

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360328

研究課題名(和文) 等速・異周速複合圧延したアルミニウム合金板の{111}再結晶集合組織形成機構

研究課題名(英文) Mechanism of {111} recrystallization texture evolution in aluminum alloy sheets fabricated by symmetric/asymmetric combined rolling process

研究代表者

井上 博史 (INOUE, Hirofumi)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30137236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円、(間接経費) 4,020,000円

研究成果の概要(和文)：自動車ボディパネル用時効硬化型Al-Mg-Si系合金のr値を改善し、良好な深絞り性を達成するために、冷間圧延と温間異周速圧延を適切に組み合わせ、r値向上に好都合な{111}集合組織を溶体化処理中に発達させる目的で再結晶集合組織の形成機構を調べた。

高圧下率の冷間圧延の後に低圧下率の温間異周速圧延を行った圧延板に高温短時間の溶体化処理を施し、{111}再結晶集合組織を形成させた。微細組織観察と方位解析の結果から、転位密度が低く微細析出物によるピン止めを受けにくい{111}方位サブグレインが優先的に再結晶核となり、他の方位領域を蚕食したために{111}集合組織が発達したと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to improve r-values and achieve good deep drawability in an age-hardenable Al-Mg-Si alloy for automotive body panels, symmetric cold-rolling and asymmetric warm-rolling were conducted under appropriate conditions, and then the mechanism of recrystallization texture evolution was investigated with the purpose of developing the {111} texture favorable for r-value improvement during solution treatment.

The {111} recrystallization texture was formed during the solution treatment under high-temperature and short-time of the rolled sheets, which were processed by asymmetric warm-rolling at a low reduction in thickness after cold-rolling. Microstructural observations and orientation analyses suggested that the {111}-oriented subgrains, which had low dislocation density and was hardly subjected to pinning by fine precipitates, became recrystallized nuclei preferentially and encroached on areas with other orientations, resulting in the {111} texture evolution.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学 材料加工・処理

 キーワード：アルミニウム合金 冷間圧延 温間異周速圧延 溶体化処理 再結晶集合組織 微細組織 転位密度
微細析出粒子

1. 研究開始当初の背景

近年、地球環境保護および省エネルギーの観点から自動車の軽量化が積極的に進められているが、アルミニウム合金をボディパネルへ適用するには成形性の改善が不可欠である。中でも深絞り性は鋼板に比べてかなり劣っており、指標として用いられる r 値(ランクフォード値)は通常 0.6 程度の低い値を示す。これはアルミニウム合金の圧延焼鈍板が r 値の低い立方体集合組織{001}<100>をもつからである(図 1)。しかしながら、r 値は集合組織と密接な関係があるため、板材の集合組織を制御することにより r 値を大幅に改善できる可能性がある。特に{111}<110>方位のような板面に対して{111}面が平行な集合組織は r 値が高く面内異方性も小さい。また、通常アルミニウム合金圧延板に発達する β -fiber 集合組織の主成分 Bs 方位{011}<211>、S 方位{123}<634>、Cu 方位{112}<111>は圧延方向から 45°の方向で高い r 値を示す。

r 値改善のための指針として、(i) 温間圧延や異周速圧延でせん断変形を与えることにより {001}<110>-{112}<110>-{111}<110> 方位群と {111}<uvw> 方位群からなるせん断集合組織を発達させ、再結晶焼鈍後も {111}<uvw> 方位を残存・発達させる方法、(ii) 焼鈍プロセスにおける回復・再結晶時に析出を起こさせ、そのピン止め効果により Bs 方位や S 方位のような β -fiber 集合組織成分を残存させる方法がこれまで提案されていた。特に前者のせん断集合組織による r 値改善については、国内外で多数の研究が行われている。従来の異周速圧延による集合組織制御の研究では、せん断集合組織を発達・残存させることを主眼として研究が行われてきたが、高 r 値で低面内異方性のアルミニウム合金板が未だ実現できていないのは、{111}<uvw> 方位が再結晶中にさほど発達しないこと、および異方性の大きな方位が再結晶焼鈍後も残存することが原因である。不都合な方位成分を減少させ、{111}<uvw> 方位を増加させるには、圧延によるせん断集合組織形成に着目するだけでなく、圧延後の焼鈍における再結

