



T. Sakai

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

左海 哲夫*

1. はじめに

省エネルギー、排出 CO₂ 抑制という地球環境保護の要請に応えるために、自動車をはじめとする輸送機器の軽量化は社会的な急務である。自動車車体の軽量化には、広範囲にわたるアルミニウム合金の採用が有力な手段であるが、いまだに一般的に使用されるには至っていない。その理由の一つに、アルミニウム板のプレス成形性が鋼板に比べて劣るということが挙げられる。一般に板材のプレス成形性は r 値で評価され、 r 値が高いほどプレス成形性が良好である。ここで、 r 値とは板材の引張試験を行った時の板幅ひずみと板厚ひずみの比であり、理想的な等方性材料では r 値は 1 になる。 r 値は板材の集合組織と密接な関係があり、立方晶では $\langle 111 \rangle$ 軸が板面法線 (ND) 方向と平行になる、すなわち $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ 方位が発達すると r 値が高くなること、および $\langle 001 \rangle // \text{ND}$ 方位は r 値を低下させることが知られている。アルミニウム合金をはじめとする多くの FCC 金属では、通常の圧延焼鈍プロセスにより主として $\{001\} \langle 100 \rangle$ (cube 方位) や $\{123\} \langle 634 \rangle$ に近い R 方位が発達し、 r 値を向上させる $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ 方位が形成されないことが、軟鋼板に比べてアルミニウム合金板がプレス成形性に劣る主な原因である。ところで、アルミニウムのような FCC 金属では、せん断変形による変形集合組織として $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ および $\langle 100 \rangle // \text{ND}$ が発達する。 $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ は焼鈍後も集積度は下がるものの残存し、 $\langle 100 \rangle // \text{ND}$ は焼鈍により $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ に近い方位に変わるとされている¹⁾。したがって、アルミニウム薄板の板厚方向の広い範囲にわたってせん断変形を導入することができると、 $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ 方位が発達するためプレス成形性が向上し、より一層の用途の拡大が期待される。このような観点から、温間圧延²⁾、溶湯直接圧延³⁾などの高摩擦圧延、片ロール駆動圧延^{4~6)}、異径ロール圧延⁷⁾、異周速圧延、異摩擦圧延⁸⁾などの非対称圧延によりアルミニウムの圧延時に積極的にせん断変形を導入し、 $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ またはその近傍の方位を発達させる試みが行われている。本稿では、著者らが行った異周速圧延による組織制御^{9,10)}について紹介する。

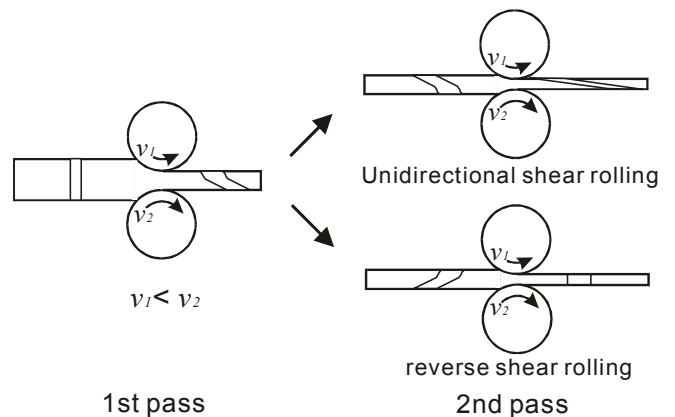


図 1 2 種類の 2 パス異周速圧延（一方向せん断圧延および往復せん断圧延）の概念図

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、他方を 4m/min とし、異速比を 2 に設定した。1 パスあたりの圧下率を 50% とした 2 パス異周速圧延を行い総圧下率を 75% とした。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¹¹⁾。圧延前に試料およびロール表面をエタノールにより脱脂し、無潤滑圧延を行った。

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板厚方向に一樣に導入するため、2 種類の 2 パス異周速圧延を行った。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 2 パス目に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) と呼ぶこととする。

* 大阪大学先端科学イノベーションセンター 客員教授

2.3 供試材

A1050 および A5182 アルミニウム合金の焼鈍板材を試料とした。寸法はいずれも厚さ 3mm, 幅 30mm とした。圧延材はいずれも 360℃で 1.8ks 焼鈍し組織観察と引張試験を行った。集合組織は Cu-K α 線により Schulz の反射法及び透過法を用い完全極点図を作成して評価した。

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 は, A1050 板材の 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, 板厚方向に様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 3 は, 図 2 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, これはここに示されたのが圧延後の変形から求めた見掛けのせん断ひずみであり, 変形履歴を反映していないため, 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

