

高せん断ひずみ圧延による高成形性 アルミニウム合金板の開発

左海哲夫*

1. はじめに

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ており, 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う欠点がある. このため, 自動車ボディ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. 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, 成分の特殊化につながり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一般的な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, 材料加工分野の技術者の大きな目標である.

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る. 一般に, 立方晶では板を構成する多くの結晶粒のうち, $\{111\}$ 面を板面に平行とする結晶粒の割合が多いほど, r 値が高くなりプレス成形性が向上するとされている. (これ以降板の圧延方向を RD, 板幅方向を TD, 板面に垂直な方向を ND と表す. $\{111\}$ 面が板面に平行ということは $\langle 111 \rangle$ 方向が板面に垂直ということと同じなので, このような結晶粒の配列を $\langle 111 \rangle$ //ND と表す.) 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 $\langle 110 \rangle$ //ND, および $\langle 001 \rangle$ //ND 方位が発達することが多く, プレス成形性に有利な $\langle 111 \rangle$ //ND 方位を発達させることは不可能である. ところで, 面心立方金属板にせん断変形を導入すると, $\langle 111 \rangle$ //ND 方位が発達することはよく知られていた. 従来の圧延法

でも, ロールと圧延材間の摩擦係数が高ければ, 板表面付近にせん断変形が導入され, その部分に $\langle 111 \rangle$ //ND 方位が形成される^{1)~4)}. しかし板厚中心部には通常の圧延集合組織が発達するので, 表面付近の $\langle 111 \rangle$ //ND 方位のみでは, r 値を向上させることは出来なかった. しかし, 圧延方法を工夫することにより, $\langle 111 \rangle$ //ND 集合組織を板厚全体にわたって発達させることができれば, アルミニウム板のプレス成形性を向上させることができ, 一層のアルミニウム板の用途拡大, 省資源省エネルギーへの貢献が可能である.

板厚方向の広い範囲にせん断ひずみを導入するためには, 異径, 異周速などの非対称圧延が有力な手段になると考えられる^{5), 6)}. 本研究は, 上下ロールの内の片方を駆動し, 他方を従動させることにより, 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では得られなかった, プレス成形性に有利な集合組織を発達させたアルミニウム合金板を製造することを目的として行った. この手法は, これまで主として成分調整や熱処理により行われてきた集合組織制御を, 塑性加工プロセスを工夫することにより行おうとするものであり, 材料組織制御手段としての塑性加工の可能性を広げるものであるといえる.

2. 実験方法

2.1 片ロール駆動圧延

2パス片ロール駆動圧延の概念図を図1に示す. 片ロール駆動圧延は通常的小型実験圧延機(ロール径 70mm)を用いて行った. 一方のロールと駆動軸とを結ぶジョイントを取り外し, 自由に回転できるようにしておき, もう一方のロールのみを駆動する. 1パスの片ロール駆動圧延で板の駆動ロール側には大きなせん断ひずみが導入され, 従動ロール側には比較的小さなせん断ひずみが生じる. 第2パスでは, 図に示すように1パス目に従動ロール側であった表面を駆動ロール側とし, 一方向にせん断ひずみが導入されるように圧延する. この方法で, 2パス圧延後には, 板厚方向全体にわたってほぼ様な一方向

のせん断ひずみが導入されることになる。この圧延を以後片ロール駆動一方向せん断圧延と呼ぶ。

2.2 実験条件

供試材として、厚さ 3mm 幅 30mm の A5052 板材を用いた。試料は 560°C で 25min 均質化した後圧延に供した。圧延温度は 260°C とし 2 パス片ロール駆動圧延を行った。1 パスあたりの圧下率は 50% とした。したがって全圧下率は 75% となる。比較のために同一パススケジュールでの通常(対称)圧延も行った。ロールと材料との摩擦を大きくするために、圧延前にロール表面にエタノールと混合したアルミナ粉を塗布した。圧延後の試料は 310°C から 460°C の範囲で 30min 焼鈍した。板厚方向のせん断ひずみ分布は、圧延前に圧延面に垂直に埋め込んだ A5052 丸棒の変形を、圧延後測定することにより求めた⁷⁾。Schulz の反射法および透過法により圧延材および焼鈍材の {111} 完全極点図を板厚方向の 5 ヶ所で測定した。r 値は圧延方向から 0°, 45°, 90° に試料を採取して引張試験により求めた。