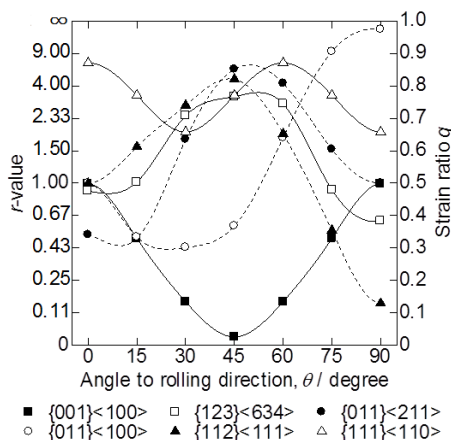


図 1 ガウス分布を有する種々の理想方位について Taylor モデルで計算した r 値の面内異方性 (q: 幅方向と長さ方向のひずみ比)。

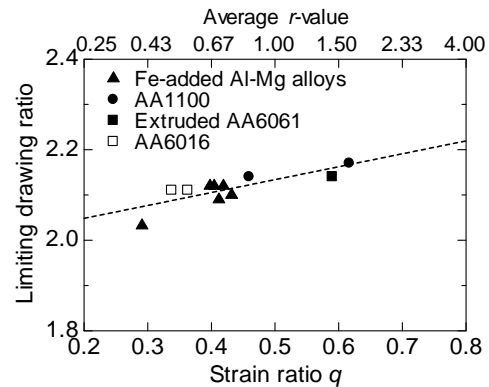


図 2 種々の集合組織をもつアルミニウム合金板の平均 r 値と限界絞り比の関係。

晶挙動を十分に把握する必要がある。

以前の研究で、アルミニウム合金における r 値と深絞り性の関係を検討し、平均 r 値と限界絞り比の間に正の相関関係があることを実験的に証明した(図 2)。また {111} 方位成分を含む「TD 回転した β -fiber 集合組織」を人為的に作製し、平均 r 値 1.6、最小 r 値 1.2 の高い r 値を示した。

このような集合組織を自動車ボディパネル材として有望な時効硬化型 Al-Mg-Si 系合金において実現するために、通常の冷間圧延により β -fiber 集合組織を発達させた後、低下下の温間異周速圧延でせん断変形を与えた結果、TD 回転した β -fiber 集合組織を得ることに成功した。冷間圧延および温間異周速圧延の条件を変化させると、540 溶体化処理後の再結晶集合組織は、冷間圧延の影響が残存した立方体集合組織から温間異周速圧延の影響を強く受けた集合組織へと大幅に変化し、中間の圧延条件で r 値改善に好都合な {111}<110> 方位が主成分として形成されることを見出した。このように、冷間圧延と温間異周速圧延の適切な組み合わせにより、高温で溶体化処理を施した Al-Mg-Si 系合金で {111} 再結晶集合組織が形成することが明らかとなったが、r 値の大幅な改善には形成機構の解明が必要であった。

2. 研究の目的

自動車ボディパネル用 Al-Mg-Si 系合金の r 値を大幅に改善し、優れた深絞り成形性を有する板材を得るために、冷間圧延と温間異周速圧延を適切に組み合わせ、r 値改善に好都合な {111} 集合組織を再結晶焼鈍(溶体化処理)中に効果的に発達させることを目的として、再結晶集合組織の形成過程を調査した。{111} 再結晶集合組織が確実に形成する圧延条件で実験を行い、それがどのような機構で発達するのか、{111}<110> 再結晶方位はどのような条件下で発達しやすいのかを明らかにするために、圧延後と再結晶中の微細組織と集合組織を詳細に調査した。また、冷間圧延と温間異周速圧延の圧下率を変化させ、得られた再結晶集合組織と r 値の観点から圧延プロセスの最適化を検討した。

