

# 非対称圧延を利用した集合組織制御による 高成形性アルミニウム合金板材の開発

大阪大学大学院工学研究科マテリアル科学専攻  
助教授 左海哲夫  
(平成 12 年度研究開発助成 AF-2000012)

キーワード: 異周速圧延, アルミニウム合金板,  $r$  値

## 1. 研究の目的と背景

アルミニウム合金板(工業用純アルミニウムを含む, 以下同じ)は, 種々の成分のものが実用化され, 強度, 耐食性などに優れたものが数多くあるが, 鋼板に比べて, 延性, プレス成形性に劣るといふ欠点がある. このため, 自動車車体への適用は, その省エネルギー効果が高いにもかかわらず, 未だ量産レベルでは実現していない. アルミニウム合金板の成形性を改善する方策として, 種々の合金成分を添加し, 熱処理により特性を向上する試みは行われているが, これは, リサイクル性という長所を生かせないものである. このような材料組成の特殊化ではなく, 広範囲に使われているアルミニウム合金素材を用い, 加工プロセスの転換による新しい組織制御により, 高成形性アルミニウム合金板を製造するプロセスの開発が望まれている. かつて軟鋼板のプレス成形性向上が鉄鋼研究者の大きな目標であったように, 今ではアルミニウム板の成形性向上が社会的な要請もあり, 材料技術者の大きな目標であるといえる.

金属板材のプレス成形性はその集合組織に支配される. 一般に, 立方晶では 111 面が板面に平行であれば  $r$  値が高くなりプレス成形性が向上するとされている[1]. ところが, アルミニウムを始めとする面心立方金属では, 通常の圧延, 再結晶を利用した組織制御手法では 110 または 100 面が板面に平行になることが多く, プレス成形性に有利な集合組織を得る事は不可能である. ところで, 面心立方金属板にせん断変形を導入すると, 板面に平行に 111 面が配向することは広く知られている[2]. 通常の圧延においても, ロールと板との間の摩擦係数が高い時には, 圧延後の FCC 金属板の表面付近に,  $\langle 111 \rangle // ND$  方位を含むせん断集合組織が発達する. ところが, この集合組織の形成は表面付近に限られ, 板厚中心部では通常の圧延集合組織が発達するため, 従来の圧延法でせん断集合組織を板厚全体にわたって発達させることは困難であった[3-6]. 本研究は, 上下ロールをそれぞれ独立に駆動する圧延機により, 上下ロールを異速で駆動して高摩擦下での非対称圧延を行い, 板厚方向全体にせん断変形を導入し, その後の熱処理によりこれまで通常の圧延熱処理工程では得られなかった集合

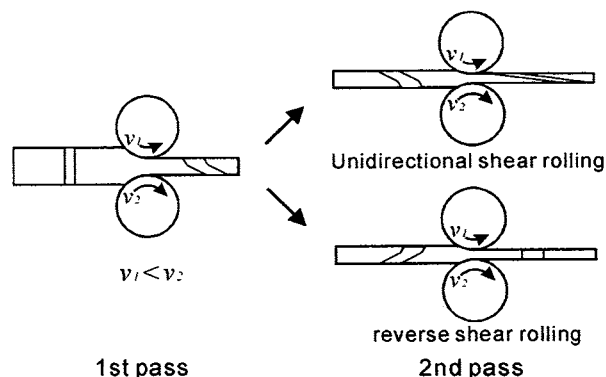


図 1 2 種類の 2 パス異周速圧延の概念図

組織を発達させたアルミニウム合金板を製造すること, さらに板の集合組織, 成形性に及ぼす非対称圧延条件の影響を明らかにすることを目的とする.

## 2. 実験方法

### 2.1 異周速圧延

使用した圧延機は, ロール径が 130mm であり, 上下ロールをそれぞれ独立のモーターで駆動するものである. それぞれのロールは, ロール周速を 0~5m/min の範囲で連続的に変化させることが可能であるので, 任意の異速比が設定できる. 本実験では, 一方のロール周速を 2m/min に固定し, 他方を 2~4m/min に変化させることで, 異速比を 1~2 の範囲に設定した. 1 パスあたりの圧下率を 50% とし, 板厚方向せん断ひずみ分布に及ぼす異速比の影響を調べた. 板に導入されるせん断ひずみは, 圧延前に板面に垂直に埋め込んだアルミニウムの丸棒の変形を圧延後に定量的に測定することで評価した[7]. 圧延は, 無潤滑で行った.