3. 実験結果

3.1 板厚方向のせん断ひずみ分布

片ロール駆動一方向せん断圧延による埋め込まれた丸棒の変形を図 2(a) に、同一の摩擦条件で行った通常(対称)圧延による変形を図 2(b) に示す。図中の細い線が丸棒と板材の境界である。片ロール駆動一方向せん断圧延により丸棒が一方方向に傾いており、その傾きは表面に近いほど大きい。この図から、一方向のせん断ひずみが板厚全体にわたって導入

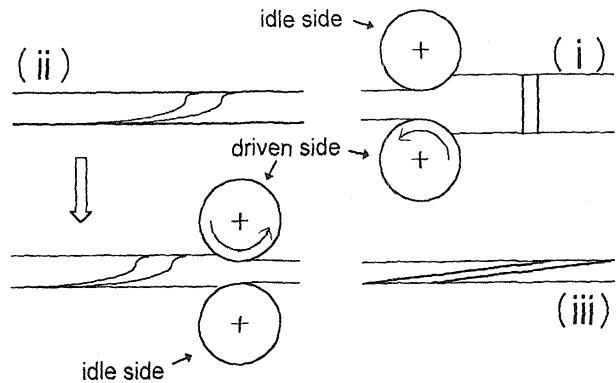


図 1 片ロール駆動圧延による一方向せん断圧延の概念図

されていることがわかる。通常圧延では、摩擦係数が高いため、板表面付近では大きなせん断変形が生じているが、板厚中心ではほとんどせん断変形は導入されない。通常圧延では板の上表面と下表面ではせん断ひずみの符号が異なるので、板厚中心では必ずせん断ひずみが 0 になるところがあり、その付近ではせん断ひずみが小さくなる。

図 3 に丸棒の変形より求めた板厚方向のせん断ひずみ分布を示す。(a) は一方向せん断圧延、(b) は通常圧延である。一方向せん断圧延、通常圧延ともロールとの摩擦係数が高いため、丸棒の変形からも予想されるように、板表面付近でせん断ひずみが大きくなっている。一方向せん断圧延では、板厚中心部