3. 研究の方法

(1) 等速・異周速複合圧延の実施と圧延集合組織の調査

対象とするアルミニウム合金は自動車ボディパネル用材料としての応用が期待される時効硬化型 Al-Mg-Si 系合金である。具体的には 6022 アルミニウム合金 (Al-0.55% Mg-1.1%Si) を用いて研究を進めた。

熱間圧延材に冷間圧延を施し、 β -fiber 圧延集合組織を発達させた。温間異周速圧延後の集合組織に及ぼす冷間圧延の影響を見るために、総圧下率を 65% ~ 95% の間で変化させた。最終的な試料板厚を 0.9 mm とするために、この段階では板厚を 1.2 ~ 1.8 mm とした。

β -fiber 集合組織の発達した試料に 200 で圧下率 20% ~ 40% の温間異周速圧延をロール周速比 1.5 で 1 パス行った。SEM (走査電子顕微鏡)/EBSD (後方散乱電子線回折) 装置および X 線回折装置を用いて集合組織測定し、TD 回転した β -fiber 集合組織の形成を確認した。

(2) 溶体化処理後の再結晶集合組織の調査

Al-Mg-Si 系合金板の実際の製造プロセス (連続熱処理工程) を想定して、冷間圧延と温間異周速圧延の組合せで作製した複合圧延材に 540 で 90 s の短時間溶体化処理を施し、T4 処理材を得た。集合組織を SEM/EBSD 装置および X 線回折装置で測定し、冷間圧延条件および温間異周速圧延条件の違いによる再結晶集合組織の違いを明らかにした。

(3) $\{111\}$ 再結晶集合組織形成機構の検討

再結晶集合組織の形成機構を明らかにするには、回復・再結晶過程での微細組織観察と方位解析が必要である。それゆえ、 $\{111\}$ 再結晶集合組織が確実に形成する圧延条件で作製した複合圧延材を供試材とした。540 の溶体化処理温度で熱処理時間を変化させ、EBSD を用いて微細組織変化と方位変化を調査し、時間経過に伴う主要方位成分の体積率変化挙動を明らかにした。また、 $\{111\}$ 再結晶粒の形成過程を明らかにするために、EBSD と透過電子顕微鏡 (TEM) による圧延後と再結晶初期段階の微細組織観察を行った。圧延および回復段階では $\{111\}$ 方位は他の方位と比べて転位密度がどの程度異なるのか、微細析出物や粗大晶出物のような第二相粒子が $\{111\}$ 再結晶集合組織形成にどのような影響を及ぼすのかを調査するとともに、 $\{111\}$ 再結晶粒の成長段階についても EBSD により体積率の変化を調査し、 $\{111\}$ 再結晶集合組織の形成機構を考察した。

(4) 溶体化処理材の深絞り性の評価

実用的な観点から、等速・異周速複合圧延により作製した Al-Mg-Si 系合金板の T4 処理材 (溶体化処理材) について、圧延方向 0° から板幅方向 90° まで 15° 間隔で r 値の面内異方性を測定した。冷間圧延と温間異周速圧

延の圧下率を変化させて溶体化処理材の r 値と限界絞り比を測定し、深絞り性に及ぼす各圧下率の影響を調査した。得られた結果に基づいて、再結晶集合組織と深絞り性の関係を明らかにした。

