



Title	Friction Stir Processing for Hardfacing and Surface Modification of Aluminum Alloys
Author(s)	Essam, Rabea Ibrahim Mahmoud
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/57482">https://hdl.handle.net/11094/57482</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【26】	
氏 名	エッサム ラビア イブラヒム マハモウド Essam Rabea Ibrahim Mahmoud
博士の専攻分野の名称	博 士（工 学）
学 位 記 番 号	第 2 3 3 6 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 21 年 9 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	Friction Stir Processing for Hardfacing and Surface Modification of Aluminum Alloys  (摩擦攪拌処理によるアルミニウム合金の表面硬化および高機能化)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 池内 建二  (副査) 教 授 廣瀬 明夫 教 授 近藤 勝義 准教授 藤井 英俊 准教授 柴柳 敏哉

論 文 内 容 の 要 旨

Fabrication of a hard metal matrix composites (MMCs) layer on aluminum alloys is an ideal solution for many applications that required a combination of high surface wear resistance and high toughness of the interior bulk material. Fabrication of these MMCs layer by fusion processes has many limitations. This thesis aims to introduce the feasibility of fabricating a hard surface layer of homogenous reinforcement particles composites (SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, hybrid of SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and intermetallics) on pure aluminum A1050-H24 through a quite new solid state process; Friction stir processing (FSP), and to reveal in details the effects of processing parameters such as rotation speed, travelling speed, plunging depth and tool probe design on the homogeneity of microstructure, hardness and wear properties of the resulted nugget zone. An other objective of this research is to gain a better understanding of the material flow around the FSP tool by considering the SiC particles as a tracer material and observing its distribution around the tool. As a novel, we will study the possibility of adding the magnetic property to the surface of the aluminum alloy by dispersing magnetic materials (Fe and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) on the surface.

The thesis consists of eight chapters. In Chapter 1 the principles of metal matrix composites and friction stir technologies were described. In Chapter 2 the used materials, tools, processing procedure, and evaluation tests of the surface layer used commonly in Chapters 3-7 were described. Chapters 3 and 4 described the effect of processing parameters (tool rotation and travelling speeds, and tool probe shape and size) on the fabrication of surface SiC-MMCs. In these chapters, the optimum conditions and procedures to obtain a homogenous distribution of SiC particles in the nugget zone were established. The next step is to clarify the possibility to apply these optimum conditions to other type of reinforcement like oxides and metals particles. In Chapter 5, the idea of fabricating a surface-hybrid- MMCs of SiC and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles as reinforcement is introduced. Chapter 6 describes the behavior of the copper powder when it was packed in a groove in the aluminum surface and then processed by multiple FSP passes under different rotation and travelling speeds. The heat generated and the severe plastic strain by the FSP tool initiates and promotes the reaction between the Cu particles and the Al matrix forming a very fine intermetallic compound which distributed homogeneously in the aluminum matrix. After succeeding in application of this technique in hardening of aluminum surface, adding new physical properties such as “magnetization” to the aluminum surface is our target in the next chapter. In Chapter 7 the dispersing of magnetic materials such as iron and magnetite in the surface of the aluminum alloys is described. Both particles (iron and magnetite) were dispersed homogeneously in the nugget zone, forming a composite layer that having magnetic properties. Finally Chapter 8 summarizes the achievements of this work.

