

硫黄を含むビスマス青銅鑄物の組織と摩擦摩耗特性 に及ぼす時効硬化の影響

舟木克之* 藤井要* 鷹合滋樹* 岡根利光** 小林武*** 明石隆史****

緒言

近年、RoHSやELV指令等の環境規制によって鉛やカドミウムなど製品中に特定有害物質の含有を禁止・減少させる動きがある。先に我々は、ニッケル含有量が2.0mass%以下のCu-Sn-Ni-Bi系青銅合金に1.0mass%以下の硫黄を添加すると、as castで多量の金属間化合物が層状に整列した共析組織を発現する鑄造用銅合金(以下、PBX合金と呼ぶ)を開発した。この合金では、接触面で硬質相と軟質相が交番する共析組織のテクスチャ効果により、鉛青銅鑄物CAC603よりも動摩擦係数が低く、高い耐焼付性が得られるのではないかと考えられる。そこで本研究では、PBX合金に溶体化処理と時効を施して金属間化合物相を再析出させ、析出挙動と共析組織の詳細な観察から、その時効硬化や低摩擦係数特性発現のメカニズムについて検討した。

銅合金試料の作製と時効硬化

高周波溶解炉で溶製したPBX合金(Cu-11Sn-1.5Ni-3Bi-0.3S)をJIS A号引張試験片用のシェル砂型に鑄込み、そのつかみ部分から直径20mm、高さ12mmの円柱状に機械加工して試料とした。溶体化処理は、デンドライト間のマイクロ偏析が消えないよう $\alpha+\gamma$ 領域の803Kで10.8ksの溶体化の後に室温まで急冷し、再度加熱して573~743Kの間で所定時間の時効を行った。この時、水冷を行うと試料が割れたため、冷却は強制空冷とした。

試料の評価では、硬さや金属組織、X線回折波形の変化などを行った。X線回折には位置敏感型検出器(PSD)と銅ターゲットを使用し、硬さ測定はロックウェル硬度計を用い、Bスケールで行った。

図1に溶体化後、573Kから743Kで10.8ks時効した試料のHRB硬さの変化を示した。溶体化処理のみではas castよりも5 HRBほど軟らかく、573K以下で時効処理しても硬さの変化は小さかった。しかし、623K以上では硬さが大幅に増加し、673Kにおいてピークを示した後、743Kでは減少した。

図2に示すように、743Kでの時効では3.6ksまではマクロ結晶粒に変化はなかったが、14.4ksではマクロ結晶粒が微細化した。外力によって導入された転位の場合は比較的短時間で再結晶を生じることから、時効中に格子変態など大きなせん断力が加わって大量の転位が導入され、再結晶しているのではないかと推察される。時間21.6ksの試料ではさらに微細化が進んで、マクロ組織はぼやけて不鮮明になった。なお、このマクロ組織の変化は、673Kで時効した試料では見られなかった。