A1050 の 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 4 に示す。集合組織の測

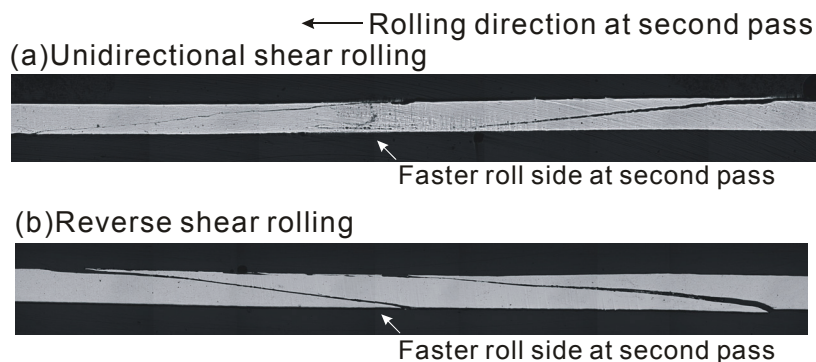


図 2 2 パス異周速圧延により板内部に生じる変形(A1050)

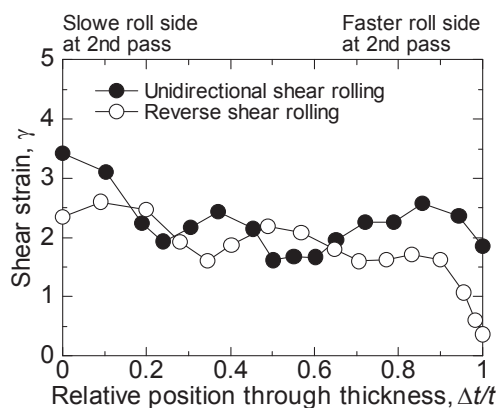


図 3 2 パス異周速圧延板の板厚方向せん断ひずみ分布(A1050)

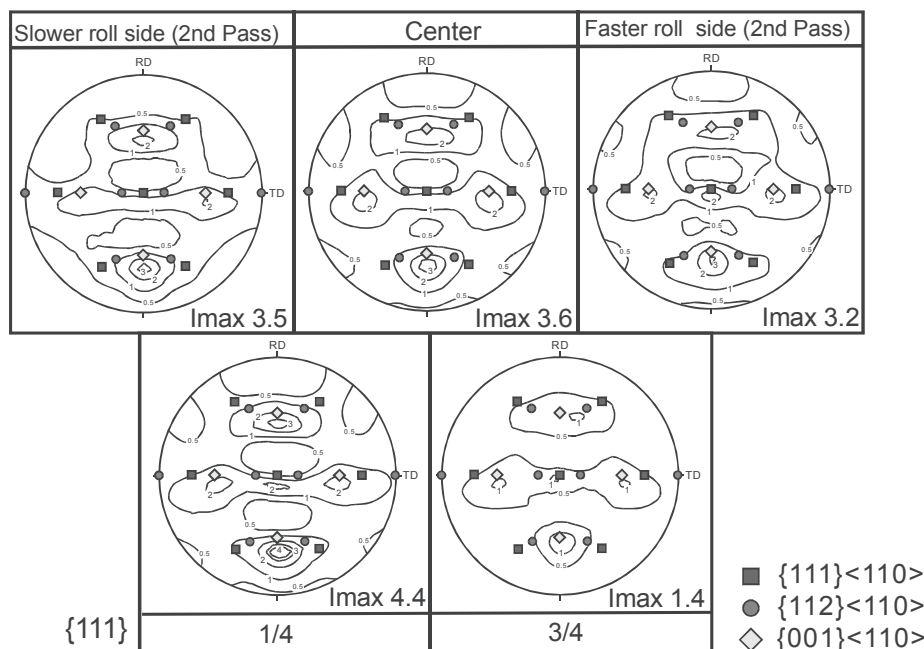


図 4 2 パス一方向せん断圧延材の板厚方向集合組織変化(A1050)

