

学位被授与者氏名	内城 憲治 (Kenji UCHIJO)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第3号
学位授与年月日	平成15年3月25日
論文題目	Study on Tribological Characteristics of Aluminum-Silicon Alloy Impregnated Graphite Composite
論文題目 (英訳または和訳)	Al-Si 合金含浸グラファイト複合材料のトライボロジー特性に関する研究
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 後藤穂積 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 大森舜二 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 仙波卓弥 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 内田一徳
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (英文)	<p>Recently an Al-Si alloy impregnated graphite composite has been newly developed to improve the sliding characteristics of metal matrix composites (MMCs), especially light-weight Al alloy matrix composites. This Al alloy-graphite MMC (ALGR-MMC), containing a high content of graphite, has a very good self-lubricating performance necessary for sliding materials under unlubricated conditions. The composite exhibits better wear resistance than the matrices in wet air and the wear rate decreases especially at high loads. The objective of the present research is to investigate the friction and wear characteristics of the MMC under various kinds of experimental conditions and then from the results its tribological characteristics will be elucidated for the practical applications. Thus, the motivation, background and objective of this research are described in Chapter 1.</p> <p>In Chapter 2, more detailed explanations are given on the composition, other properties and manufacturing method of the ALGR-MMC and other materials used in this research.</p> <p>In Chapter 3, the wear behavior of the ALGR-MMC in contact with bearing steel in wet and dry air under unlubricated conditions has been investigated. The pin-lifting phenomena of the composite are observed, and the height is constant at lower loads and increases with load. The entrance and egress of wear particles into and from the contacting surfaces bring about the pin lifting. The mixtures of graphite powder and wear particles adhere to the sliding surface of the bearing steel, resulting in the formation of wide, compacted surface films. The mean thickness of the films increases with load to a few micron meters.</p> <p>In Chapter 4, the research objective is to investigate the effects of relative humidity (RH) on the tribological characteristics of the composite. Unidirectional sliding wear experiments were conducted in air, argon gas as a function of RH and in water. The friction coefficient is high at low RH levels in air, decreases with increasing RH to a minimum between 50 and 70 % RH and increases a little at high RH levels. Due to the lubricating action of a water film, the friction coefficient in deionized water is slightly lower than that in air. The wear rate is very high in a severe wear regime at low RH levels in air, decreases with increasing RH to a minimum in a mild wear regime between 30 and 60 % RH and increases slightly at high RH levels. In argon gas, the wear rates are very high in a severe wear regime at low RH levels, and there is no wear difference in air and argon gas. The wear rate in argon also decreases with increasing RH to a minimum in a mild wear regime between 30 and 60 % RH and increases slightly at RH levels higher than 70 %. However, the wear rate in argon gas is slightly lower than that in air at high RH levels. The wear rate in deionized water is nearly equal to the rate at 70 % RH in air and argon.</p> <p>In Chapter 5, the pin-on-disk type wear experiments have been conducted in air, argon, nitrogen and oxygen under wet and dry conditions to investigate the effects of</p>

the adhered surface films on wear of ALGR-MMC. From the results, the pin-lifting phenomena, indicating negative wear, is observed in the early stage of the wear process. The surface films on the disk sliding surface are also formed during the initial stage. The wide, compacted films, consisting of the mixtures of graphite powder and wear particles of the Al-Si alloy, prevent the surfaces from metal-to-metal contact and act as a solid lubricating film. Thus, the film formation leads to low friction and wear in wet environments, especially in wet argon.

In Chapter 6, the ball-against-disk type fretting wear experiments for Al-Si alloy matrix composites in contact with bearing steel have been conducted in wet air to investigate the effects of relative slip amplitude on friction and wear of the composites. In the larger range of relative slip amplitude, ALGR-MMC shows lower friction coefficients than those of alumina short fiber-reinforced MMC (ASFR-MMC) and hollow silica particle-reinforced MMC (HSPR-MMC). Although the wear rate of ALGR-MMC is higher than that of the ASFR-MMC and HSPR-MMC, the composite causes no damage to the mating material due to adhesion of compacted films of graphite powder and Al-Si alloy wear particles.

In Chapter 7, the main results of this paper are summarized.