4. 研究成果

(1) $\{111\}$ 再結晶集合組織形成に及ぼす圧延条件の影響

作製した複合圧延材に 540 で 90 s の溶体化処理を施し、形成された再結晶集合組織を調べた結果、冷間圧延 (CR) の圧下率が高く温間異周速圧延 (AWR) の圧下率が 20% ~ 33% の試料では「TD 回転した β -fiber 集合組織」が形成されやすく、溶体化処理中に $\{111\}$ <110> 方位を主成分とする再結晶集合組織が発達するのに対して、温間異周速圧延を 40% 行った試料ではせん断集合組織が形成されやすく、溶体化処理中に $\{111\}$ 方位成分が発達しないことがわかった (図 3)。最も $\{111\}$ 方位成分が発達したのは CR90% + AWR25% の試料であり (EBSD による面積率: 33.5%)、通常の冷間圧延のみの試料 ($\bar{r} = 0.60$) よりもかなり高い平均 r 値 ($\bar{r} = 1.01$) を示した。平均 r 値の増加に対応して限界絞り比も通常の冷間圧延材の 2.05 から 2.11 に向上した。CR と AWR の圧下率を最適化する

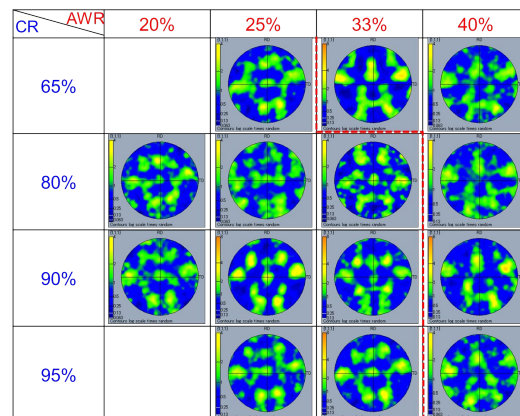


図 3 冷間圧延 (CR) 後に温間異周速圧延 (AWR) した A6022 合金板の溶体化処理後の再結晶集合組織に及ぼす圧下率の影響 (高周速ロール側から見た板厚中心部の $\{111\}$ 極点図)。

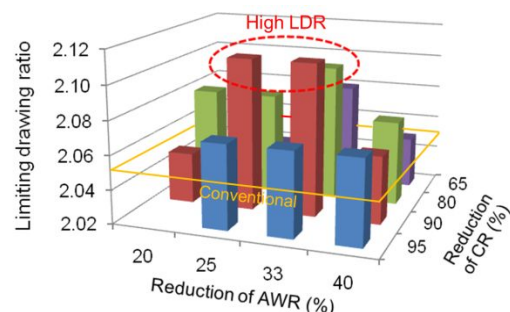


図 4 冷間圧延 (CR) 後に温間異周速圧延 (AWR) した A6022 合金板の溶体化処理材の限界絞り比に及ぼす圧下率の影響。

ること従来よりも限界絞り比を大幅に改善できた(図4)。深絞り性の改善には{111}<uvw>成分の存在が非常に有効である。

(2) {111}再結晶集合組織形成機構

溶体化処理中の{111}方位成分の発達

TD回転したβ-fiber集合組織を有する複合圧延材(CR90%+AWR25%)の透過電子顕微鏡組織(図5)から、温間異周速圧延後にはすでにサブグレイン組織が形成されており、{111}<110>に近い方位は、{011}<211>方位や{001}<110>方位よりも転位密度が低い下部組織を示すことがわかった。また、蓄積エネルギーに対応すると考えられるTaylor因子は、等速圧延のような平面ひずみ変形ではCube方位{001}<100>で低い値を示すが、せん断変形が加わると、Cube方位近傍で増加し{111}方位成分で減少する傾向がある(図6)。これらのことから、温間異周速圧延後の状態では、{111}<uvw>方位は他の方位よりも相対