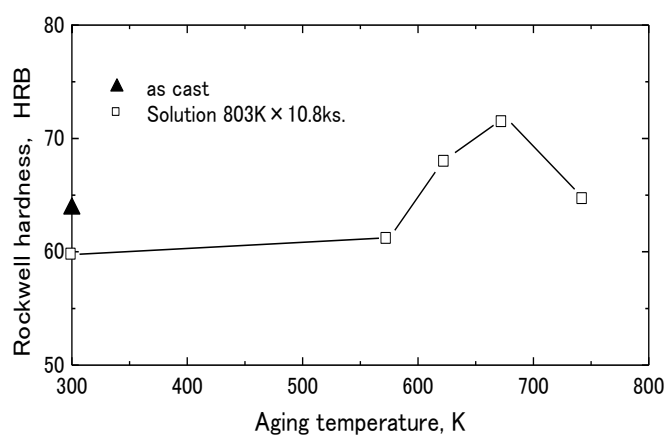


図1 PBX合金の時効硬化挙動

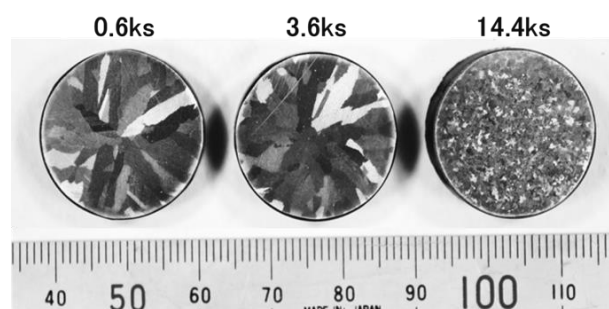


図2 743K時効過程におけるマクロ組織の変化

*機械金属部 **産業技術総合研究所

関西大学 *(株)明石合銅

時効による金属組織の変化

図3はデンドライト間をSEMで観察したものである。図3 (a)は溶体化のみ、図3 (b)は溶体化後に673Kで10.8ks時効した金属組織を示す。付属するEDSで分析したところ、微細球状粒子はビスマスであり、その大きさは数 μm 程度である。溶体化直後の基地組織は α 单相であったが、673Kで時効すると未固溶の δ 相の成長と多くの微細析出物が現れた。また、 α 相の一部は松の葉状組織に変態し、その組織が示す方位からミクロ結晶粒は10 μm 程度に微細化していた。また、松の葉状組織の面積が経時的に増加することと、松の葉状組織の部分ではfcc(α 相)ではなくbcc構造であることがEBSD解析で確認されたことから、拡散を伴った相変態により生じた組織であると考えられる。

共析組織による摩擦状態の改善

動摩擦係数 μ_d は摩擦力Fを荷重Wで割ったものであり、次式で表される。

$$\mu_d = F / W = F / AH = \tau / H + A' / A$$

ここでA:真実接触面積、A':掘り起こし面積、 τ :せん断強さ、H:硬さである。

α +微細 δ 共析組織を持つPBX合金では、 α +粒状 δ 基地の鉛青銅よりも333K油中での動摩擦係数が小さかった。図4に基地組織による摩擦状態の違いを模式的に示す。

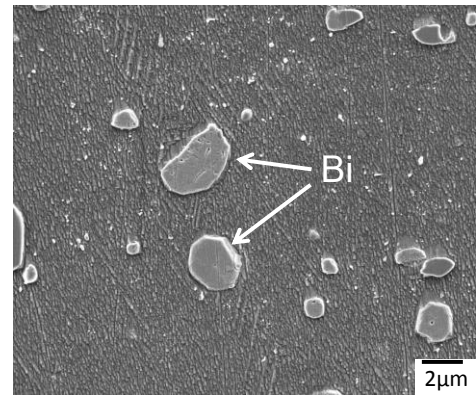
一般に凝着は α 相で起こり易く、母相中で α 相の面積が広い鉛青銅では、凝着のせん断に要する力 τ は大きい。また、基地の摩耗により硬い δ 相が突出すると相手材を引っ掻く掘り起こし力 $A' \cdot H$ が発生し、摩擦係数が増加する。これに対してPBX合金では、共析組織における凝着面は金属間化合物により分断されることで点接触状態となるため、凝着のせん断に必要な力 τ は小さい。また、析出する金属間化合物が長さを持った片状で微細に分散しているため、摩擦が進んでも突出して相手材に食い込む面積 A' が少なく、掘り起こし力は無視できるほど小さいと推察される。このため、動摩擦係数に違いが現れたのではないかと考えられる。

結言

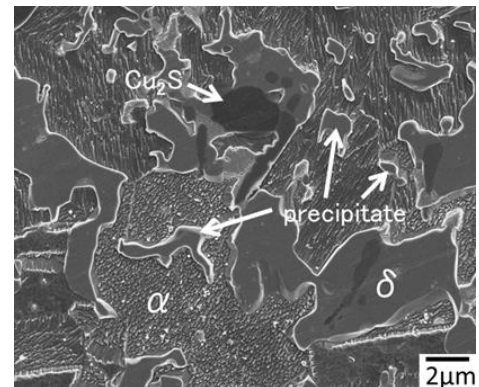
- (1) 673Kで10.8ks時効したPBX合金では、基地組織の一部が拡散を伴った相変態により微細析出物を含む松の葉状の組織に相変態し、ミクロ結晶粒は10 μm 程度に微細化した。
- (2) PBX合金の333K油中での動摩擦係数は鉛青銅よりも小さい。これは凝着部が共析組織により分断されてせん断に必要な力が小さくなることと、掘り起こし力が無視できるほど小さいためと考えられる。

論文投稿

鑄造工学 2015, vol. 87, no. 12, p. 861-867.



(a) 溶体化直後



(b) 673K-10.8ks 時効後

図3 時効による金属組織の変化

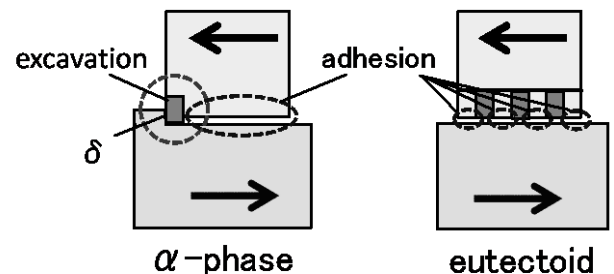


図4 基地組織による摩擦状態の違い