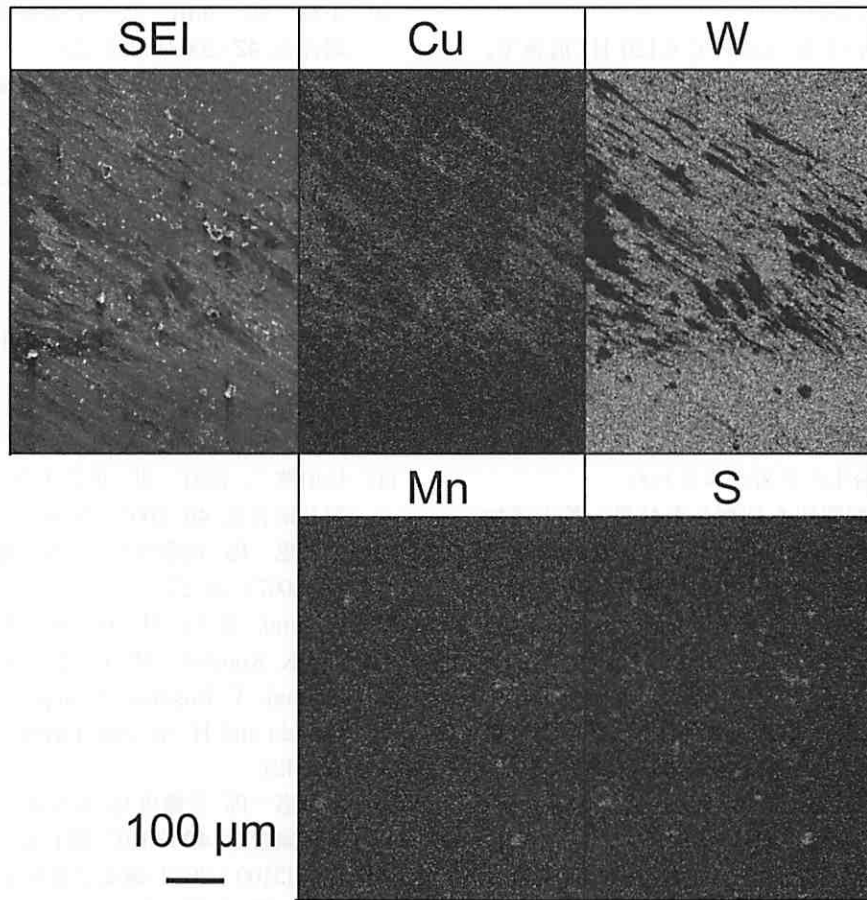


Fig. 9 SEM and EDX analysis of the throw-away tip after cutting resistance test.

子が被削性を改善させるための介在物として働いていることが示唆された。

Fig. 10に切削抵抗試験後に得られた切削屑を示す。MnS粉末添加量の増加とともに微細な切削屑が得られた。微細な切削屑ほど切削処理性が良好となるので¹⁾、MnSは切削処理性という観点からも被削性の改善に寄与していることが判明した。粉末粒径で比較すると、粒径の小さいMnS粉末を添加した試料の方が若干微細な切削屑が得られた。これは粉末が微細であるほど押し材中で偏析が起きにくく、また分散して存在していたため、より被削性の改善に寄与したと考えられる。

4. 結言

純粋な6-4黄銅切削屑にMnS粉末を混合して押し出しを行い、鉛入り黄銅に代わる鉛フリー快削黄銅の開発を試みた。粉末の粒径および添加量を変化させて分析を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 切削屑からの熱間押し出しによって得られた押し出し材を外観観察した結果、切削屑どうしの界面部がみられない金属光沢を帯びた健全な押し出し材が得られた。
- (2) SEMおよびEDX観察の結果、45 μm以下の粒径のMnSを添加した試料ではMnS粒子が比較的均一に分

