

Si-Mn を添加したアルミニウム青銅の高温摩耗特性

High temperature wear properties of aluminum bronze added Si-Mn

○正 竹市嘉紀(豊橋技科大)
Yoshinori TAKEICHI
Toyohashi Univeristy of Technology

非 須山英治(豊橋技科大)
Eiji SUYAMA
Toyohashi Univeristy of Technology

非 山田豊和(大豊工業)
Toyokazu YAMADA,
Taiho Kogyo Co., Ltd.

非 神谷荘司(大豊工業)
Souji KAMIYA
Taiho Kogyo Co., Ltd.

正 熊田喜生(大豊工業)
Yoshio KUMADA
Taiho Kogyo Co., Ltd.

正 上村正雄(豊橋技科大)
Masao UEMURA
Toyohashi Univeristy of Technology

Key Words: <Aluminum Bronze, Silicon, Mangesen, Wear, High Temperature>

高温軸受材に用いるアルミニウム青銅の耐摩耗性向上を目的とし、C6191 材(従来材)にシリコンとマンガンを添加した材料(添加剤)の高温摩耗特性について調べた。700℃での摩擦試験で添加剤は従来材よりも摩耗量が少なかった。摩耗量と摩擦距離との関係を調べた結果、両試料とも摩擦初期の摩耗量が多いことが分かったが、従来材ではその量が顕著に多かった。そこで高温下にて荷重負荷状態で一定時間保持後、摩擦開始時の最大摩擦係数を計測した結果、従来材は添加剤よりも3倍程度高い値を示し、この凝着の差が摩耗特性に大きく影響を及ぼすことが分かった。

1. はじめに

大型車に用いられる排気ブレーキシステムでは、排気系に設置されたバタフライ式のバルブを開閉させており、このバルブに用いる軸受けは排気ガスという高温下での揺動をしなくてはならない。この軸受け材料にはアルミニウム青銅が用いられてきたが、高温下での耐摩耗性をさらに向上させることが求められており、本研究では微量の Si 及び Mn を添加した材料の摩擦摩耗試験を行い、その耐摩耗性を調べることを目的とした。

2. 実験

2-1. 試料

実験に用いた試料は従来使用しているアルミニウム青銅 C6191 (JIS H3250) とこれに Si 及び Mn を添加した材料である。以降、それぞれ従来材、添加材と区別する。Mn については従来材にも含まれていたが、添加材ではその量を増加している。また添加材の Zn は鑄造時の溶湯の湯流れを良くするために添加している。両試料の組成を Table 1 に示す。

Table 1 Composition of the samples (mass %)

成分	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	Si	Zn
従来材	83.7	8.4	4.4	2.4	1.1	—	—
添加材	78.8	8.8	5.4	2.4	2.0	1.0	1.6

これらを円板型(φ26×t.7mm)に加工してディスク試験片とし、摩擦面はエメリー紙及びアルミナ・バフ研磨を行い表面粗さ0.02μm(Ra)に仕上げた。一方、摩擦の相手材にはリング型(φ20×φ15mm)に加工したステンレス(SUS304)を用い、摩擦面はエメリー紙(#1500)で研磨した。試験片、相手材ともに実験前にアセトン中で超音波洗浄をし、表面の油脂汚れを除去してある。

2-2. 摩擦摩耗試験

摩擦摩耗試験はリング・オン・ディスク方式で行い、荷重を68.6 N、摩擦速度を55mm/sec(60rpm)とした。摩擦部は高温炉内に設置され、試験片近くの温度を試験片温度として計測している。

いずれの試験も設定温度を700℃とし、摩擦時と同じ荷重を負荷したまま加熱開始2.5時間を経過してから行っている。摩耗量の計測は、試験後の試験片を取り外した後、光学顕微鏡により摩耗痕深さを計測しており、1つの試験片につき8点の計測値を平均したものをその試験片の摩耗深さとしている。

3. 結果と考察

Fig. 1 に60分間の摩擦実験の結果を示す。データの各点は30秒間の平均値を表す。摩擦係数が安定するまでに要する時間は同種試料間でもばらついている。安定した後の摩擦係数は従来材が0.55~0.65、添加材が0.50~0.55程度を示し、わずかながら添加材の方が低い摩擦係数を示す傾向にあるが、著しい差は見られない。