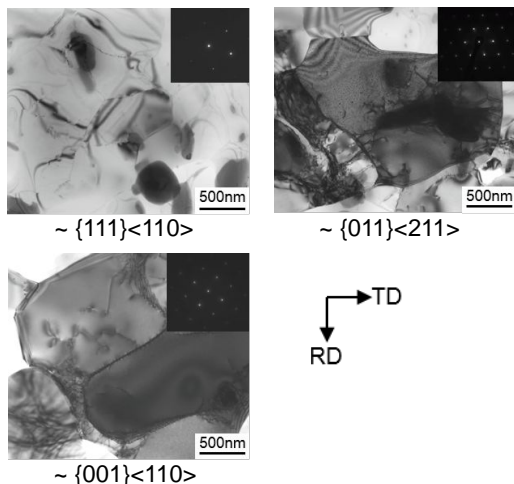


図5 TD回転したβ-fiber領域の複合圧延材(CR90%+AWR25%)のTEM組織。

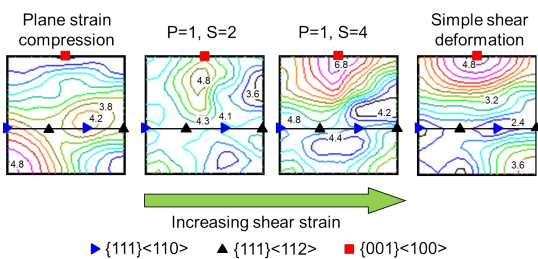


図6 付加的せん断ひずみの増加に伴うTaylor因子の変化($\phi_2 = 45^\circ$ 断面). PおよびSはそれぞれ平面ひずみとせん断ひずみの大きさを表す。

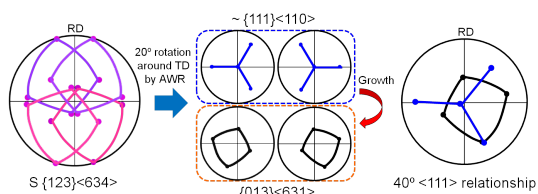


図7 温間異周速圧延(AWR)によりS方位から得られた{111}<110>に近い方位と{013}<631>方位の間の方位関係。

的に蓄積エネルギーが低いことが示唆される。複合圧延後の隣接結晶粒間の方位差も再結晶核生成の重要な因子である。TD回転したβ-fiber集合組織を有する複合圧延材(CR90%+AWR25%)における{111}方位粒と隣接変形マトリックスとの粒界を調査した結果、{111}方位粒は高い割合で大角粒界に囲まれていた。

面心立方晶金属において、変形マトリックスと<111>軸まわりの40°回転関係(40°<111>方位関係)を有する再結晶粒の粒界移動速度が速いことが古くから知られている。{111}<110>方位は冷間圧延で発達したS方位がTD軸まわりに約20°回転した方位に近く、{013}<631>方位もまたS方位の別のバリエーションからTD軸まわりに約20°回転した方位であるため(図7)これらの間には<111>軸まわりの約40°の回転関係が存在し、{111}<110>再結晶粒が{013}<631>方位領域に優先的に成長することも{111}再結晶集合組織の成因の1つと考えられる。

実用化を想定して、溶体化処理中に{111}<110>再結晶集合組織が確実に発達する圧延条件を冷間圧延85%、温間異周速圧延30%に決定し、複合圧延コイル材を作製した。以下の研究では、この大型板材を用いて540焼鈍中に生じる集合組織および微細組織の変化をより定量的に調査した。複合圧延のみならず、その大型板材で{111}再結晶集合組織の形成機構を検討した例は国内外を通して本研究が初めてである。

蓄積エネルギーの結晶方位依存性

焼鈍時間(540での保持時間)の増加に伴う集合組織の変化を図8に示す。圧延集合組織はTD回転したβ-fiber集合組織であったが、3sの短時間焼鈍で{111}<110>再結晶集合組織が発達した。複合圧延後および回復段階でTEM観察を行った結果、図5と同様に、{111}や{111}近傍の方位成分を有するサブグレインは他の方位のサブグレインよりも内部の転位密度が低かった。冷間圧延後に200の温間異周速圧延を行ったため、複合圧延したままの試料でも平均的に転位密度の低い下部組織であった。複合圧延後の試料における様々な方位をもつサブグレインの内部転位密度を図9に示す。{111}<uvw>方位を有するサブグレインの転位密度は他のどの方位よりも低かった。転位密度 ρ と比例関係にある蓄積エネルギー E を $E \approx 0.5\rho Gb^2$ (G :剛性率, b :バーガースベクトル)を用いて見積もった結果、{111}<uvw>サブグレイン内の蓄積エネルギーは0.5 J/mol、その他のサブグレイン内の平均蓄積エネルギーは3.0 J/molであった。X線回折ピークの半値幅から算出した複合圧延後の試料の平均転位密度は $1.8 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ であり、サブグレイン内の転位密度(10^{13} m^{-2} オーダー)よりも高い値を示した。これは小角境界で構成されたサブバウンダリーの転位密度を考慮していないためと考えられ