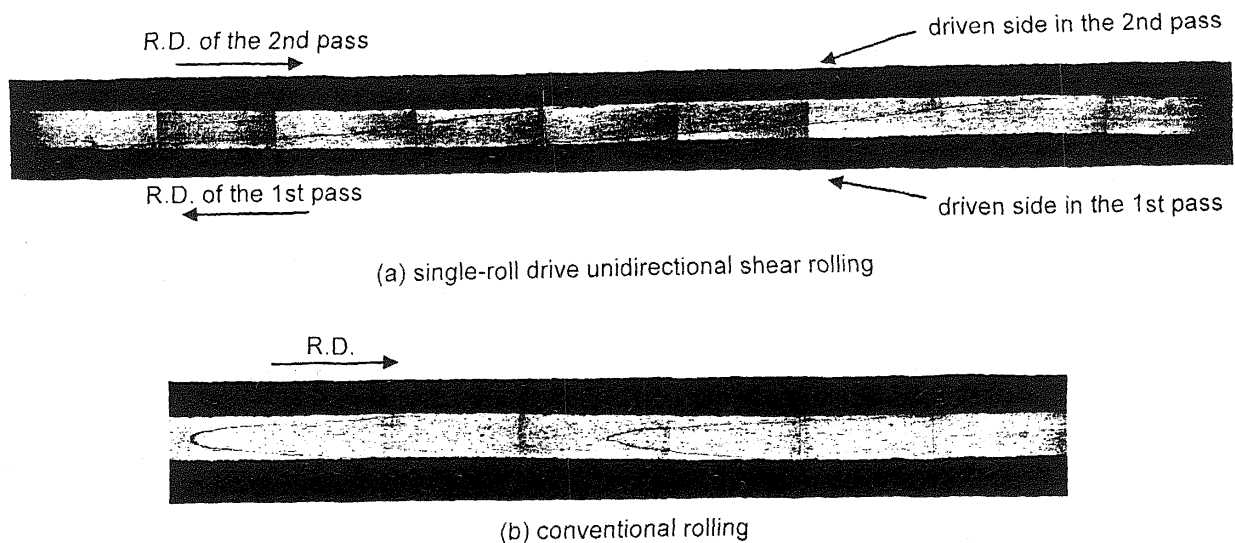


図 2 埋め込まれた丸棒の圧延による変形 (a)片ロール駆動一方向せん断圧延 (b)通常圧延

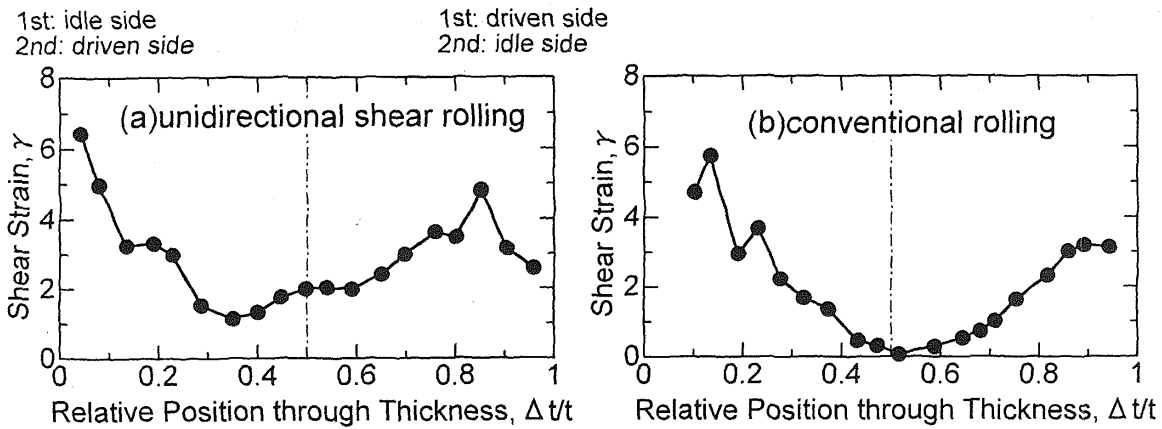


図3 圧延板の板厚方向せん断ひずみ分布 (a)片ロール駆動一方向せん断圧延 (b)通常圧延

付近でも1以上のせん断ひずみが生じており、この方法で板厚方向全体にわたって大きなせん断ひずみが導入できることが明らかになった。通常圧延で

は、表面付近では一方向せん断圧延とほぼ同じせん断ひずみを生じているが、板厚中心部では先にも述べたようにせん断ひずみは0となっている。なお、

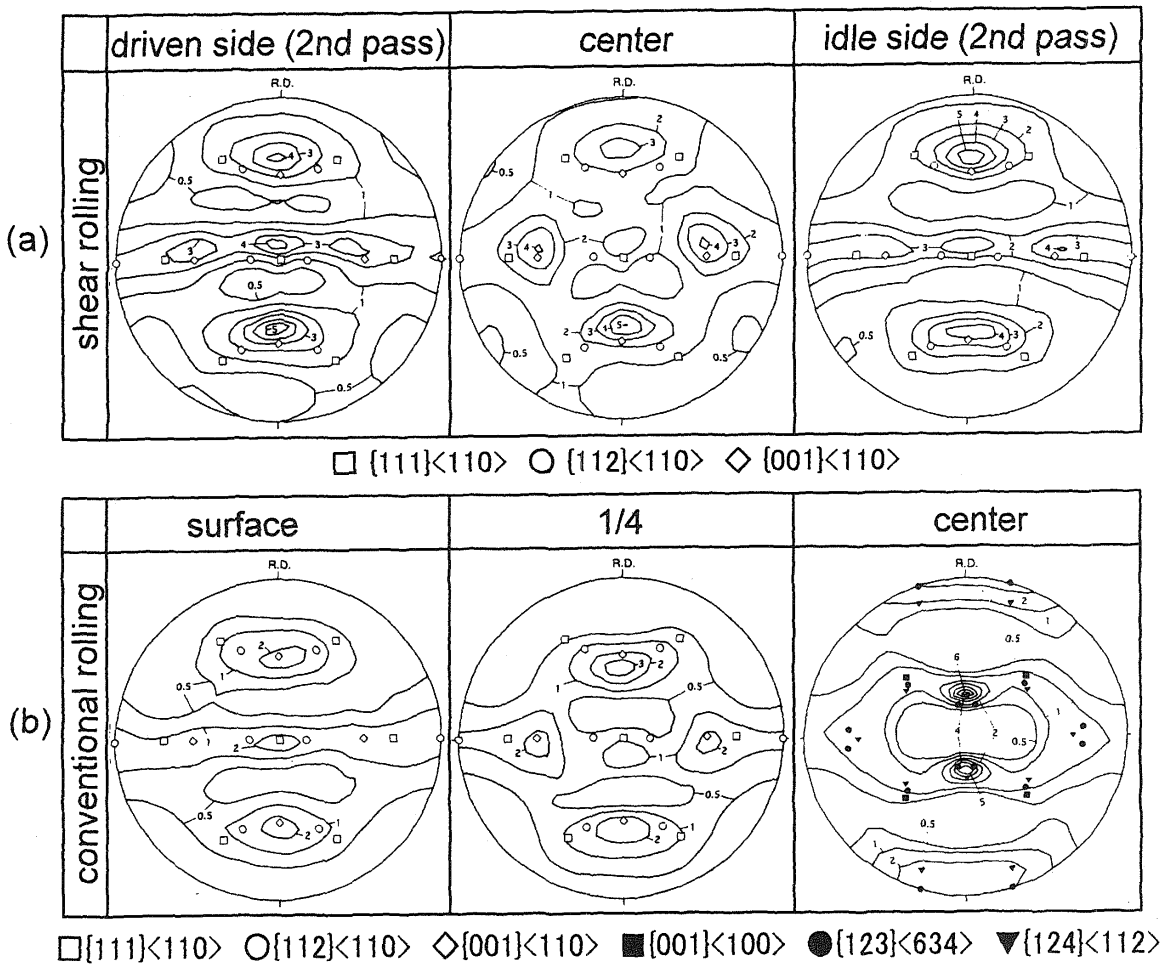


図4 圧延板の{111}極点図の板厚方向変化 (a)片ロール駆動一方向せん断圧延 (b)通常圧延

この図ではせん断ひずみの符号は考慮せず、絶対値を示してある。

3.2 板厚方向の集合組織変化

図4(a)に、一方向せん断圧延板の{111}極点図の板厚方向変化を示す。駆動ロール側表面から従動ロール側表面にいたるまで、板厚全体にわたって FCC 金属のせん断集合組織成分である{111}<110>、{001}<110>、{112}<110>方位付近に強い集積を示している。極の集積する位置は、これらの理想方位の位置から約 10° TD 方向に傾いているのが特徴である。これは、圧延が非対称であるために中立点がロール接触弧上に無いか、あったとしても入口または出口付近にあることが原因と思われる。