

摩擦攪拌プロセスによる高力黄銅の耐摩耗性向上に関する研究 —FSP 後の表面加工の影響—

Improvement of Wear Resistance of High Strength Brass by Friction Stir Processing — Effect of Surface Processing Method on FSP Applied Surface —

東理大・工（学）*蛭川 誠也 東理大・工（正）宮武 正明

関西大（正）川田 将平 東理大・工（正）佐々木 信也

Masaya Hirukawa*, Masaaki Miyatake*, Shouhei Kawada**, Shinya Sasaki*

*Tokyo University of Science, **Kansai University

1. 緒言

高力黄銅は、すべり軸受、ウォームギアといった様々な機械要素の摺動部で使用されている。高力黄銅の耐摩耗性向上法としては、合金元素の添加による母地結晶組織の制御や、金属間化合物の分散析出など、様々な手法が提案され実用化されている¹⁾が、添加可能な元素やその添加量には限界があり、さらなる耐摩耗性の向上が求められている。そこで本研究では、摩擦攪拌接合（FSW）と呼ばれる摩擦熱と回転力によって金属材を接合する技術を応用した表面処理技術：摩擦攪拌プロセス（Friction Stir Processing, FSP）により、高力黄銅の耐摩耗性の向上を試みた。FSPにより、鉄やアルミニウムなどにおいて、動的再結晶による結晶組織の微細化、硬度などの強度の向上、鋳物の欠陥の改善が報告されている^{2,3)}が、本研究では高力黄銅鋳物 CAC304C に FSP を施し、摺動試験により、FSP が摩擦摩耗特性に与える影響を評価した。なお、摩擦攪拌プロセスを実際の製品に適用する際は、FSP 後に何らかの表面加工を行うことになるが、本研究においては、FSP 後の表面加工法（フライス加工、放電加工）の違いが FSP を施した高力黄銅鋳物 CAC304C の摩擦摩耗特性に与える影響を比較した。

2. 実験方法

2.1 試験用材料および FSP 装置

Table 1 に、本研究で用いた CAC304C の成分・組成を示す。試料は CAC304C 連続鋳造品を、約 37×37×21 mm に切り出した。Figure 2 に本研究で使用した摩擦攪拌プロセス装置を示す。FSP のツールには直径 4 mm の超硬合金製の円柱を使用した。FSP 条件は、ツール回転数 10,000 rpm、送り 300 mm/min、押し込み深さ 200 μm とした。

2.2 FSP 後の試験片の表面加工

FSP 後の試験片表面をフライス盤もしくはワイヤ放電加工機（Wire-cut EDM, WEDM）により表面加工した。表面加工後の試料は、ワイヤ放電加工にて直径 24 mm、高さ 10 mm に切り出し、表面加工を行った面を研磨して鏡面に仕上げ、摺動試験用のディスク試験片とした。

2.3 摺動試験

製作した試験片の摩擦・摩耗特性を、パウデン・レーベン往復動摺動試験機を用いてボールオンディスク試験により評価した。相手材として、高炭素クロム軸受鋼 SUJ2（直径 10 mm、800 HV）の球を用いた。ディスクとボールは、摺動試験前後にアセトンと石油ベンジンを 1:1 の割合で調製した溶剤で 10 分間超音波洗浄した。潤滑油として、摺動面油 Shell Tonna S3 M 68（ISO VG68）を 1 回の摺動試験につき 50 μL 使用した。試験条件は、垂直荷重 20 N（面圧 0.985 GPa）、摺動速度 20 mm/s、振幅 10 mm、往復回数 3000 回で行った。ひずみゲージで摩擦力を測定し、摩擦係数を求めた。3000 往復のうち最後の 60 往復の平均をとり、平均摩擦係数とした。

Table. 1 Components of CAC304C(wt%)

Cu	Zn	Pb	Al	Sn	Fe	Mn	Ni
60-65	22-28	0.0-0.2	0.0-0.2	5.0-7.5	2.0-4.0	2.5-5.0	0.0-0.5

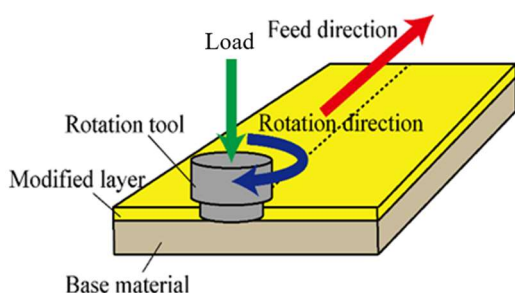


Fig. 1 Friction stir processing

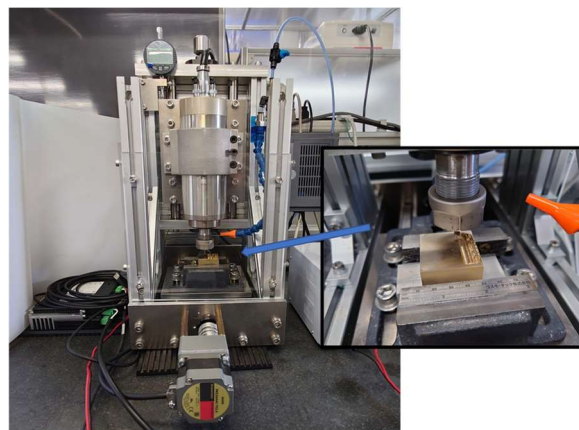


Fig. 2 Friction stir processing machine

試験後の試料表面をレーザー顕微鏡（キーエンス、VK-X150）を用いて観察し、摺動痕の体積を摺動距離で割り摩耗量を求めた。また、SEM-EDS を用いて、試験片の摺動痕のない部分の電子画像を取得し、元素分析を行った。なお、FSP の有無による摩擦摩耗特性の違いを知るため、FSP を実施していない試料も用意し、摩擦係数および摩耗量の測定、元素分析を上記の方法で行った。