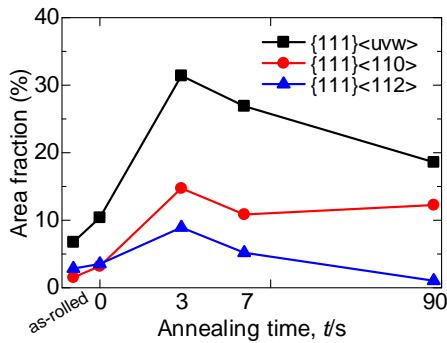


図 8 540 焼鈍中の{111}方位成分の面積率変化 (許容誤差 15%) .

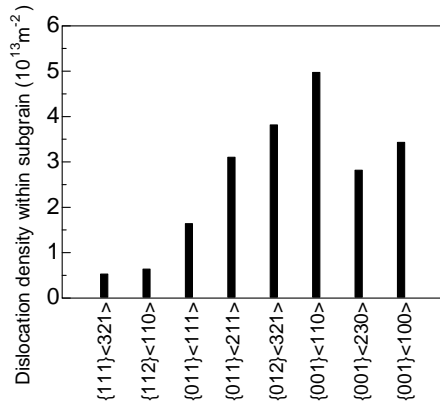


図 9 複合圧延後の試料におけるサブグレイン内の転位密度の方位依存性(サブバウンダリー上の転位を除く) .

る。SEM/EBSD によるサブグレインサイズ D と大角粒界を除いた小角境界の方位差角 θ ($\theta < 15^\circ$) の測定結果から、サブバウンダリー上の転位密度 ρ を $\rho = \alpha\theta / (bD)$ を用いて算出した。その結果、サブバウンダリー上の転位密度は結晶方位に依存しないことが明らかとなった (複合圧延後の平均転位密度: $1.7 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$)。{111}<uvw>再結晶核形成に及ぼすサブバウンダリーの転位密度の影響は小さく、サブグレイン内の転位密度に起因する蓄積エネルギー差が{111}<uvw>再結晶核形成と密接に関係したと考えられる。

大角粒界形成も再結晶核生成の重要な因子である。複合圧延後に{111}<110>サブグレインは既に周辺領域と約 66%の高い割合で大角粒界を形成していた。

再結晶初期段階における選択成長

{111}<uvw>再結晶粒の中で{111}<110>方位が主成分となる理由を考える。図 10 は {111}<110>方位粒を取り囲む粒界のうち、 $40^\circ < 111^\circ$ 方位関係に近い粒界の割合を示す。3s 焼鈍における{111}<110>方位の面積率(破線)の大幅な増加が、その前の 0s 焼鈍の段階で{111}<110>方位がその隣接領域との間に約 25%の比較的高確率で $40^\circ < 111^\circ$ に近い方位関係を有することと関係すると考えられる。{111}<110>再結晶粒は周辺方位粒と比較的大きな方位差をもち、低エネルギーで安定な小角粒界や $60^\circ < 111^\circ$ 粒界(3境界)で囲

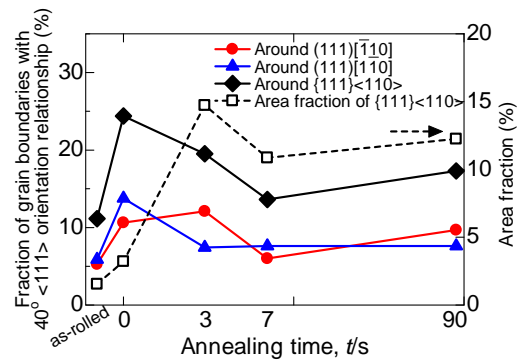


図 10 540 焼鈍中の $40^\circ < 111^\circ$ 方位関係を有する粒界の割合の変化(回転軸・回転角の許容誤差 10°) .