### 2.2 一方向せん断圧延と往復せん断圧延

大きなせん断ひずみを導入するため, 2 種類の 2 パス異周速圧延を行った. 1 パスあたりの圧下率は 50% とし, 全圧下率を 75% とした. その手順を図 1 に示す. 1 パス圧延後の板を TD 周りに 180° 回転して, 1 パス目と同一方向のせん断ひずみが導入されるように 2 パス目の圧延を行

うものを2パス一方向せん断圧延(2-pass differential speed unidirectional shear rolling), ND 周りに 180° 回転して逆方向のせん断ひずみが導入されるように2パス目の圧延に供するものを2パス往復せん断圧延(2-pass differential speed reverse shear rolling)と呼ぶ。

### 2.3 供試材

厚さ 3mm, 幅 30mm の A1050 焼鈍材を試料とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 異周速圧延によるせん断ひずみの導入

図2に, 圧延前に試料面に垂直に埋め込んだ丸棒の, 1パス圧延による変形に及ぼす異速比の影響を示す。異速比 1.0(通常圧延)では, 摩擦により生じたせん断変形を示す丸棒の傾きが, 板表面に近づくほど大きくなっているが, 板厚中心部ではその傾きは 0 である。一方, 異周速圧延では, 板厚中心部でも丸棒が傾いており, 異速比 1.6 以上では板厚方向全体にわたって一方向のせん断ひずみが導入されている。またその傾きの大きさは, 異速比とともに大きくなる。すなわち, 異周速圧延において板に導入されるせん断ひずみの大きさは, 異速比が大きいほど大きいことがわかる。図3は, 2パス異周速圧延による丸棒の変形を示す。一方向せん断圧延では, 板厚方向に一樣な一方向のせん断ひずみが導入されている。往復せん断圧延では, 2パス目の高速ロール側に逆方向のせん断ひずみが生じているのがわかる。図4は, 図3の丸棒の傾きから求めたせん断ひずみの板厚方向変化である。一方向せん断圧延では, せん断ひずみは 1.6 から 3.3 の範囲で板厚方向にほぼ一様に分布している。往復せん断圧延では全体的に, 一方向せん断圧延より小さくなっているが, これは圧延後の変形から求めた見掛けのせん断ひずみであり, 実質的な相当ひずみは両者でほぼ同じであると思われる。

### 3.2 集合組織の板厚方向変化

2パス一方向せん断圧延材の集合組織の板厚方向変化を{111}極点図により図5に示す。集合組織の測定位置は, 低速ロール側表面, それより板厚の 1/4 下側, 板厚中心, 板厚の 3/4, 高速ロール側表面である。これらの極点図に示す圧延方向(RD)は, 2パス目のそれである。また X 線による集合組織の測定面は, 2パス目の圧延における低速ロール側に相当する面である。{111}極の強い集積は, 板

