

氏 名	平 井 良 政
国 籍 ・ 本 籍	大阪府
学 位 の 種 別	博士（工学）
学 位 の 番 号	甲第276号
学位授与の日付	平成29年 3 月17日
学位授与の要件	名城大学学位規程第 3 条第 3 項該当
学 位 論 文 題 目	硫化物を分散した青銅の摩擦特性およびその実用化に関する研究
論文審査委員	主 査 宇佐美 初 彦
	副 査 服 部 友 一
	副 査 ペトロス アブラハ

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、銅 - 鉄 - 硫黄の 3 元系化合物（硫化物）を微細分散させた青銅（硫化物青銅）のクロム軸受鋼(SUJ2)に対する摩擦摩耗機構を解明し、軸受等の摺動部材への適用可能性を検討した。試験は 3 ボールオンディスク型の摩擦試験装置を使用し、摩擦係数、摩耗量、耐焼付き性の調査、および、試験後の摩擦面の変化や、成分分析を種々の測定機器により解析した。その結果、微細硫化物が摩擦面上で被膜を形成し、これが摩擦面で発生する凝着損傷を抑制する現象を見出し、微細硫化物の摩擦低減機構を解明した。また、一般の青銅軸受では黒鉛等の固体潤滑剤が複合されている場合もあることから、硫化物青銅と固体潤滑剤である黒鉛との複合表面を作製し、その摩擦摩耗に関して黒鉛と硫化物の相乗効果が発現することを確認した。さらに、硫化物青銅は表面の仕上げ加工条件の適正化によって、硫化物の露出面積割合が拡大し、摩擦低減に寄与することを確認した。

第 1 章は緒論であり、銅合金の歴史と軸受材料として利用されてきた背景、および近年の環境規制による鉛フリー銅合金の必要性および開発動向についてまとめた。摺動部材用の鉛フリー銅合金材料の開発は、研究事例が少なく中でもレアメタルを使用しない銅合金開発は稀であることを示した。また、摩擦特性の改善に関する表面改質と本研究に適用した機械的手法による黒鉛の複合化の有為性を述べた。そして本研究の目的、本論文の構成について記した。

第 2 章では、硫化物が分散された青銅の材料開発についてまとめた。銅合金の計算状態図により、銅 - 鉄 - 硫黄の 3 元系化合物である硫化物を青銅に分散させることが可能であることを確認し、さ

らに、試験片の組織観察、XRD、EPMA 分析などにより硫化物青銅の鑄造材と焼結材の基礎的な合金特性を明らかにした。また、摺動部材として基本的な摩擦特性を調査し、硫化物青銅の焼結材、鑄造材は鉛青銅の代替材料として耐焼付き性に優れることを示した。

第3章では、焼結によって製造された鉛を含まない硫化物青銅のクロム軸受鋼に対する摩擦特性を3ボールオンディスク試験によって調査し、微細硫化物の分散効果について述べた。硫化物の分散効果は、硫化物を含まない青銅と摩擦特性を比較することで検討し、摩擦特性の改善は、摩擦面に形成される酸素を含む硫化物由来の黒灰色の被膜の影響が大きく、その被膜の形成には摩耗粉が関与することを実験で明らかにした。また、EPMA 分析により摩擦特性の改善は硫化物を含む被膜が相手材との凝着を抑制する効果であることを示した。

第4章では、ショットピーニングとローラバニシングを組み合わせた機械的手法により摩擦面の黒鉛を複合化させることで、摩擦特性の改善が可能であることを述べた。表面改質された硫化物青銅の乾燥摩擦特性は、3ボールオンディスク試験によって調査し、試験後の摩擦面観察から硫化物と黒鉛は互いに異なる領域で存在していることを明らかにした。また、試験結果から黒鉛は摩擦係数を低減し、硫化物は凝着を抑制する相乗効果が示唆された。さらに硫化物と黒鉛は試験前後において変化の無いことをXRDにより明らかにした。加えて、機械的手法によって塑性加工された表面改質面は、比較的軟らかい領域と硬い領域が微細に混合している特長的な面状態であることをAFM観察により明らかにした。