また、板厚中心部ではせん断集合組織成分のうち{001}<110>が他の成分に比べて強くなっているのが分かる。板厚方向のいずれの位置でも通常の圧延集合組織成分は存在していない。すなわち、せん断集合組織成分の相対的な強度の変化はあるものの、片ロール駆動圧延による一方向せん断圧延により、板厚方向全体にわたりせん断集合組織を持つ板が作成できることが明らかになった。

図4(b)は、通常圧延板の{111}極点図の板厚方向変化である。通常圧延では板厚方向の組織変化は板厚中心に関して対称になるので、板厚の半分について示してある。板表面および表面より 1/4 の位置では、図2からも分かるようにせん断ひずみが大きく、それに対応して、一方向せん断圧延板と類似のせん断集合組織が発達している。ただし、通常圧延では中立点が接触弧の midpoint 付近から著しくずれることはないため、極の集積位置の理想方位からの TD 軸まわりの回転は、一方向せん断圧延に比べて小さくなっている。また、表面より 1/4 では一方向せん断圧延板の板厚中心部と同様に、{001}<110>方位の強度が相対的に高くなっている。このことから、{001}<110>の相対強度はせん断ひずみが小さい方が高くなると考えられる。板厚中心部では、せん断変形がほとんど生じていなかったことに対応して、せん断集合組織は現れず、{123}<634>、{124}<112>を中心とした、典型的な FCC 金属の圧延集合組織となっている。

これらの集合組織は、再結晶後は集積度は低くなるものの板厚全体にわたってせん断集合組織成分を残した集合組織となっていた。通常圧延板でも、表面および表面より 1/4 の位置では、一方向せん断圧延板と類似の方位を示していたが、板厚中心部で