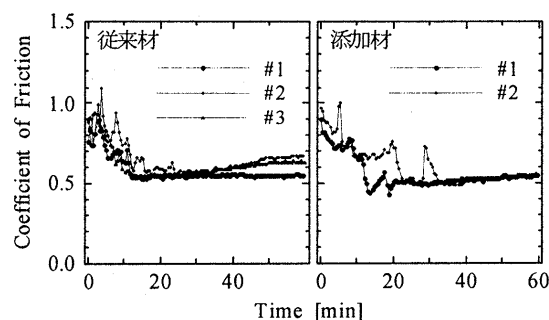


Fig. 1 Coefficient of Friction

Fig. 2 に摩擦時間1, 3, 5, 7, 30 及び60分における(a)摩耗深さ及び(b)摩耗率を示す。実験機の特長上、摩耗深さを計測した試料を再度実験することができないため、上記の各摩擦時間で実験を止めた試験片の摩耗深さを時系列に並べたものを時間変化と見なし、摩耗率を求めた。この結果より、両試料とも摩耗速度が高い初期摩耗が見られ、従来材では最初の1分間に全摩耗深さの40%程度、添加材では最初の3分間に全摩耗深さの50%という多量の摩耗を生じている。摩耗率の最大値を比較すると従

来材で $3.9\text{mm}^3/\text{m}$ 、添加材で $0.7\text{mm}^3/\text{m}$ であり、従来材は添加剤に比べ 5 倍以上の摩耗率を示しており、従来材の方が著しく摩耗している。両試験片とも摩擦開始 5 分あたりから低い摩耗率を示し、定常摩耗に移行していることが分かる。

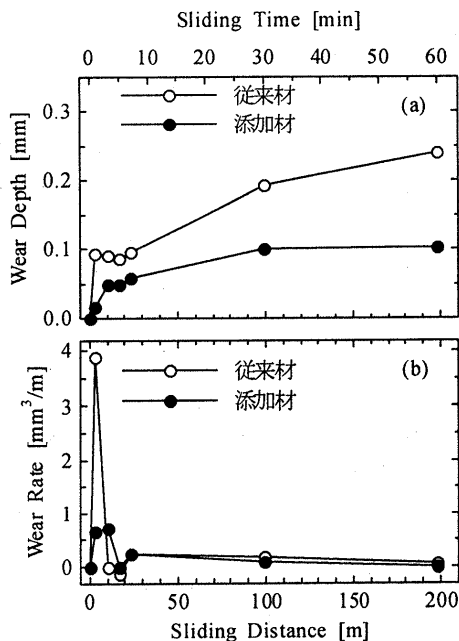


Fig.2 (a) Wear depth and (b) Wear rare

このように摩耗率が摩擦初期に著しく高いため、摩擦開始までの加熱過程で試料表面間に凝着が発生していると考え、このときの摩擦特性に着目した実験を行った。Fig. 3 に回転開始時の最大摩擦係数を示す。この実験では回転軸の始動を他の摩擦試験に比べて著しく遅く (0.92mm/s^2) して 1 回転だけ回転させ、この初期の最大摩擦係数を計測したものである。図の横軸は加熱開始後 2.5 時間の時点を保持時間 0 分とし、上記の要領にて最大摩擦係数を計測後、そのまま 700°C で保持し、任意の保持時間にて再び最大摩擦係数を計測するという実験を繰り返している。実験は保持時間 0, 10, 40, 100 分について行った。0 分での最大摩擦係数が従来材では $2.8\sim 3.2$ に対し添加材では $1.2\sim 1.5$ であり、従来材の方が半分以下の低い値を示している。従来材では保持時間 10 分での最大摩擦係数が $1.8\sim 2.5$ に減少するが、これは 0 分での回転でせん断された凝着部が 10 分の保持時間では十分に再凝着しなかったためと考えられる。その後、40 分及び 100 分での係数は $3.0\sim 3.7$ と上昇しており、長時間保持されることによって再び凝着が生じ、更にその面積が増加していると考えられる。これに対し添加材では保持時間による大きな変動は見られず、全保持時間にわたって従来材よりも低い値 ($1.1\sim 1.6$) を示しており、凝着部の面積がほとんど増加していないと考えられる。