第5章では、硫化物青銅は仕上げ加工条件によって乾燥摩擦特性の改善を可能にすることを述べた。加工条件として、すくい角の小さいチップで旋削加工した場合は硫化物の面積率の拡大をもたらし、すくい角の大きなチップの場合はバニシング加工を組み合わせることで摩擦係数が低減することを実験により示した。硫化物青銅は加工条件によって、硫化物の分布状態を制御することが可能であり摩擦特性の改善手法の一つであることを示唆した。

第6章では、今後の展望として、硫化物青銅を使用した摺動部材の実用化について検討した。摺動部材は実機で使用される場合、その多くは潤滑状態であり、摩擦損失低減の観点から潤滑油の低粘度化に伴う摩擦調整剤等の各種添加剤の使用が検討されている。硫化物青銅は、添加剤を配合していない基油の場合、摩擦係数、比摩耗量は硫化物を含まない青銅と類似した傾向にあるが、添加剤にZnDTPを配合した場合に、摩擦係数は高く、比摩耗量は大きくなる。しかしながら、添加剤をZnDTP+MoDTCとした場合は、摩擦係数と比摩耗量は改善された。また、添加剤をMoDTCとした場合、基油と比べて耐焼付き性が改善され、硫化物青銅の場合、ZnDTP 単独よりも、ZnDTP+MoDTC あるいは、MoDTC 単独の添加が摩擦特性の改善に効果的であり、ZnDTP の使用を低減する可能性が示唆された。

加えて、本研究で得られた知見を基にして、硫化物青銅を用いた部材を、砕石設備の鑄造軸受、鍛造プレスの焼結ギブライナとして試験的に採用した事例を述べた。

以上から、本研究で得られた知見として、

- 1) 硫化物青銅の諸特性の把握
- 2) 硫化物の分散効果として摩擦痕に見られる硫化物由来の被膜が摩擦特性を改善すること
- 3) 機械的手法による表面改質の適用にて黒鉛を複合化し硫化物と黒鉛の相乗効果が示唆された
- 4) 仕上げ加工条件により硫化物の面積率が変化し摩擦特性に影響すること

上記の内容を明らかにし、レアメタルを配合しない鉛フリー銅合金として実用化に関する指針を得た。また、得られた知見をもとにした今後の展望として、

- 1) 基礎的な潤滑摩擦特性の把握
- 2) 試験採用としての実機搭載

以上の成果を得た。今後は試験採用した部材については、実稼働状況下での状況確認や耐久性の確認を行うことで、環境規制の進む中、鉛フリー銅合金として硫化物青銅の適用を推進することが可能である。

論文審査の結果の要旨

本論文では、申請者らが摺動面への適用を目的に開発した硫化物分散青銅のクロム軸受鋼に対する摩擦摩耗特性の解析および、同材料の実用化を検討している。同論文は6章から構成され、1章は緒論であり、青銅を含む銅合金の軸受材料としての適用に関する歴史と、現在の環境規制に伴う鉛使用の削減に起因する新たな合金開発の重要性を、2章では開発した鉄—銅—硫黄化合物が微細に分散した青銅（開発青銅）の製造プロセスとその組織構造および摩擦特性が記述され、開発青銅の摩擦特性が記述されている。3章では開発青銅の摩擦摩耗特性に及ぼす硫化物由来の被膜形成機構を詳細に検討し、硫化物分散による凝着抑制機構を明らかにしている。4章では、実用の青銅合金では固体潤滑剤として黒鉛が分散配合されることを考慮して、硫化物と黒鉛の相乗効果について検討している。その結果、機械的手法によって黒鉛が複合化された開発青銅において、黒鉛と硫化物の協奏効果が発現し、摩擦抵抗のさらなる低減と耐焼付き性の大幅な向上を確認している。5章では、切削条件等の加工履歴が開発青銅表面の硫化物分散状態に影響することに着目し、摩擦特性との関係を明らかにしている。6章は結論であり、主として3章から5章で得られた結果を纏め、鉄—銅—硫黄から構成される3元化合物が分散された青銅が、軸部材として一般的なクロム軸受鋼に対する軸受素材として実用に耐え得ることを明らかにし、さらに潤滑状態でもその有意性が維持されること、碎石装置軸受や鍛造プレス案内面に適用した事例を報告している。なお、3章から5章の内容は、関連する学会に4編（和文誌2件、英文誌2件）投稿し2件が掲載済、2件は掲載決定の評価を得ている。

以上から学位論文としての条件を備えていると評価できる。従って、学位を授与することを妥当なものと判断する。