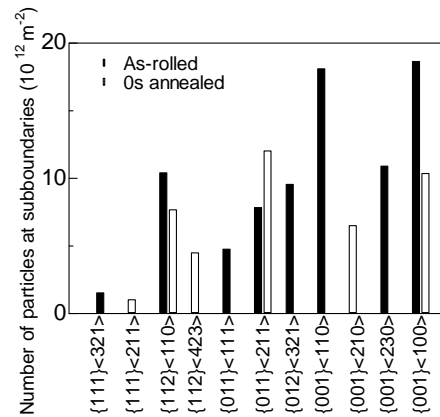


図 11 様々な方位を有するサブグレインを取り囲むサブバウンダリーに存在する微細粒子($0.5 \mu\text{m}$ 以下)の数 .

まれていないため、速やかに成長が起こると考えられる。

第二相粒子の影響

時効硬化型 Al-Mg-Si 系合金には多数の第二相粒子が存在するため、ピン止めや Particle-Stimulated Nucleation (PSN) の影響も検討する必要がある。

$1 \mu\text{m}$ よりもかなり微細な析出粒子はサブバウンダリーや再結晶界面の移動を抑制することが知られている。複合圧延後の試料において、様々な方位を有するサブグレインを取り囲むサブバウンダリーに存在する単位面積あたりの微細析出粒子の数を TEM 観察により求めた (図 11)。他の方位と比較して {111}<uvw>方位では、サブバウンダリー上の微細析出粒子の数は少ない。したがって、複合圧延後に{111}<uvw>方位を有するサブグレインは蓄積エネルギーが低く、サブバウンダリーをピン止めする微細析出粒子が少ないため、成長しやすいことが示唆される。200 での温間異周速圧延中に析出した微細粒子が{111}<uvw>方位の再結晶核生成を抑制する効果は小さく、反対に他の方位の再結晶核生成が抑制されやすいことになり、微細析出粒子は{111}<uvw>再結晶粒の増加に優位に働く。温間異周速圧延によるせん断変形の付加と微細粒子の析出が{111}再結晶集合組織形成に重要な役割を演じている。

圧延前に存在した約 1 μ m 以上の粗大粒子周りの deformation zone から PSN により生成した再結晶粒の方位依存性を EBSD で調べた結果、 $\{111\}\langle uvw \rangle$ 再結晶粒の割合は他の方位の再結晶粒よりも相対的に少なかった。このことは PSN が $\{111\}$ 再結晶集合組織形成の重要な機構ではないことを示している。微細析出物のピン止め効果を積極的に利用した熱処理法の検討が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

H. Inoue, $\{111\}\langle 110 \rangle$ Recrystallization Texture Evolution in Al-Mg-Si Alloy Sheets Fabricated by Symmetric/Asymmetric Combined Rolling Process, Materials Science Forum, 査読有, Vol. 783-786, 2014, pp. 33-38.

井上博史, 集合組織制御による高機能材料の創製 (2)アルミニウム合金, 査読無, 塑性と加工, Vol. 54, pp. 116-121, 2013.

H. Inoue, Texture Control of Aluminum and Magnesium Alloys by the Symmetric/Asymmetric Combination Rolling Process, Materials Science Forum, 査読有, Vol. 702-703, 2012, pp. 68-75.

