

ドゥライサミ サラトゥ バブ

氏 名	DURAIAMY SARATH BABU
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博第1172号
学位授与の日付	2020年3月31日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	Distribution Mechanism of Solid Particles in Al-Based Composite by Severe Plastic Deformation (Al基金属複合材料への巨大ひずみ加工に伴う固体粒子の分布機構)
論文審査委員	主査 准教授 佐藤 尚 教授 渡辺 義見 教授 北村 憲彦

論文内容の要旨

When the Al-based composite containing solid particles is deformed by severe plastic deformation (SPD), distribution of solid particles are changes drastically. However, the mechanism of such particle distribution changes in the composite by SPD is not clear. In this study, fragmentation mechanism and distribution of solid particles in the deformed composite are investigated.

Fragmentation mechanism of a platelet Al_3Ti particle in an Al- Al_3Ti composite during compression testing is investigated using 3-dimensional (3D) microstructural observation and crystallographic analysis. To clarify the fragmentation process of a platelet Al_3Ti particle the same area microstructural observation is performed. It is found that the fracture surface of a platelet Al_3Ti particle is $\{112\}_{Al_3Ti}$ and cracks are preferentially propagated along the twin boundary of $\{112\}_{Al_3Ti}$ after deformation twinning.

Changes in the spatial distribution of the fragmented Al_3Ti particles in an Al- Al_3Ti composite during equal-channel angular pressing (ECAP) are investigated by Morisita

index, I_s . ECAP is performed under the processing routes of A and B_c up to 8 passes and Al₃Ti particles are aligned along the deformation axis using route A, while particles in the specimens deformed with route B_c are formed into groups. Spatial distributions of Al₃Ti particles based on the I_s results indicate that both processing routes generated aggregate distributions. After 5 passes using routes A and B_c, the homogeneity of the spatial distribution is increased. These variations in the spatial distributions of the Al₃Ti particles can be explained by the occurrence of the material flow of the α -Al matrix during ECAP using routes A and B_c. Although, spatial distributions of spherical Al₃Ti particles in an Al-Al₃Ti composite by ECAP is investigated and spherical Al₃Ti particles are not fragmented by ECAP. In addition, stress concentration develops more easily for specimens with the smaller size particles compare to the specimens which have larger size particles.

Moreover, the effects of Al₃Ti particles shape using spherical, polyhedral and granular particles in Al-Al₃Ti composites are investigated by ECAP. Changes in the spatial distributions of fragmented spherical, polyhedral and granular Al₃Ti particles depend on the particle size. It is found that the deformation behavior of SPD depends on the particle shape and size.

Consequently, the fragmentation behavior of platelet Al₃Ti particles in Al-Al₃Ti composites by multi-directional forging (MDF), symmetric rolling (SR) and asymmetric rolling (ASR) are investigated. The platelet Al₃Ti particles in Al-Al₃Ti composite are deformed by compression and rolling. The results show that compression and rolling can be used to modify the distribution of platelet Al₃Ti particles in Al-Al₃Ti composite.

Grain refining performance of Al-Al₃Ti composite containing platelet Al₃Ti particles by SPD is investigated with the use of as-cast Al. The Al₃Ti particles play role of good heterogeneous nucleation sites for solidification of aluminum. It is concluded that SPD is an effective process to enhance the grain refining ability of the Al-Al₃Ti composite for the pure Al.

論文審査結果の要旨

本論文は、Al母相中に固相粒子が分散したAl基複合材料に巨大ひずみ加工を施すことで生じる固相粒子の破壊メカニズムおよび空間分布の変化について述べた論文である。

従来、金属材料への巨大ひずみ加工に関する研究は、結晶粒微細化およびそれに伴う機械的性質の変化を中心に調査されていた。その一方で、金属基複合材料に巨大ひずみ加工を施すことで、複合材料中の固相粒子の寸法や空間分布を変化させることが期待でき、その点に着目した論文が本論文である。本論文では、主としてAl₃Ti粒子が分散したAl-Al₃Ti複合材料が用いられている。これは、Al-Al₃Ti複合材料がAl鋳造材の結晶粒微細化剤として用いられており、この微細化剤におけるAl₃Ti粒子の数密度や空間分布がAl鋳造材の結晶粒を微細させる性能に寄与するためである。よって、本論文では、Al-Al₃Ti複合材料の結晶粒微細化剤としての性能向上を念頭に、Al-Al₃Ti複合材料への巨大ひずみ加工に伴うAl₃Ti粒子の破壊メカニズムおよびその空間分布の変化を明らかにすることを目的としている。

本論文は、第1章から第7章まで構成されている。

第2章では、Al-Al₃Ti複合材料に対して圧縮試験を行い、圧縮ひずみ量の変化に伴うAl₃Ti粒子の組織変化を同一視野観察にて調べた。さらに、3次元組織観察および結晶方位解析を組み合わせることで、Al-Al₃Ti複合材料中のAl₃Ti粒子は、双晶変形が発生したのち、双晶面である{112}_{Al₃Ti}面に沿ってクラックが伝播して破壊にいたることを見出した。

第3章では、板状Al₃Ti粒子を持つAl-Al₃Ti複合材料および球状Al₃Ti粒子を持つAl-Al₃Ti複合材料に繰返し押し出し加工(ECAP)を施し、それに伴うAl₃Ti粒子の寸法変化および空間分布の変化について調べている。その際、空間分布の調査において、生物学で用いられている森下指数を取り入れることで、その定量評価を行った。その評価に関しては、本章の新規な点である。その結果、Al-Al₃Ti複合材料へのECAP加工に伴うAl₃Ti粒子の寸法変化は粒子形状に依存することやその粒子の空間分布は加工に伴う母相の塑性流動によって決定することを見出した。

第4章では、球状、粒状あるいは多面体状のAl₃Ti粒子を有するAl-Al₃Ti複合材料を作製し、それらにECAP加工を施すことで、Al₃Ti粒子の形状が粒子破壊に及ぼす影響について調査した。その際、Al₃Ti粒子周りの母相に生じるひずみ分布なども調べている。その結果、Al₃Ti粒子の破壊は、Al₃Ti粒子周りに生じる応力集中によって生じることを明らかにした。

第5章では、実用的に用いられている冷間圧延、異周速圧延および多軸鍛造(MDF)をAl-Al₃Ti複合材料に施すことで、これらの実用的な加工法によっても、第2章から第4章で得られた知見に基づいたAl₃Ti粒子分布の変化が生じていることを確認している。

さらに、第6章では、Al-Al₃Ti複合材料へのECAP加工やMDF加工が、Al鋳造材の結晶粒微細化剤としての性能が向上することを見出した。

以上の点が、本論文の学術的に新規な点である。これまで、複合材料への巨大ひずみ加工に伴う硬質粒子の破壊プロセスや空間分布の変化に着目した研究はなく、その点で本博士論文は学術的に貴重な論文であるといえる。よって、本論文は、学位論文として十分に価値のある論文であると判断された。