

繊維・粒子ハイブリッド強化金属基複合材料の耐摩耗性 に関する基礎的研究

長崎大学大学院工学研究科
王 通

近年、自動車用ブレーキドラム等の耐摩耗性を要求される部品において、従来の鋳鉄に代わる材料として、高強度・高弾性で耐摩耗性に優れる金属基複合材料（MMC）への期待が高まっている。当研究室で開発された低圧加圧溶浸法（LPI 法）は、従来の加圧溶浸法と比較して、数気圧程度の低い溶浸圧力で MMC を作製することができるメリットがあるが、高強化材分率の MMC の作製条件に関しては十分明らかにされていない。本研究では、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ 繊維・粒子ハイブリッド強化による高強化材体積分率の MMC を作製し、その耐摩耗性を評価することを目的とした。

第 1 章では、本研究の背景と研究目的を述べた。

第 2 章では、プリフォーム、MMC の作製方法および MMC の硬さ、耐摩耗性、曲げ強度などの機械的特性の測定方法について述べた。また、低圧加圧溶浸法における溶浸圧に及ぼす Al 粒子の添加量の影響を粒子強化 MMC（PRMMC）、繊維強化 MMC（FRMMC）、繊維・粒子ハイブリッド強化 MMC（Hybrid-MMC）のそれぞれの場合について明確にした。

第 3 章では、LPI 法により作製した FRMMC の耐摩耗性に及ぼす繊維長さの影響を調査した。その結果、以下の知見を得た。1) Al_2O_3 繊維量が 7.5 vol.% の FRMMC において、Al 粒子の添加により繊維長さは短くなった。2) Al 粒子を添加した FRMMC は、Al 粒子添加なしの FRMMC に比べて優れた耐摩耗性を示した。3) Al 粒子添加なしの FRMMC 中で Al_2O_3 短繊維は 2 次元的に配向し、Al 粒子を添加した FRMMC 中の繊維は 3 次元的に配向しており、繊維が短いほど、繊維は 3 次元的に配向する傾向がある。4) 強化繊維が 3 次元的に配向させるために、Al 粒子または強化粒子を添加することが必要であると考えられる。

第 4 章では、 Al_2O_3 繊維・粒子ハイブリッド強化 MMCs の耐摩耗性を調査した。その結果、以下の知見を得た。1) Al_2O_3 繊維量が 7.5 vol.% の Hybrid-MMC において、 Al_2O_3 粒子量の増加にとともに、 Al_2O_3 粒子量が 7.5 vol.% までは MMCs の硬さは増加したが、 Al_2O_3 粒子量が 12.5 vol.% では Hybrid-MMC の硬さは減少した。これは、 Al_2O_3 繊維量/ Al_2O_3 粒子量の比が 1 より小さくなると溶浸不良が発生しやすくなるためである。2) Al_2O_3 繊維量+ Al_2O_3 粒子量が 20 vol.% 一定で、繊維と粒子の配合割合の異なる実験においては、12.5 vol.% Al_2O_3 繊維・7.5 vol.% Al_2O_3 粒子強化 Hybrid-MMC の硬さが最も高くなり、耐摩耗性も最も優れていた。また、硬さと耐摩耗性の間には良い対応が見られた。3) Al_2O_3 繊維・粒子ハイブリッド強化 MMC は、FRMMC と PRMMC に比べて優れた耐摩耗性を示した。これは Al_2O_3 繊維が Al_2O_3 粒子の脱落を防止するためである。4) マトリックスを時効硬化させることにより、 Al_2O_3 繊維・粒子ハイブリッド強化 MMC の耐摩耗性は向上する。

第 5 章では、SiC 繊維・粒子ハイブリッド強化 MMC の耐摩耗性に及ぼす界面反応およびマトリックスの時効硬化の影響を調査した。その結果、以下の知見を得た。1) 12.5 vol.% SiC 繊維・7.5 vol.% SiC 粒子の配合割合のプリフォームに合金溶湯を溶浸して作製した Hybrid-MMC において、繊維は 3 次的に配向していた。2) Al-4 mass% Cu 合金、Al-4 mass% Mg 合金ならびに超ジュラルミンをマトリックスとした Hybrid-MMC において、マトリックス合金と強化材 SiC の間には界面反応相が生じた。3) 短時間の溶浸により生じた薄い界面反応相は界面接合強度を増大させることにより、強化材の脱落を防止し、耐摩耗性を向上させる。4) 超ジュラルミンをマトリックスとした Hybrid-MMC に 473 K, 12 h の時効硬化処理を施し、溶浸温度を 1173 K から 1073 K へ低下させることにより、Hybrid-MMC は最も優れた耐摩耗性を示す。