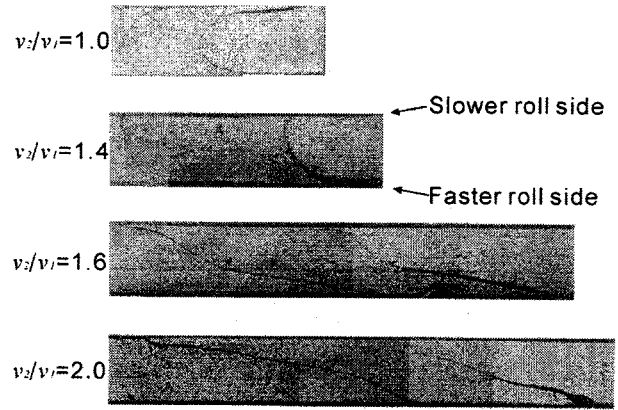


図2 板に導入されるせん断変形に及ぼすロール周速比の影響

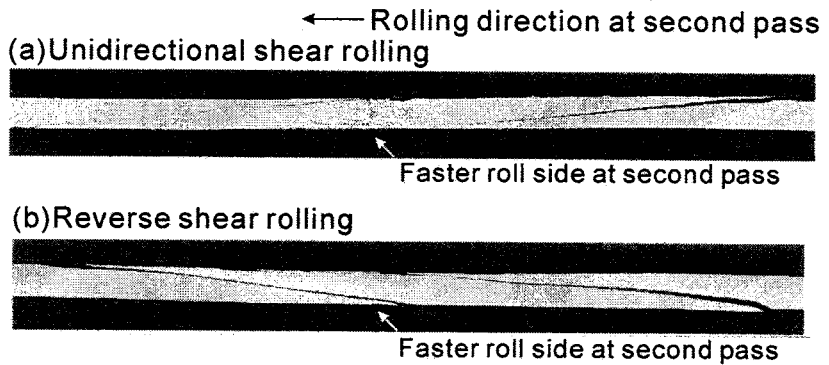


図3 2パス異周速圧延により板内部に生じる変形

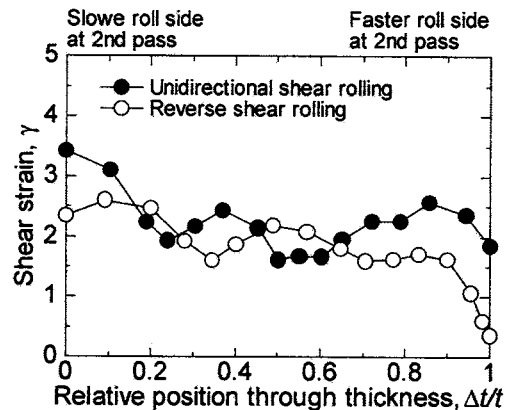


図4 2パス異周速圧延板の板厚方向せん断ひずみ分布

厚方向のいずれの位置でも{111}<110>, {112}<110>および{001}<110>方位近傍に見られる。これらの方位はいずれも FCC 金属のせん断集合組織の主方位として知られているものであり, 異周速圧延により板厚方向全体にわたって

せん断集合組織が発達した板を得ることができることがわかった。ただし、極の集積する位置は、せん断集合組織の理想方位からわずかに TD 軸周りに回転した位置である。これは、異周速圧延においては中立点の位置がロール接触弧上に存在しないか、あるいは接触弧上にあったとしても、接触弧入り口または出口の極近傍にあることが原因

であると思われる。また、異周速圧延された板は 75%の圧下がかけておられ、約 1.4 の圧縮ひずみが生じているにもかかわらず、通常の  $\{112\}\langle 111\rangle$ 、 $\{123\}\langle 634\rangle$ 、 $\{110\}\langle 112\rangle$  などの方位で表わされる圧延集合組織成分がほとんど存在しないことが注目される。圧延とせん断の 2 種のモードの変形が同時に生じる場合、せん断変形が集合