論文内容の要旨
(和文)

近年になって、金属基複合材料(MMC)、特に軽量化を目的としたアルミニウム合金基複合材料の摺動特性改善を目的として、アルミニウム合金-グラファイト複合材料(ALGR-MMC)が新規開発された。ALGR-MMCは多量のグラファイトを含有するため、無潤滑下で摺動材に必要とされる特性を十分に保有している。耐摩耗性についてみると、湿り空気において基材であるグラファイト及びAl-Si合金を遙かに上回り、特に高荷重下でその効果が著しい。本研究ではALGR-MMCを供試材として使用し、種々の試験環境下での摩擦摩耗特性を調査し、得られたトライボロジー特性から実用化への可能性を探るものである。こうした研究の背景及び目的を第一章としている。

第二章では、本研究で使用するALGR-MMC及び比較のために使用した他材料の組成その他特性の詳細とその製造法を述べる。

第三章では、無潤滑の乾燥及び湿り空気中において、ALGR-MMCピン対軸受鋼ディスクの組合せで接触荷重を変数として実験を行っている。試験中にALGR-MMCピンがディスクから持ち上がる現象が観察されるが、その持ち上がる高さは低荷重で一定であるのに対し、高荷重では荷重の増加に伴いその高さが大きくなることが確認された。このピンの持ち上がり現象は接触面間に摩耗粉が連続的に侵入し排出される過程で生じる。また、Al-Si合金とグラファイトの混合摩耗粉はディスク試験片の摺動面上に付着し、広域にわたる緻密な皮膜を形成する。この皮膜の膜厚は接触荷重の増加とともに大きくなるが、それでもミクロンのオーダーの薄い皮膜となる。

第四章における目的は、ALGR-MMCのトライボロジー特性に及ぼす相対湿度(RH)の影響について調査することである。空気中及びアルゴンガス中において相対湿度を変数として、また水中では空気飽和、アルゴンガス飽和として一方向すべり摩耗試験を行っている。空気中において低湿度で高摩擦係数を示し、相対湿度の増加と共に減少して50~70%で極小値を示した後、高湿度で再び僅かに増加する。また、イオン交換水中では水膜の潤滑作用により空気中よりも低下する。空気中の低湿度での平均摩耗率は非常に高くシビア摩耗に属し、その値は湿度の増加により減少し、30~60%で極小のマイルド摩耗を示す。更に高湿度になると平均摩耗率は再び増加する。アルゴンガス中では低湿度で高摩耗となり空気中との違いがみられない。また、湿度の増加に伴い30~60%でマイルド摩耗域となり極小値を示すが、高湿度域の平均摩耗率は空気中よりも若干低い値を示している。イオン交換水中の平均摩耗率は空気及びアルゴン中の70%RHと同じ程度である。

第五章では、空気、アルゴンガス、窒素ガス、酸素ガスの環境中においてピン-ディスク形の摩擦摩耗試験機を使用し、ALGR-MMCを使用した際に形成される付着皮膜の効果について調査を行っている。いずれも摩耗初期にピンの摩耗がマイナスとなる持ち上がり現象が生じている。また、付着皮膜も試験初期に摺動面上に形成されている。この広域に緻密に広がる皮膜は、グラファイトとAl-Si合金の混ざり合った摩耗粉が摺動面に付着してのしつぶしにより形成されたものであり、この皮膜は固体潤滑膜として作用し、