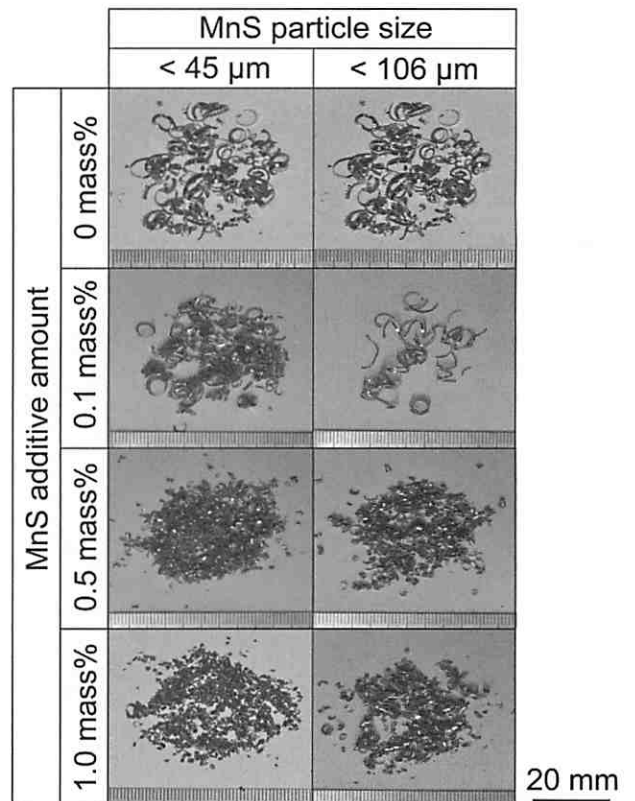


Fig. 10 Appearance of brass chips after cutting resistance test.

- 散している様子がみられた。
- (3) 硬さ試験の結果、いずれの試料でも120 HV前後で、MnSの添加量や粒径の影響はほとんどないことがわかった。
 - (4) 引張試験の結果、いずれの試料も引張強さは400 MPa程度であったが、MnS粉末の添加量の増加とともに伸びが減少する傾向がみられた。
 - (5) 切削抵抗試験の結果、MnS粉末を添加した試料は無添加の試料よりも低い切削抵抗値を示した。また45 μm 以下の粒径のMnS粉末を0.5 mass%添加した試料がもっとも低い切削抵抗値を示した。
 - (6) 切削抵抗試験後にスローアウェイチップの表面をSEMおよびEDX観察を行った結果、スローアウェイチップ表面にMnS粉末の付着がみられた。
 - (7) 切削抵抗試験後の切削屑を観察した結果、粉末添加量の増加とともに切削屑が細くなり、粒径の小さい粉末を添加した場合のほうが若干細かい切削屑が得られた。

参考文献

- 1) 日本伸銅協会 編：銅および銅合金の基礎と工業技術改訂版，日本伸銅協会，(1994)，1-2, 35, 173, 382, 537.
- 2) 小林 武，丸山 徹，明石 巖，阿部弘幸，杉谷 崇，若井寛明：鑄造工学，**81** (2009)，650-660.
- 3) 田中真次，福田佳昭，今村昌子，大石恵一郎：銅と銅合金，**44** (2005)，219-224.
- 4) 丸山 徹，小林 武，中尾和祺，村上陽太郎：銅と銅合金，**42** (2003)，212-216.
- 5) 小林 武，丸山 徹，中尾和祺，村上陽太郎：銅と銅合金，**42** (2003)，223-228.
- 6) 安藤哲也，渥美哲郎，吉川善浩：銅と銅合金，**42** (2003)，17-20.
- 7) C. Vilarinho, J. P. Davim, D. Soares, F. Castro and J. Barbosa : J. Mater. Process. Technol., **170** (2005), 441-447.
- 8) Y. Jang, S. Kim and S. Ham : Metall. Mater. Trans. A, **36 A** (2005), 1060-1065.
- 9) A. La Fontaine and V. J. Keast : Mater. Charact., **57** (2006), 424-429.
- 10) 松本敏一，岡 尚之：銅と銅合金，**45** (2006)，250-255.
- 11) 松田健二，池野 進，浜谷大介，川畑常真，上谷保裕：銅と銅合金，**46** (2007)，59-64.
- 12) 大石恵一郎，後藤佳行，吉川 勉，岡 尚之：まてりあ，**46** (2007)，25-27.
- 13) H. Imai, S. Li, H. Atsumi, Y. Kosaka, A. Kojima and K. Kondoh : Mater. Trans., **51** (2010), 855-859.
- 14) H. Imai, Y. Kosaka, A. Kojima, S. Li, K. Kondoh, J. Umeda and H. Atsumi: Powder Technol., **198** (2010), 471-421.
- 15) 中畑憲一郎，遠藤康利，吉川嘉宥，西本明生，赤松勝也：銅と銅合金，**49** (2010)，254-257.
- 16) JIS H3100 : 2012, 銅及び銅合金の板及び条.
- 17) 米山 陽，佐野正明，堀込昭彦：山梨県工業技術センター研究報告，**22** (2008)，111-114.