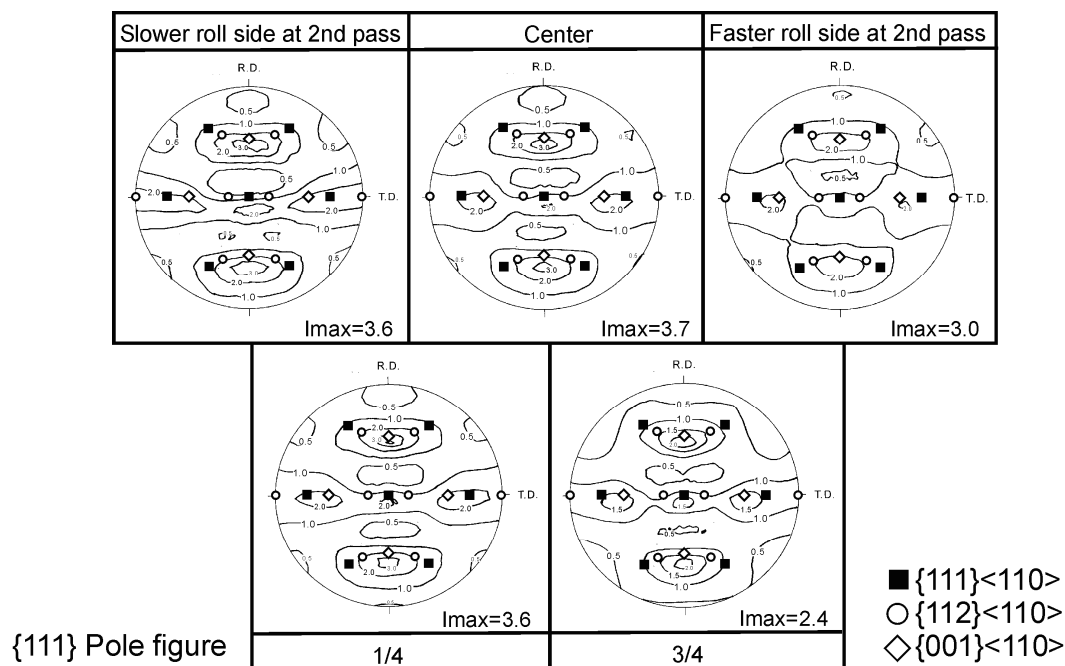


図 5 2 パス一方向せん断圧延材の板厚方向集合組織変化(A5182)

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% の圧下がかけてられており、約 1.4 の圧縮ひずみが生じているにもかかわらず、{112}<111>、{123}<634>、{110}<112>などの方位で表わされる通常の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 種の変形が同時に生じる場合、せん断変形が集合組織の形成を支配すると考えられる。図 5 は、A5182 板材の 2 パス異周速圧延後の集合組織の板厚方向変化である。A1050 と同様

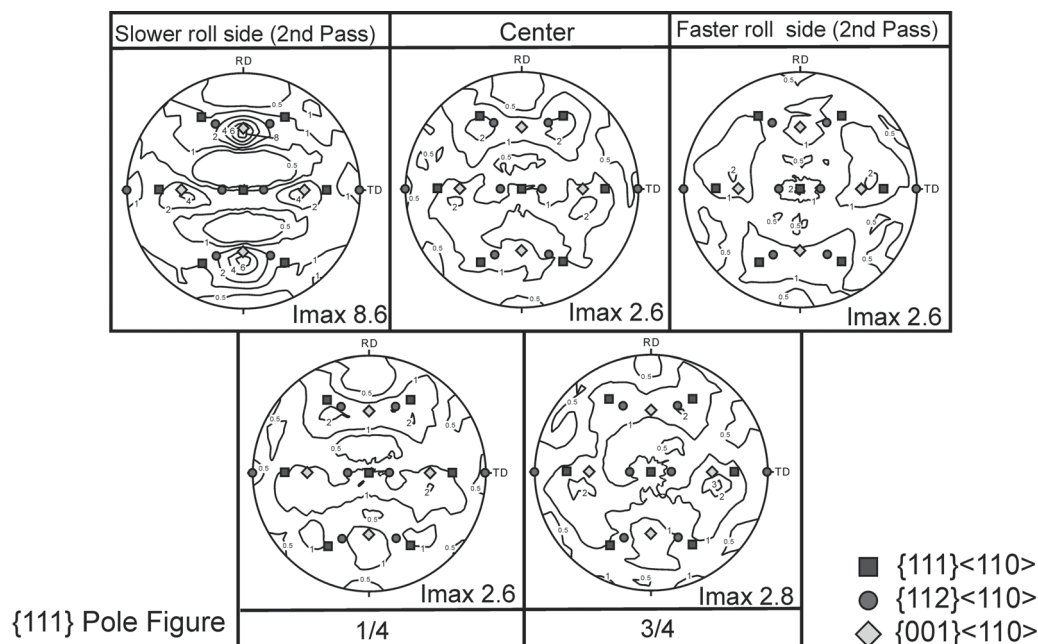
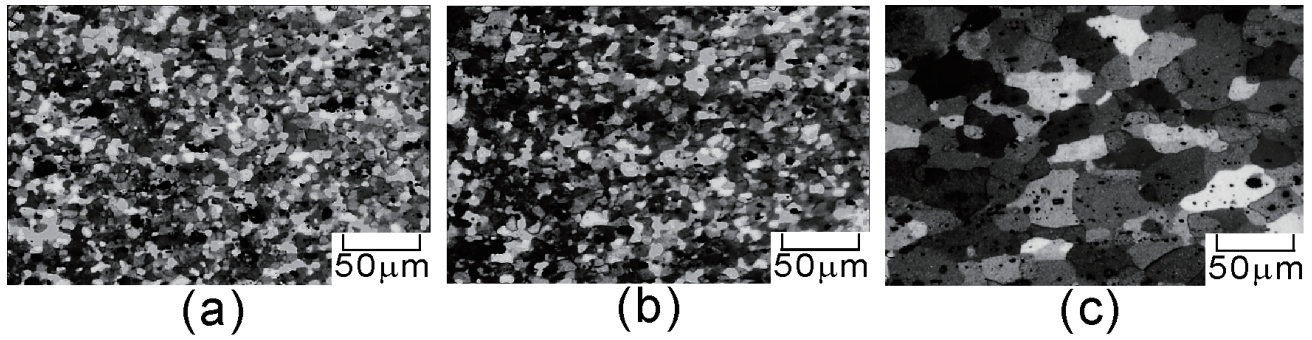