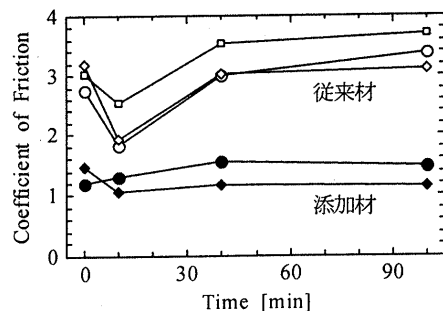


Fig. 3 The maximal coefficient of friction

最大摩擦係数計測後の試験片の摩耗深さを計測した結果を Fig. 4 に示す。摩耗深さの平均値は従来材では $45.9\mu\text{m}$ に対し、添加材では $13.4\mu\text{m}$ となっており、従来材に比べ添加材の摩耗深さは 1/3 以下と少なくなっている。

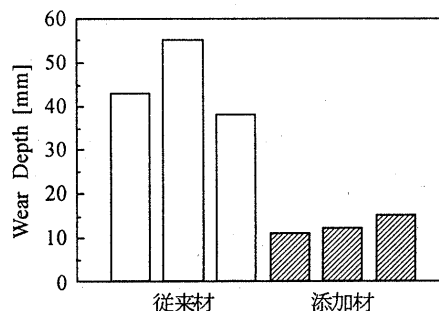


Fig. 4 Comparison of wear depth

実際のバルブの動作は連続的ではなく、排気ブレーキを作動させたときのみ揺動するため、それ以外の時間は高温状態で保持されている。従って Fig. 4 の結果より、両材料をバルブの軸受けに用いた際、摩耗量に顕著な差が現れると考えられる。

Fig. 5 に室温から 700°C までの両試験片の硬さを調べた結果を示す。結果は複数回計測した値の平均値である。室温では従来材で 340.7Hv 、添加材で 313.2Hv となっており、添加材の方が 30Hv ほど低い値を示した。両試料とも温度を上げるに従って徐々に軟化し、 300°C を過ぎたあたりで急激に軟化が進むが、このあたりから添加材と従来材の硬度が逆転し、添加材の方が高い硬度を示す。 500°C を過ぎたあたりから軟化傾向が緩やかになり、 700°C では硬度の差が再び小さくなっているが、添加材の方が 10Hv ほど高い。これにより添加材の方が高温でのクリープ変形が少なく、真実接触面積が減少すると考えられ、その違いが凝着部の面積の差になったと考えられる。

従来材の C6191 は析出硬化型の合金である。高温下で添加材の方が硬度が高くなる理由は明らかではないが、EPMA 分析の結果より、添加材では加熱後に Cu 中に固溶していたと考えられる Mn 成分がもとから析出していた Fe 中に析出し、析出硬化の影響が強く出たためと考えられる。

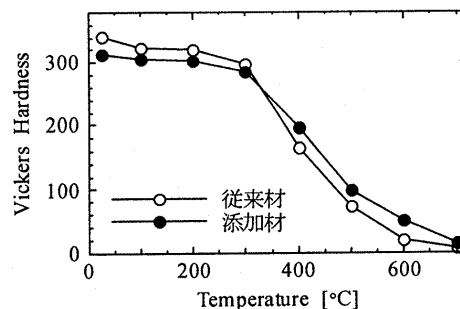


Fig. 5 Vickers hardness at the temperature up to 700°C

4. まとめ

高温における摩擦試験の結果、添加材は従来材に比べ摩耗量が低く抑えられた。両試料とも高温中に長時間相手材と接触した状態から動き出すときに著しい摩耗を生じ、その量は従来材の方が多かった。また、室温では添加材の硬度が従来材よりも低いのにに対し、 300°C 以上では逆に高くなる傾向が見られ、これにより添加材の方が高温でのクリープ変形が少なく、真実接触面積が減少すると考えられる。その結果、凝着部の面積が減少し、もっとも摩耗する摺動開始時の摩擦初期の摩耗量を少なく抑えることができたと考えられる。