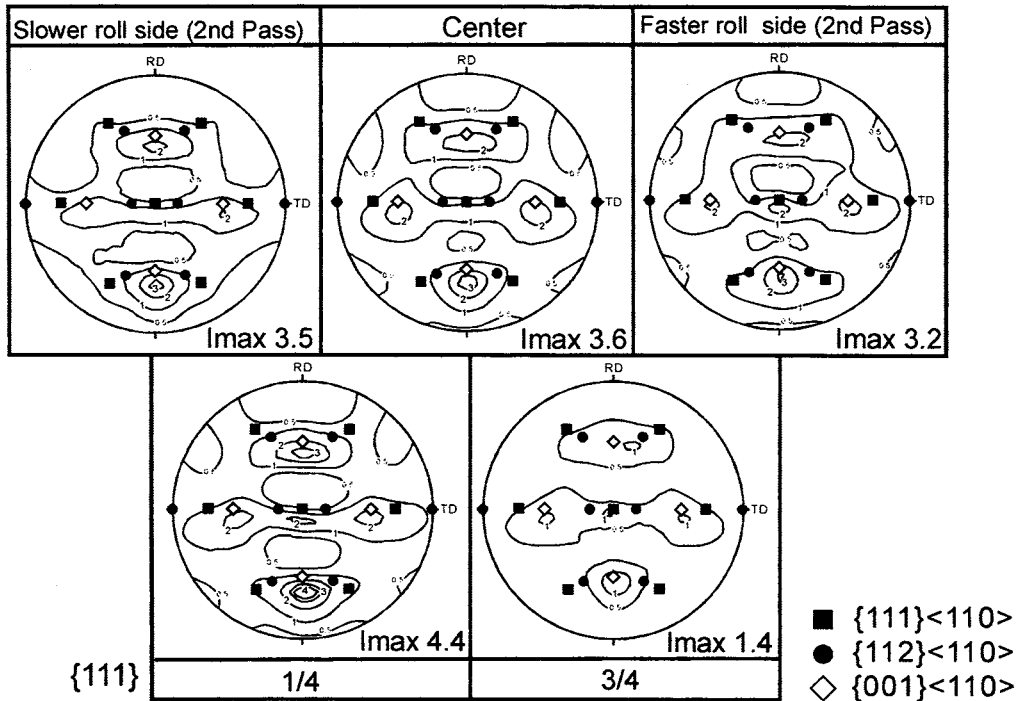


図 5 2 パス一方向せん断圧延材の板厚方向集合組織変化

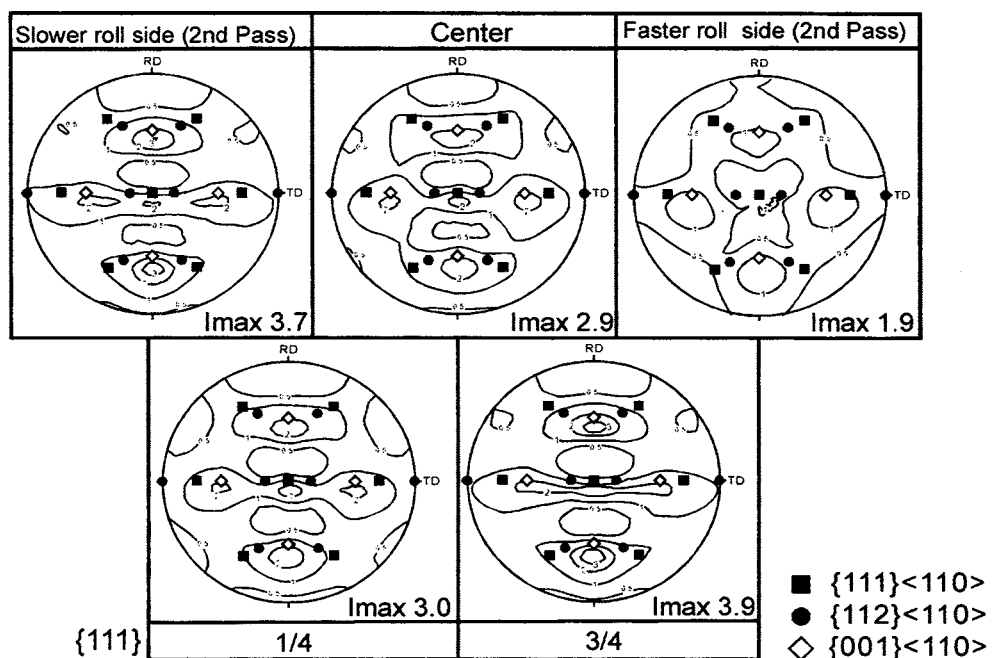


図 6 2 パス往復せん断圧延材の板厚方向集合組織変化

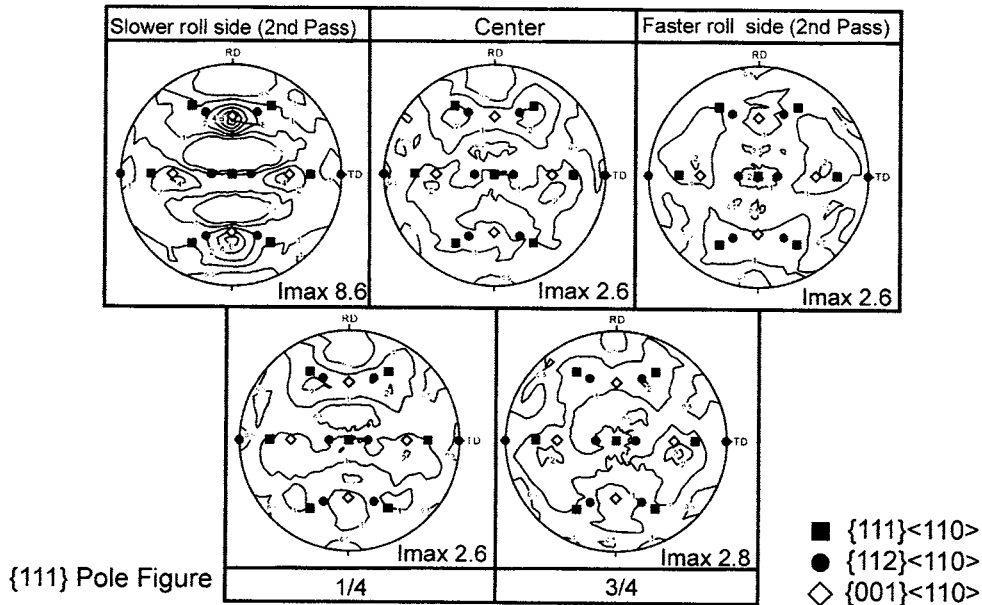


図7 往復せん断圧延焼鈍材の板厚方向集合組織変化

表1 一方向せん断圧延板および往復圧延板の焼鈍材のr値

	unidirectional		reverse	
	RH	SH	RH	SH
0°	0.608	0.545	0.843	0.550
45°	0.660	0.799	0.883	0.826
90°	0.422	0.433	0.671	0.561
r	0.588	0.644	0.820	0.691
Δr	-0.145	-0.310	-0.126	-0.271

