

平成 21 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560717
 研究課題名 (和文) 双ロールキャストによる自動車アルミニウムボディー材の革新的リサイクル
 研究課題名 (英文) Innovative recycle of body sheet for a automobile by a twin roll caster
 研究代表者
 羽賀 俊雄 (HAGA TOSHIO)
 大阪工業大学・工学部・教授
 研究者番号：00212134

研究成果の概要：従来型のアルミニウム用双ロールキャストと比較して 2 倍以上の冷却速度と 5 倍以上の生産性を有する高速双ロールキャストを確立し、このプロセスが自動車ボディーシート用アルミニウム合金板のリサイクルにおける不純物の無害化に有効であることを示した。ロール径は 300 mm の実験室サイズのものから 1500 mm の生産機サイズのものまで実験に使用した。Fe 量が 0.4% の増加、つまり 2 回のリサイクルにおいてもヘム加工性において不純物を無害化できることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2006 年度 | 1,900,000 | 0 | 1,900,000 |
| 2007 年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2008 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 480,000 | 3,980,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属生産工学

キーワード：リサイクル，不純物の無害化

1. 研究開始当初の背景

CO₂ の削減には自動車の燃費向上が必須であった。そのためには自動車の軽量化が有効であるとされていた。軽量化の方法としてはアルミニウム合金が実用的である。アルミニウム合金化が進んだとき、循環型社会の実現よりリサイクルが必要になる。機械的性質を満足するためには、自動車用のボディーシート用のアルミニウム合金の許容 Fe 量は 0.2% 以下である。1 回のリサイクルで約 0.2% の Fe が増加すると試算されており、リサイクル材はボディーシート材として使用できない

ことになる。リサイクルの手段としては、不純物の Fe を排除して Fe 量を減らすか、Fe 量が増加した状態で機械的性質を満足する、つまり無害化のどちらかである。経済的視点からは、無害化以外に選択の余地はなかった。無害化の手段としては急冷凝固による Fe を含む金属間化合物の微細化があった。板を製作しつつ金属間化合物が微細化できる方法が模索されていた。双ロールキャストが有効であると考えられたが、従来型のアルミニウム合金用双ロールキャストの冷却速度と生産性は社会的要求を満足するものでは

なかった。また、より安価なアルミニウム合金、つまり汎用合金を自動車のボディーシート材として使用する技術が熱望されていた。

2. 研究の目的

研究の背景でも示したように、双ロールキャスターによりリサイクル合金中の不純物の無害化を実現すること、リサイクルに適した合金の調査、汎用アルミニウム合金のボディーシート材への適用の可能性を明らかにすることが本研究の目的であった。不純物の無害化はボディーシート材以外にも役立つので特に重要である。そのためには、高冷却能を有する双ロールキャスターの開発が必須である。これらの研究成果を踏まえてリサイクルを前提とした自動車用ボディーシート材に適したアルミニウム合金を提案した。

3. 研究の方法

冷却速度とロール周速（生産性）が向上した双ロールキャスターを用いて、Fe 量の上限を明らかにした。ボディーシート材として使用の可否はヘム加工性、つまり曲げ性で判断される。

(1) 高冷却能双ロールキャスターの開発

リサイクル材の延性、つまりヘム加工性が低下する理由に AlSiFe 系の金属間化合物の晶出があるとされている。AlSiFe 系の金属間化合物のサイズが小さいほどヘム加工性の劣化を抑えることができる。AlSiFe 系の金属間化合物を微細化する手段は急冷凝固である。冷却速度が高い双ロールキャスターの開発がリサイクル材の機械的性質の低下を防ぐこと、つまり不純物の無害化のためには必要である

(2) 急冷凝固による汎用合金の性能向上

自動車用のボディーシート材としては、6016 や 6022 などの Fe の量を 0.2% 以下に制限した 6000 系のアルミニウム合金が使用されている。これが、ボディーシート材が高価な理由である。Fe を 0.2% 以上含む汎用材の 6063 や 6061 合金の板をロールキャスターで作製することで AlSiFe 系の金属間化合物を無害化し、ボディーシート材として使用できるか、可能性を調査した。

(3) リサイクルに適したボディーシート材

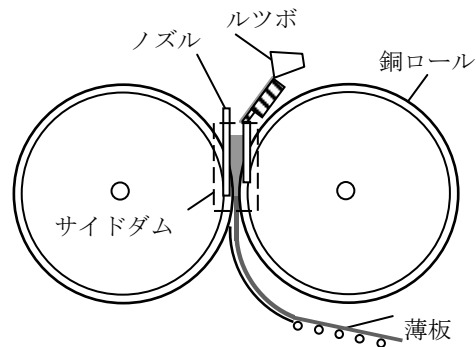
以上の結果を基にして安価なボディーシート材を作製プロセスを含めて提案した。

4. 研究成果

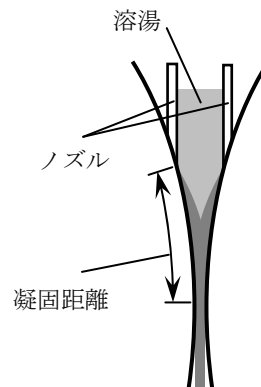
(1) 高速双ロールキャスター

本研究で試作した縦型の高速双ロールキャスターを図 1 にしめす。高冷却能と高速化を目的とした。高冷却能は AlSiFe 系の金属間化合物の微細化のために、また高速化は生産性の向上による低コスト化のために必