	<p>ピンとディスクの金属接触を緩和する。そのためこの皮膜は湿り環境中で低摩擦・低摩擦へと導き、特に酸素除去した湿りアルゴンガス中でその効果が顕著である。</p> <p>第六章では、ALGR-MMC を含めた 3 種のアリミニウム合金基 MMC を使用し、軸受鋼球対各種 MMC 平板試験片の形式でフレッティング摩耗試験を行い、摩擦・摩耗特性における相対すべり振幅の影響について調査している。極めて微小な相対すべり振幅の場合を除き、ALGR-MMC はアルミナ短繊維強化複合材料(ASFR-MMC)及び中空シリカ粒強化複合材料(HSPR-MMC)よりも低い摩擦係数を示す。また自身の平均摩耗率は、ASFR-MMC 及び HSPR-MMC には及ばないが、ALGR-MMC は相手材への攻撃性、すなわち鋼球の損傷は測定限界以下のゼロとなり、鋼球とディスクを合わせた全摩耗率では優れた耐摩耗性を示している。これは上述したグラファイトと Al-Si 合金の摩耗粉が作り出す緻密な凝着皮膜のためである。</p> <p>第七章では、本論文における主要な結果を要約している。</p>
論文審査結果	<p>最近、三次元的に連続した多孔質グラファイト棒に溶融 Al-Si 合金を高温・高圧下で含浸させた「Al-Si 合金含浸グラファイト複合材料(ALGR-MMC)」が開発された。この材料は従来の複合材料とは異なり固体潤滑剤のグラファイトを多量(50vol%以上)に含み、新しい軽量化摺動材料として期待されている。ALGR-MMC は静的強度において基材の Al-Si 合金に及ばないが、耐摩耗性において非常に優れている。本研究の目的は、荷重、相対湿度、環境のガス等に注目して、種々の試験条件下で ALGR-MMC の摩擦・摩耗特性を詳細に調査し、得られた結果から摺動材として実用化への可能性を探ることである。高荷重下で耐摩耗性が向上すること、グラファイト粉と Al-Si 合金摩耗粉から成る付着被膜が相手材の摺動面上に形成され、湿り環境中、特に湿り不活性ガス中で効果的な固体潤滑膜として機能すること、湿り環境中で接触面間への摩耗粉の進入により試験片の持ち上がり現象が生じて耐摩耗性の向上に寄与することなど新しい知見が得られた。また、ALGR-MMC に関する摩耗機構のモデルが提案され、さらに摺動材としての実用化例やその課題が示された。以上より本研究は、機械材料の基礎的評価試験の観点から独創性を有する非常に意義のある研究としてその価値を認めることができる。</p> <p>[学位論文公聴会]</p> <p>(1) 学位論文公聴会日時：平成15年3月4日(火)午前11時～12時発表、12時～12時30分質疑応答</p> <p>(2) 学位論文公聴会出席者：41名</p> <p>公聴会では、研究目的と背景、実験方法、摩擦・摩耗特性に及ぼす荷重・相対湿度・各種ガス環境の影響、付着被膜の成長過程、接触面間での摩耗粉の挙動、摩耗機構モデル、実用化例とその課題、結論について発表者の説明が行われた後、下記の工学的及び技術的な諸点について質問と意見があった。</p> <p>(1) グラファイトは不活性ガス中で潤滑性能を発揮しないという文献調査結果があるが、実際には耐摩耗性が向上している理由について</p> <p>(2) 酸素ガス中よりもアルゴンガス中で耐摩耗性が向上する理由について</p> <p>(3) 付着被膜の厚さが一定となる範囲で被膜の剥離が生じる理由について</p> <p>(4) 付着被膜と摩耗粉との間にすべりが生じるか否か</p> <p>(5) 摩耗率が湿度に依存してドラスティックな変化を示す理由、また高湿度で結露する理由</p> <p>(6) 通常金属表面は活性であるが、高湿度では水酸基で覆われて不活性となる可能性がある</p> <p>(7) 持ち上がり現象は本研究で初めて見出された新しい現象か、またその原因として摩耗粉等の弾性変形等は考えられないか</p> <p>(8) 24℃一定で相対湿度を変えて実験しているが、試験温度を変化させた場合に実験結果に何か変化が生じるか</p> <p>(9) 摩耗の遷移が生じるメカニズムについて</p> <p>(10) 乾燥状態で ALGR-MMC の耐摩耗性が基材よりも劣る理由</p> <p>(11) 実際の軸受として使用する場合すべり速度が大きくなることもあり、その際の温度</p>

上昇に伴い乾燥状態になり、軸受材料として使用できなくなるのではないか

これらの質問や意見について、学位審査主査から一部コメントがあったが、発表者は一通り適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後さらに研究を進めていくための十分な研究能力を備えていることが判明した。

学位審査委員会は、語学力に関して論文提出者が学位論文を英語で執筆しており、その英語能力は一定の水準にあると判断した。また公聴会後の最終試験において、学位審査委員会は、論文提出者が学位論文に関連する分野の広い学識と高い研究能力を有していると判断した。

[総合判定]

学位審査委員会は、論文審査結果、学位論文公聴会結果及び最終試験結果を総合評価して、本学位論文が博士(工学)の学位に適格であると判断した。