[学会発表](計 16 件)

蔭山直佑, 井上博史, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板の溶体化処理中の再結晶挙動とその後の時効挙動, 日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部 材料開発研究会平成 25 年度第 4 回研究会, 2013 年 12 月 25 日, 吹田.

蔭山直佑, 井上博史, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板の溶体化処理中の再結晶挙動とその後の時効挙動, 軽金属学会関西支部 若手研究者・院生による研究発表会, 2013 年 12 月 18 日, 姫路.

H. Inoue, $\{111\}\langle 110 \rangle$ Recrystallization Texture Evolution in Al-Mg-Si Alloy Sheets Fabricated by Symmetric/Asymmetric Combined Rolling Process, THERMEC'2013 (基調講演), 2013 年 12 月 2 日, アメリカ, ラスベガス.

蔭山直佑, 井上博史, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板の再結晶挙動と時効挙動, 軽金属学会第 125 回秋期大会, 2013 年 11 月 9 日, 横浜.

井上博史, 蔭山直佑, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板における $\langle 111 \rangle // ND$ 再結晶粒の形成機構の検討, 日本金属学会分科会第 3 回結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会, 2013 年 10 月 7 日, 伊勢.

蔭山直佑, 井上博史, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板における $\{111\}$ 再結晶粒の形成過程, 日本金属学会 2013 年秋期講演大会, 2013 年 9 月 19 日, 金沢.

蔭山直佑, 井上博史, 森 勇人, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板における $\{111\}$ 再結晶集合組織の発達, 軽金属学会関西支部 若手研究者・院生による研究発表会, 2012 年 12 月 25 日, 大阪.

蔭山直佑, 井上博史, 森 勇人, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板の再結晶集合組織に及ぼす第 2 相粒子の影響, 軽金属学会第 123 回秋期大会, 2012 年 11 月 11 日, 習志野.

井上博史, 蔭山直佑, 森 勇人, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板の再結晶集合組織形成における支配因子の検討, 日本金属学会分科会 第 2 回結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会, 2012 年 10 月 11 日, 倉敷.

H. Inoue, Evolution of $\{111\}\langle 110 \rangle$ Recrystallization Texture in Al-Mg-Si Alloy Sheets Fabricated by Symmetric/Asymmetric Combination Rolling Process, Materials Science Engineering 2012 (招待講演), 2012 年 9 月 27 日, ドイツ, ダルムシュタット.

蔭山直佑, 井上博史, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板の再結晶初期段階における集合組織形成, 日本金属学会 2012 年秋期(第 151 回)大会, 2012 年 9 月 18 日, 松山.

井上博史, 森 勇人, 等速・異周速複合圧延した Al-Mg-Si 合金板における溶体化処理中の $\{111\}\langle 110 \rangle$ 再結晶集合組織形成過程, 軽金属学会第 122 回春期大会, 2012 年 5 月 20 日, 福岡.

H. Inoue, Texture Control of Aluminum and Magnesium Alloys by the Symmetric/Asymmetric Combination Rolling Process, The 16th Int. Conf. on Textures of Materials (招待講演), 2011 年 12 月 16 日, インド, ムンバイ.

井上博史, 森 勇人, Al-Mg-Si 合金板における $\{111\}\langle 110 \rangle$ 再結晶集合組織形成過程の EBSD 解析, 日本金属学会 2011 年秋期(第 149 回)大会, 2011 年 11 月 9 日, 宜野湾.

井上博史, 森 勇人, 高成形性 Al-Mg-Si 合金板における $\{111\}\langle 110 \rangle$ 再結晶集合組織形成過程, 日本金属学会分科会第 1 回結晶と組織の配向制御による材料高性能化研究会, 2011 年 10 月 15 日, 浜松.

H. Inoue, Recrystallization Textures of Al-Mg-Si Alloy Sheets Processed by Combination of Symmetric and Asymmetric Rolling, THERMEC'2011, 2011 年 8 月 5 日, カナダ, ケベック.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 博史 (INOUE, Hirofumi)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 3 0 1 3 7 2 3 6