図 6 往復せん断圧延焼鈍材の板厚方向集合組織変化(A1050)



(a)一方向せん断圧延

(b)往復せん断圧延

(c)通常(対称)圧延

図 7 再結晶粒径に及ぼす圧延方法の影響(A5182)

にせん断集合組織が板厚方向全体にわたって発達している。また、A1050 に比べて{112}<110>方位への集積が強く、合金成分により若干の優先方位の差が生じることが分かる。なお、2 パス往復せん断圧延材の集合組織の板厚方向変化は、一方向せん断圧延材とほぼ同様であった。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 6 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。一方向せん断圧延材の焼鈍後の集合組織もほぼ同様の方位を示した。また、A5182 材の焼鈍材の集合組織も、A1050 に比べて集積度が低くなる傾向が見られたが、せん断集合組織成分が残存し定性的には A1050 と同様の挙動を示した。

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

3.3 r 値

A1050 の焼鈍材の 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。また、A5182 の一方向せん断圧延材および往復せん断圧延材の焼鈍後の r 値は、それぞれ 0.87 と 0.84 であった。ここで得られた r 値は必ずしも満足のゆくものではないが、通常圧延材の r 値(0.6~0.7)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>//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。

3.4 再結晶粒径

異周速圧延は有力な集合組織制御手段であるが、同時に結晶粒微細化の有力な手法でもある。異周速圧延では材料に圧下ひずみに重畳してせん断ひずみがかかるため、同じ圧下率の場合通常圧延に比べて相当ひずみが大きくなり、焼鈍後の結晶粒微細化が促進される。図 7 はその例を示したもので、A5182 合金の総圧下率 75%の通常圧延材と 2 パス異周速圧延材に、360℃で 30 分の焼鈍を行った後の組織を比較したものである。通常圧延材の平均結晶粒径が 17 μm であるのに対し、往復せん断圧延材で 6 μm 、一方向せん断圧延材で 4 μm と、異周速圧延による微細化効果が明瞭にあらわれている。

4. 結言

異周速圧延機を用いて、A1050 板および A5182 板の 2 パス異周速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) 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。

- 2) 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ほぼ一様に{111}<110>、{112}<110>および{001}<100>方位近傍への集積が見られた。せん断集合組織は合金成分の影響をわずかに受けた。
- 3) A1050のr値は0.82, Δrは-0.13, A5182のr値は0.84~0.87といずれも通常圧延材より優れた値が得られた。
- 4) 異周速圧延焼鈍材の結晶粒径は、通常圧延焼鈍材に比べて微細となり、異周速圧延が結晶粒微細化の手段としても有効であることが明かになった。

謝辞

本研究の一部の実施に当たり、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。

参考文献

- 1) 上城太一，関根和喜，松川 靖，野口延夫：日本金属学会誌，36(1972), 669.
- 2) T.Kamijo and H.Fukutomi: Proc. 16th Riso Int. Sympo. on Mater. Sci., (1995), 377.
- 3) 永井裕一，辻 伸康，左海哲夫，齋藤好弘：日本金属学会誌，60(1996),708.
- 4) 胡 建国，池田圭介，村上 紘：日本金属学会誌，60(1996),1130.
- 5) T.Sakai, S.Hamada and Y.Saito: Scripta Mater. , 42 (2000), 1139.
- 6) T.Sakai, H.Inagaki and Y.Saito: Proc. 12th Int. Conf. Textures of Materials (ICOTOM-12), Montreal, NRC-CNRC (1999),1142.
- 7) C.H.Choi, K.H.Kim and D.N.Lee: Materials Science Forum, 273-275(1998), 391.
- 8) H.Utsunomiya, T.Ueno and T.Sakai: Scirpta Mater., 57(2007), 1109.
- 9) T.Sakai, K.Yoneda and Y.Saito: Materials Science Forum, 396-402(202), 309.
- 10) T.Sakai, K.Yoneda and S.Ohsugi: Materials Science Forum, 495-497(2005), 597.
- 11) T.Sakai, Y.Saito, K.Hirano and K.Kato: Trans. ISIJ, 28(1988), 1028