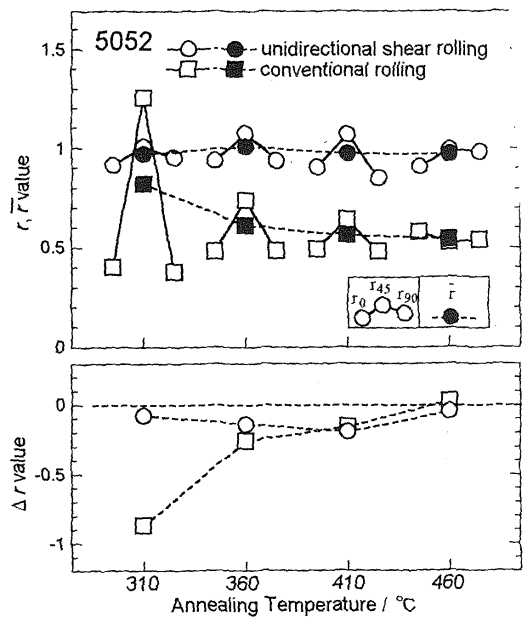


図5 焼鈍板の r 値および Δr 値に及ぼす圧延方法の影響

は典型的な FCC 金属の再結晶集合組織である立方体方位が現れていた。すなわち、一方向せん断圧延板の焼鈍材は、板厚全体にわたってランダムに近い弱い優先方位をもっており、その方位はせん断集合組織成分を受け継いでいた。通常圧延板は、表面層は一方向せん断圧延板と同様の、せん断集合組織成分を中心とする弱い集合組織であったが、板厚中心部は立方体方位が中心となっており、層状の集合組織分布を持つ板となった。

3.3 焼鈍材の r 値

焼鈍材の r 値および Δr 値に及ぼす圧延方法および焼鈍温度の影響を図5に示す。一方向せん断圧延焼鈍板の r 値は、焼鈍温度によらずほぼ 1 と通常圧延焼鈍板に比べて高く、板厚方向に一樣に導入されたせん断変形が r 値の向上に寄与していることがわかる。また、面内異方性を表す Δr も小さく、この圧延方法がアルミニウム合金板の成形性向上に有効であることを示している。

4. 今後の展望

せん断変形の利用によるアルミニウム板の成形性向上の試みは、まだ緒についたばかりである。大きなせん断変形をいかに板厚中心部にまで導入するか、変形集合組織を保った、あるいはそれと類似

の再結晶集合組織をどのような方法で発達させるか、高摩擦の圧延をいかに安定に行うかなど、種々の解決すべき課題がある。また、非対称圧延法では片ロール駆動ばかりではなく、異速比を制御することのできる上下ロール独立駆動型の圧延機の採用も考慮すべきであろう。本研究は集合組織制御による材料特性向上の問題として興味深いものである。これまでの集合組織制御の研究は、圧延により形成される集合組織の量的な制御を目指すものが中心であったが、これからは、目的とする集合組織を“創り出す”ための新しいプロセス開発に目を向けるべきであると考えられる。

5. 結言

- 1) 2パス片ロール駆動圧延による全圧下率75%の一方せん断圧延を行った板には、板厚方向全体にわたって1以上のせん断ひずみが導入された。
- 2) 一方せん断圧延板には、板厚方向全体にわたってせん断集合組織が発達した。再結晶後は、弱いせん断集合組織成分を残すものの、ほぼランダムな集合組織となり、立方体方位は形成されなかった。
- 3) 一方せん断圧延焼鈍板は、 r 値が1、 Δr が-0.14と通常の圧延焼鈍板より優れた値が得られた。

謝 辞

本研究の実施にあ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賜りました事にここに記し、関係各位に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上城太一, 関根和喜, 久芳征一郎, 竹内敏郎: 日本金属学会誌, **36**(1972),33
- 2) W.Truszkowski, J.Krol and B.Major: Metal. Trans., **A11**(1980), 749
- 3) T. Sakai, Y. Saito and K. Kato: Trans. ISIJ., **27**(1987),520
- 4) 斎藤好弘, 濱田修一, 左海哲夫: 平8 春塑加講論, (1996),64
- 5) 胡 建国, 池田圭介, 村上 紘: 日本金属学会誌, **60**(1996),1130
- 6) 斎藤好弘, 濱田修一, 左海哲夫: 48 回塑加連講論, (1997),569
- 7) 斎藤好弘, 左海哲夫, 前田 太, 加藤健三: 鉄と鋼, **72**(1986),799