RH：急熱焼鈍 SH：徐加熱焼鈍

組織の形成を支配すると考えられる。図6は、2パス往復せん断圧延材の集合組織の板厚方向変化である。一方向せん断圧延材とほぼ同様の集合組織を示していることがわかる。2パス異周速圧延において、2パス目の圧延方向は加工集合組織にほとんど影響を及ぼさないことが明らかになった。図7は、一方向せん断圧延材を360℃で30min焼鈍し、完全に再結晶させた後の板厚方向集合組織変化である。圧延材と同様に、板厚方向に大きな集合組織の変化は見られない。極の集積の最大強度は、低速ロール側表面を除いて圧延材に比べて低下しており、集合組織がランダムに近づいていることがわかる。しかしその方位成分は、せん断集合組織と同じであり、再結晶によって新たな方位の集積が現れることはなく、加工方位が残存しているのが特徴である。通常の圧延焼鈍材では、圧延材にはほとんど存在しない{001}<100>方位(Cube 方位)が再結晶により形

成されるが、せん断集合組織を持つ板を焼鈍すると、加工方位を保ったまま再結晶することが明らかになった。

### 3.3 r 値

焼鈍材のr値を表1に示す。表中、RH(急熱焼鈍)は、360℃の電気炉に試料を装入して30min保持したもの、SH(徐加熱焼鈍)は25℃/hourで360℃まで昇温し30min保持したものである。往復せん断圧延後急熱焼鈍した板のr値が0.82と最も高く、Δrは-0.13と最も低い値を示した。r値は市販の1050板のr値より高く、異周速圧延による集合組織制御が、アルミニウム板の成形性向上の有力な手段であることが明らかになった。しかし、せん断集合組織の方位成分の一つである{001}<110>に代表される<001>/ND方位がr値を下げるため、全体としては顕著な改善が見られない。今後は、<111>/ND方位の集積度をあげ、<001>/ND方位を減少させることを目指して、種々の観点からプロセスを検討する必要がある。

## 4. 結言

異周速圧延機を用いて、A1050板の圧延を行い板厚方向全体にせん断ひずみを導入し、集合組織制御を試みた。得られた結果は以下のとおりである。

- 1) 圧下率50%の異周速圧延において、異速比1.6以上で板厚方向全体にわたって一方向のせん断ひずみが導入可能となった。
- 2) 2パス異周速圧延で、板厚方向全体に大きなせん断ひずみが導入できた。
- 3) 2パス異周速圧延板の集合組織には、板厚方向全体に

わたって{111}<110>, {112}<110>および{001}<100>方位近傍への集積が見られた。

- 4) r 値は 0.82,  $\Delta r$  は -0.13 といずれも市販材より優れた値が得られた。

### 謝辞

本研究の実施に当たり, 財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成を受けたことを記し, 関係各位に感謝の意を表わします。また, 実験に協力された大学院生の米田和洋君(現・(株)リコー)にも感謝いたします。

### 参考文献

- [1] P.H.Lequeu and J.J.Jonas: Metall. Trans., A, 19A(1988), p.105
- [2] T.Sakai, S.H.Lee, K.Yoneda, S.Hamada and Y.Saito: Proc. 1st Joint Int. Conf. on Recrystallization and Grain Growth, 2001 Aachen, p.1255
- [3] D.H.Choi, K.H.Kim and D.N.Lee: Materials Science Forum, 273-275(1998), p.273
- [4] T.Sakai, S.Hamada and Y.Saito: Proc. ICAA-6, 1998 Toyohashi, p.1161
- [5] T.Sakai, H.Inagaki and Y.Saito: Proc. ICOTOM-12, 1999 Montreal, p.1142
- [6] T.Sakai, S.Hamada and Y.Saito: Scripta Mater. 44(2001), p.2569
- [7] T.Sakai, Y.Saito, K.Hirano and K.Kato: Trans. ISIJ, 28(1988), 1028