第 6 章では、本研究で得られた成果をまとめた。

Study on the Wear Resistance of Fiber and Particle Reinforced Hybrid Metal Matrix Composites

Graduate School of Engineering, Nagasaki University
Wang Tong

In recent years, metal matrix composites (MMCs) have been expected as a new material which replaces conventional cast iron for brake parts of automobiles because of MMC's superior advantages, e.g., light weight, high strength and excellent wear resistance. Low Pressure Infiltration process is a new casting process and can produce the MMC at a very lower pressure (0.2 ~ 0.3 MPa), compared with the conventional high-pressure infiltration method. In the present study, Hybrid-MMCs reinforced with $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ fibers and particles have been fabricated using the Low Pressure Infiltration process and the wear resistance of the Hybrid-MMCs has been investigated.

In Chapter 1, the background and the purpose of this study have been described.

In Chapter 2, the methods of preparing the preform and the MMC have been described. As for the essential of the Low Pressure Infiltration process, the influence of Al particle size on the infiltration pressure in particle-reinforced MMCs (PRMMCs) and fiber-reinforced MMCs (FRMMCs) has been discussed. Moreover, the measurement methods of the wear resistance and the hardness of the MMCs have been described.

In Chapter 3, the influence of the length of Al_2O_3 fibers on the wear resistance of the FRMMCs has been investigated. When the Al particles are added into the preform, the length of Al_2O_3 fibers is shortened by Al particles in the FRMMC containing 7.5 vol.% Al_2O_3 fibers. The wear resistance of the FRMMC which is fabricated using the preform containing Al particles is better than that of the FRMMC without Al particles. It has been known from the observation of the MMC's surface that the Al_2O_3 fibers exhibits 2D-distribution when the Al particles are not added into the preform of the FRMMC, but the Al_2O_3 fibers exhibits 3D-distribution when the Al particles are added. It has been suggested that short Al_2O_3 fibers tend to exhibit 3D-distribution in the FRMMCs.

In Chapter 4, the influence of the composition of Al_2O_3 fibers and particles on the wear resistance of the Hybrid-MMCs has been investigated. Infiltration defects tend to form with increasing the amount of Al_2O_3 particles in the Hybrid-MMCs containing 7.5 vol.% Al_2O_3 fibers. As the ratio of the amount of Al_2O_3 fibers to Al_2O_3 particles (f/p) increases, infiltration defects are reduced. The Hybrid-MMC containing 12.5 vol.% Al_2O_3 fibers and 7.5 vol.% Al_2O_3 particles (total amount of reinforcements is 20 vol.% and $f/p = 1.6$) exhibits the better wear resistance in comparison with Al_2O_3 particle-reinforced MMCs (PRMMCs) and Al_2O_3 fiber-reinforced MMCs (FRMMCs). It has been known from the observation of the worn surfaces that the 3-D distribution of fibers in the Hybrid-MMC protects Al_2O_3

particles from dropping off during wear tests. In addition to the above, the influence of the age-hardening of an Al-Cu matrix on the wear resistance of the Al-Cu base Hybrid-MMCs. Wear resistance of the age-hardened Hybrid-MMCs is better than that of the non age-hardened Hybrid-MMCs. It has been found that the orientation of fibers and the hardness of the matrix are important factors of the wear resistance of the Hybrid-MMCs.

In Chapter 5, the influence of the distribution of SiC fibers, the interface reaction between reinforcements and matrix, and the age-hardening of the matrix on the wear resistance of the Hybrid-MMCs has been investigated. As is the case in the Al₂O₃ fiber and particle reinforced Hybrid-MMCs, 3D-distribution of SiC fibers in the Hybrid-MMCs is effective to protect SiC particles from dropping out during the wear test. An interface reaction occurs in the Al-Cu base Hybrid-MMC and Al-Mg base Hybrid-MMC, but it doesn't occur in the Al-Si base Hybrid-MMC. Wear resistances of the Al-Cu base Hybrid-MMC and Al-Mg base Hybrid-MMC are better than that of the Al-Si base Hybrid-MMC. It has been suggested from the result that a thin reaction product at the interface between the SiC fibers or the SiC particles and the matrix strengthens the interface bond. Wear resistance of the Super Duralumin base Hybrid-MMCs can be improved further by an age-hardening of the matrix. It has been found that both the interfacial reaction and age-hardening of the matrix increase the interface bond strength and they protect the reinforcements from dropping out during the wear test.

In Chapter 6, the knowledge obtained from this study has been summarized.