OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	アルミニウム合金と低炭素鋼との摩擦圧接界面のナノ構造と強度特性
Author(s)	山本, 尚嗣
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46831
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	山本尚嗣（やまもとなおつぐ）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 19930 号
学位授与年月日	平成18年2月28日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	**アルミニウム合金と低炭素鋼との摩擦圧接界面のナノ構造と強度特性**
論文審査委員	（主査） 教授 池内 建二 （副査） 教授 小林紘二郎　教授 中田 一博　助教授 柴柳 敏哉

論文内容の要旨

第1章は緒論であり、Al合金と低炭素鋼との接合の工業的および学術的重要性、ならびにAl合金と鋼との接合に関する従来の研究の成果とその問題点など、本研究の必要性と目的について述べた。

第2章においては、本研究の実験方法についてまとめて述べた。

第3章においては、Al-Mg系5052合金と低炭素鋼との継手おける界面強度の支配因子を明らかにするため、界面の微細組織と破断部の断面微細組織のTEM観察および破面形態のSEM観察を行った。その結果、摩擦時間が短い場合の界面強度の支配因子はAl酸化膜であり、摩擦時間の増加と共にこの酸化膜は消失し、金属間化合物層が形成・成長し界面強度の支配因子となり、界面強度は金属間化合物層の厚さの増加と共にほぼ直線的に低下することを見出した。金属間化合物層の厚さが従来の研究で継手性能に悪影響を及ぼさないとされている 1μm以下の200 nmでも、継手性能に悪影響を及ぼす場合があることを見出した。また、金属間化合物層の成長の時間則および形態・分布状況から、その形成機構は単に反応拡散のみに因るものではなく、機械的混合効果の寄与があることを示唆した。

第4章においては、Al合金中のMgの効果について検討するために、5052合金よりMg含有量の高いAl-Mg系5083合金と低炭素鋼との継手について第3章と同様の検討を加えた。その結果、界面強度の支配因子は5052合金/低炭素鋼継手の場合と同様に、摩擦時間の増加と共にAl酸化膜から金属間化合物層に移行することを見出した。形成される金属間化合物の種類は、5052合金と低炭素鋼との界面に形成されたものと異なるものも観察され、微量の合金元素によって界面に形成される金属間化合物の種類が強い影響を受けることが分かった。金属間化合物層の厚さと界面強度との間には5052合金/低炭素鋼継手と同様の関係が成立した。但し、この継手の場合には、接合条件によっては、Al_2MgO_4 から成る酸化物層が形成され、界面強度が著しく低下する場合があることが示された。なお、この継手の金属間化合物層の形成・成長も第3章と同様に機械的混合効果の寄与があることを示唆した。

第5章においては、Al-Mg合金/低炭素鋼継手で成立した金属間化合物層の厚さと界面強度との間の関係の一般性を調査するため、Al-Mg合金と比べて母材強度が大幅に低い純アルミニウム1070と低炭素鋼との継手について、第3、4章と同様の検討を加えた。界面強度は金属間化合物層の形成成長と共に減少する傾向を示したが、Al-Mg系合金と低炭素鋼との継手と比べて、同じ金属間化合物層厚さでもはるかに低い界面強度となることがわかった。この継手においては、Al母材中で破断する場合があり、このような場合には金属間化合物層はTEM観察でも検出されず、また連続的なAl酸化膜の存在も認められなかった。なお、この継手の金属間化合物層の形成・成長も機械的混合効果の寄与があることを示唆した。

第６章においては、金属間化合物層の形成・成長への寄与が示唆された機械的混合の機構について検討した。接合界面近傍の低炭素鋼中には粒径が数 100 nm の微細粒から成る領域が、巾 500-3000 nm にわたって形成されており、非常に強い摩擦応力が鋼表面に作用したことが示唆された。この摩擦力による鋼表面の摩耗が Al 合金への鉄の混合に寄与したものと考えた。