## 論文審査の結果の要旨

アルミニウム合金の表面近傍にセラミックスや金属間化合物などの強化粒子を分散させて、硬度を高めた金属基複合材料 (MMC: Metal Matrix Composites) の表面層を形成すれば、内部のバルク材料の高靱性を保ったまま、表面に高い耐摩耗性を付与することができる。本論文の狙いは、新しい固相プロセスである摩擦攪拌処理 (FSP: Friction Stir Processing) によって、このような MMC 層をアルミニウム表面に形成する方法を開発し、従来の溶融プロセス法の抱えていた割れ発生や最大 MMC 層厚さの限界などの多くの課題や制約を解決しようとするものである。FSP 法による MMC 表面層の形成は従来の研究でも試みられてきたが、粒子の分布の著しい不均一性のために実用化には至っていないことに配慮し、本研究では特に粒子の分布の均一化と、その支配因子の解明に重点を置いている。また、セラミックス粒子を材料の流れのトレーサーとして捉え、ツール周囲でのその分布を観察することにより、FSP 用回転ツールのまわりの材料の流れの理解を深めることも本研究の目的の 1 つである。用いた母材は A1050-H24 工業用純アルミニウムで、強化粒子は非酸化物系セラミックス SiC、酸化物系セラミックス  $Al_2O_3$ 、SiC と  $Al_2O_3$  の混合体、および Al-Cu 系金属間化合物である。さらに強化粒子の分散の成果を生かし、アルミニウム表面に磁性材料粒子 (鉄、マグネタイト) を分散することで、磁気的な性質を付与する可能性も研究している。

先ず、第 1 章で MMC と FSP の原理と現状を記述し、本研究の背景と目的、意義を提示している。第 2 章では実験材料や実験手法などの内、第 3 章から第 7 章を通じて共通して用いられているものについて述べている。

第 3 章では、SiC を強化粒子として FSP 条件が、攪拌領域における粒子の分散および欠陥発生に及ぼす影響を調べている。その結果、粒子の分布の均一性は回転ツールの移動速度よりも回転速度によって支配され、低回転速度の方がより均一に分散されるが、低すぎると欠陥が発生し、適正範囲があることを見出している。この粒子分布に対する回転速度の影響について、攪拌領域内の加熱温度など種々の因子との相関について検討し、従来ほとんど注目されてこなかった攪拌領域内の回転方向に垂直方向の材料流れを主要因とするものであることを示唆している。第 4 章では、回転ツールの寸法と形状が SiC 粒子の分散に及ぼす影響を調べ、プローブ (ツール先端にある突起部) の形状を円柱よりも四角柱にした方が、より均一に粒子を分散できることを示し、この差異が四角柱プローブによる材料流れへのパルス効果によって説明できることを示唆している。

第 5 章では、酸化物系セラミックス  $Al_2O_3$  粒子、および SiC と  $Al_2O_3$  粒子との混合物の FSP による分散を試みている。その結果、 $Al_2O_3$  粒子も SiC と同様に均一に分散させることができ、また 0~100%のいずれの混合割合でも SiC と  $Al_2O_3$  粒子を偏りなく攪拌領域内に均一に分散できることを示している。

第 6 章では、金属間化合物を強化粒子とする MMC 層の形成法として、FSP 法によって銅粒子を分散させると共に、アルミニウムと反応させることによって Al-Cu 系金属間化合物粒子を形成し、攪拌領域に分散させることを試みている。ツールの回転・移動速度の異なる FSP パスを複数回、施したときの銅粉の挙動を観察し、セラミックス粒子の場合と比べて、均一分散条件が約 (1/2) の回転速度に低下し、またパス数の増加と共に金属間化合物粒子の形成量が増加し、粒径数 100 nm の微細粒子を高密度に分布させることに成功している。得られた攪拌領域の硬さは 100 HV を越え、母材部の 2 倍近くに達している。

以上のアルミニウム表面への強化粒子の均一分散の成功を受けて、第 7 章では、その他の表面機能の高度化法としての FSP 法の展開の可能性を調べている。すなわち、鉄、マグネタイトなどの磁性材料粒子の分散に FSP 法を適用し、アルミニウムとの反応による強磁性の消失を伴わずに粒子を均一分散させ、アルミニウム表面に強磁性特性を付与することが可能であることを示している。

最後に第 8 章では、この研究の成果を要約している。

以上のように本論文は、FSP 法における攪拌効果を粒子分散に利用することによって、硬質あるいは機能性粒子をアルミニウム合金中に均一に分散させ、高硬度あるいは高機能性の MMC 表面層を形成することに成功し、またその形成条件の適正範囲を求めると共に、その選定指針を与える理論的根拠も示しており、工学的、技術的貢献は多大である。

よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。