3. 実験結果

Figure 3 に SEM-EDS の結果を示す。FSP を実施していない材料表面には Fe で構成される樹枝状の析出物が見られるが、FSP を実施した後フライス加工した表面においてはこれが細かく分散されている。樹枝状の析出物は結晶粒界に析出していると考えられることから、FSP の実施により結晶粒が微細化したと判断できる。FSP 後にワイヤ放電加工した表面においては析出物の分散は確認できなかった。

Figure 4 に、摩耗痕の写真を示す。FSP を実施していない試験片には、摺動面も含めて樹枝状の析出物が見られる。FSP 後にフライス加工を行った場合は、析出物が分散されて、母材には無い斑点状の模様が見られた。FSP 後にワイヤ放電加工を行った場合は、ワイヤ放電加工の加工変質層の特徴の一つであるクラックやクレタ状の窪みが見られた。

Figure 5 に示すように摩擦係数は、FSP 後の表面加工に関わらず約 0.10 でほぼ等しくなった。このことから、FSP やその後の表面加工が摩擦係数に及ぼす影響は小さいと考えられる。

Figure 6 に摩耗量を示す。FSP 後にフライス加工を行った場合は、FSP を実施していない場合と比較して摩耗量が 15%程度減少し、耐摩耗性が向上した。FSP により結晶粒が微細化され、表面の硬度が向上したことが原因として考えられる。一方、FSP 後にワイヤ放電加工を行った場合の摩耗量は、平均値では FSP を施していない場合と同等だが、摩耗量のばらつきは大きくなった。これは、FSP により硬度は向上するものの、ワイヤ放電加工による熱変質と電解変質による軟化や、表面のクラックやクレタ状の窪みにより初期摩耗量が増加するためと考えられる。加工変質層が完全に摩耗した後は、FSP による改質層により耐摩耗性が向上すると予想されるが、初期摩耗量の増加が許容できない場合には、加工変質が起こりにくい条件で行うか、研磨等で加工変質層を除去する必要があると考える。

4. 結言

本研究では、FSP を実施した面を表面加工し、摺動試験を行うことで、FSP 後の表面加工が摩擦摩耗特性に与える影響を評価した結果、以下の知見を得た。

- (1) FSP やその後のフライス加工またはワイヤ放電加工は、摩擦係数に影響しない。
- (2) FSP 後にフライス加工を行った場合は、FSP を実施していない場合と比較して摩耗量が 15%程度減少し、耐摩耗性が向上した。
- (3) FSP 後にワイヤ放電加工を行った場合、加工変質層により初期摩耗が増加し、FSP を実施していない場合と比較して耐摩耗性の向上は確認されなかった。

文献

- 1) 諏訪・松本：Mn₅Si₃ 分散型耐摩耗用銅合金，日立評論，55，6 (1973) 607.
- 2) 藤井：FSW（摩擦攪拌接合）－鉄鋼材料を中心に－，溶接学会誌，77，8 (2008) 19
- 3) 藤井：各種金属材料の摩擦攪拌プロセスによる高機能化，スマートプロセス学会誌，3，6 (2014) 334

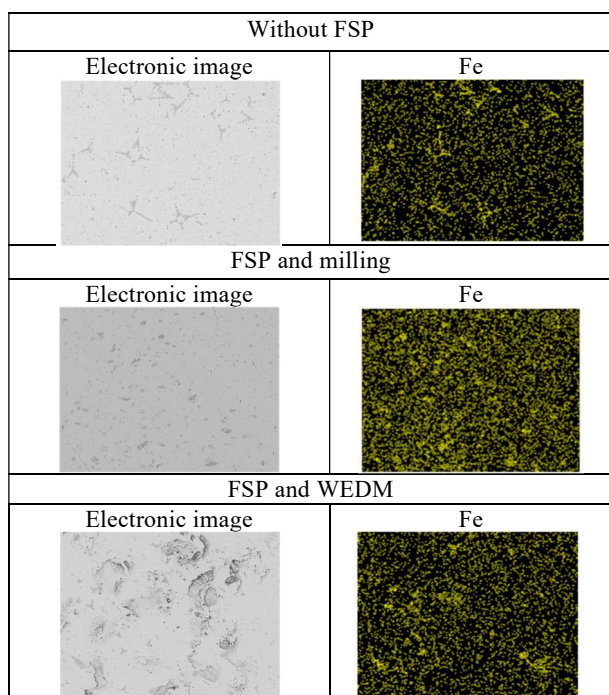


Fig. 3 Electronic image and elemental mapping by SEM-EDS

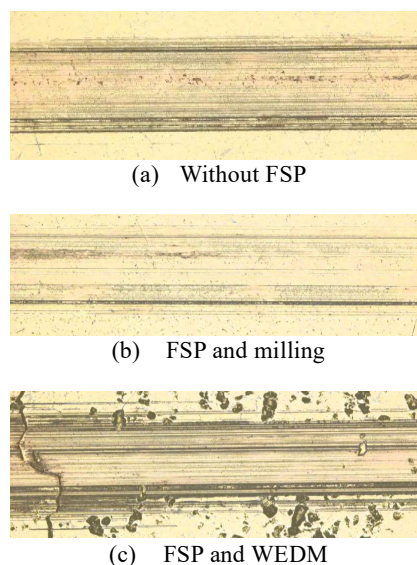


Fig. 4 Photos of wear marks on test specimens