第７章は、本研究で得られた成果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、アルミニウム合金と鉄鋼との異材接合界面におけるサブミクロン単位の微細組織の特徴を把握し、その形成機構と接合強度に及ぼす影響を明らかにしようとするもので、観察法は主として透過電子顕微鏡、接合法は工業的に異材接合に広く適用されている摩擦圧接を用いている。

まず、アルミニウム合金と鉄鋼との異材接合の必要性に関する社会的背景ならびに研究の現状を概説し、本研究の目的、ならびに構成を述べている。続いて、本論文の各章において共通して用いる実験方法についてまとめて述べ、その後、実験結果および考察を４章に分けて記述している。

すなわち、Al-Mg 系 5052 合金と低炭素鋼との継手を先ず取り上げ、10 nm 以下の厚さの Al 酸化皮膜、および Fe_2Al_5、Fe_4Al_{13} および $FeAl_2$ から成る 50～1000 nm 厚の金属間化合物層が接合界面に形成されること、また摩擦時間の増加と共に酸化皮膜は消滅し、化合物層は成長することを透過電子顕微鏡観察により見出している。継手の破断位置の観察結果から、これらの酸化皮膜と金属間化合物層が接合強度の支配因子で、摩擦時間の増加と共に前者に比べて後者が重要となることを示し、また後者が支配因子の場合、接合強度は金属間化合物層の厚さの増加と共にほぼ直線的に減少するという新しい関係を得ている。これらは 1μm 以下の厚さの金属間化合物層は継手の強度特性に悪影響を及ぼさないと見なしてきた従来の仮説に見直しを促すものである。

次に Al 合金中の Mg の効果について検討するために、5052 合金より Mg 含有量の高い Al-Mg 系 5083 合金と低炭素鋼との継手について同様の検討を加えている。その結果、金属間化合物の種類として、5052 合金/低炭素鋼界面に形成されるものに加えて(Mn、Fe)Al_6 および Mg_2Si、さらに接合条件によっては Al_2MgO_4 を検出し、微量の合金元素によって界面形成相の種類が強い影響を受けることを見出している。接合強度の支配因子は 5052 合金/低炭素鋼継手の場合と同様に、摩擦時間の増加と共に Al 酸化膜から金属間化合物層に移行し、金属間化合物層の厚さと接合強度との間には 5052 合金/低炭素鋼継手の場合とほぼ同じ関係式が成立することを明らかにしている。但し、接合条件によって Al_2MgO_4 層が形成される場合は、この関係で与えられるものより界面強度が著しく低くなり、金属間化合物層に比べて Al_2MgO_4 層は強度に対してより有害であることを指摘している。

Al-Mg 合金/低炭素鋼継手で成立した金属間化合物層の厚さと接合強度との間の関係の一般性を調べるため、純アルミニウム 1070 と低炭素鋼との継手についても、同様の検討を加えている。その結果、界面強度は金属間化合物層の形成・成長と共に減少する傾向を示すが、上記の Al-Mg 系合金/低炭素鋼継手と比べて、同じ金属間化合物層厚さでもはるかに低い値を示すとの結果を得、この原因として、金属間化合物層の形態および構成相の観察結果に基づき検討を加えている。

以上に述べた継手における金属間化合物層の形成・成長機構について、成長の時間則、形態、および構成相の分布状況から考察し、いずれも従来から言われてきた反応拡散のみでは説明できず、機械的混合の効果が無視できないことを指摘している。この機械的混合の機構について検討するため、接合界面に隣接する低炭素鋼中の観察を行い、その結果、数 100 nm の粒径の微細粒から成る領域が、巾 500-3000 nm にわたって形成されることを見出している。この微細粒領域の形成は、非常に強い摩擦応力が鋼表面に作用し、強加工組織を形成することを示唆するもので、この摩擦力による鋼表面の摩耗が Al 合金中への鉄鋼の混合に寄与すると結論している。

以上のように、本論文はアルミニウム合金と鉄鋼との摩擦圧接界面における微細組織、およびその形成機構と接合強度への影響について、ミクロン単位の観察に限られてきた従来の研究の議論の枠を越える多くの新しい知見を得ており、基礎および応用の両面にわたって工学に寄与する所が大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。