要である。ロールは、実用化を考慮し直径 1500 mm とした。ロール周速は、最高 120m/min である。これは熱間圧延機と速度と同じである。



(a) 双ロールキャスターの概略図



(b) ロール間隙の概略図



(c) 薄板の casting 風景 (60m/min)

図1 ロール径 1500 mm 双ロールキャストの概略と薄板の铸造風景

表1 従来のアルミニウム合金用双ロールキャストと本研究の双ロールキャストの比較

| 項目 | 従来型 | 本研究 |
|-------|-----------|-------------------|
| 型式 | 横型 | 縦型 |
| ロール材質 | SKD61(例) | 銅 |
| 離型剤 | 使用 | 使用しない |
| 注湯温度 | 一般的な注湯温度 | 低温铸造 半凝固铸造 |
| 凝固距離 | 100 mm未満 | 150~200 mm |
| ロール周速 | 1~6 m/min | 30~ 120 m/min |
| 冷却速度 | 700°C/s | 1000 ~3000°C/s |

本研究で試作した双ロールキャストにより図1に示すように薄板を铸造することが可能であった。表1には従来のアルミニウム合金用の双ロールキャストとの比較をしめす。ロール材質、離型剤を使用しないこと、注湯温度、溶湯ヘッド圧を利用することで、従来型と比較して冷却速度とロール周速を向上することができた。

(2) 6016 合金のリサイクル

6000 系ボディシート材として一般的である 6016 合金を使用して、不純物の無害化について調査した。バージン材の Fe 量は、0.16%、リサイクル材の Fe 量は 0.45%とした。これは1回のリサイクルで約 0.2%の Fe 量が増加すると推測されているからである。

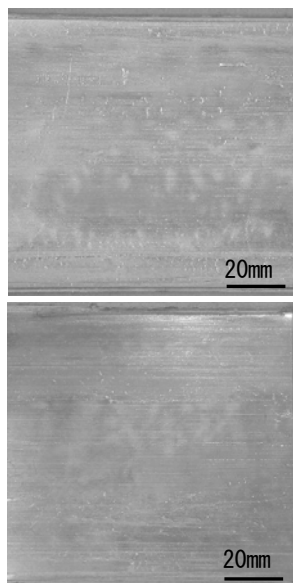


図2 铸造まま材の表面状態

バージン材とリサイクル材においてロールキャスト性には相違は見られなかった。図2に铸造まま材の表面状態を示す。表面状態

にも差異は無かった。バージン材とリサイクル材の両者とも均質化せずに冷間圧延で厚さ 1mm まで割れずに薄くすることができた。図3に冷間圧延後の表面状態をしめす。

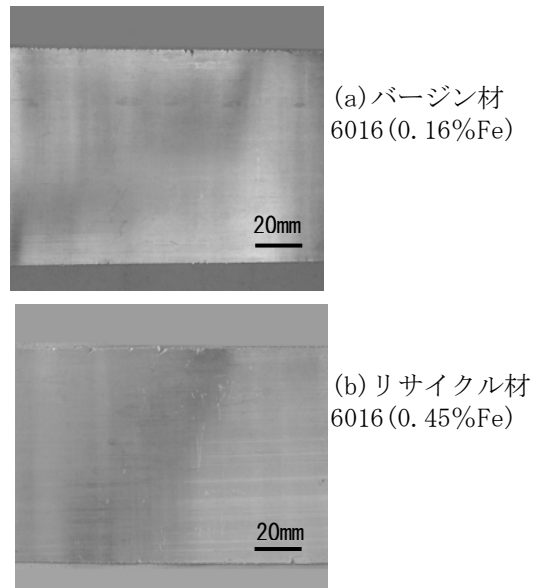


図3 冷間圧延後の表面状態 (厚さ 1 mm)

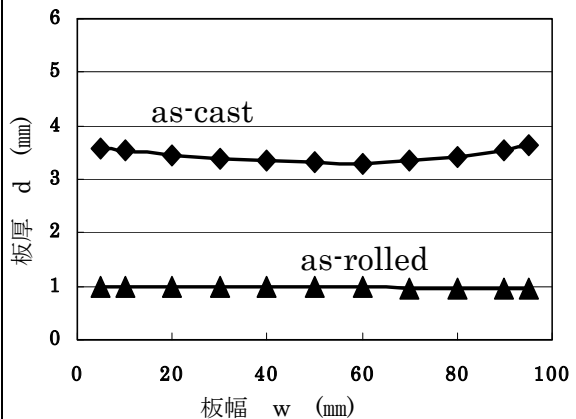


図4 铸造まま材と冷間圧延版の板幅方向の厚さ分布

図4に铸造まま材と冷間圧延版の板幅方向の厚さ分布を示した。铸造まま材において板厚分布が凹なのは、ロールの熱膨張のためである。ロールクラウンを施していないためであり、ロールクラウンにより铸造まま材の板厚分布は圧延に適した凸にできると考えられる。冷間圧延版の板幅方向の板厚分布は平坦になっている。

図5にはバージン材とリサイクル材の铸造まま材の断面組織を示した。比較のためにDC铸造相当の冷却速度で铸造したインゴットの組織も示した。バージン材とリサイクル材ともにロールキャスト材は、インゴット材と比較して各段に組織が微細化していた。これは本研究の双ロールキャストの高冷却速度の効果である。従来型の双ロールキャスト

ターで铸造した薄板の組織は一般的に柱状組織である。これに対して本研究の双ロールキャストで铸造した薄板の組織は等軸組織に近く、中央部は粒状組織であった。これは低温铸造の効果である。

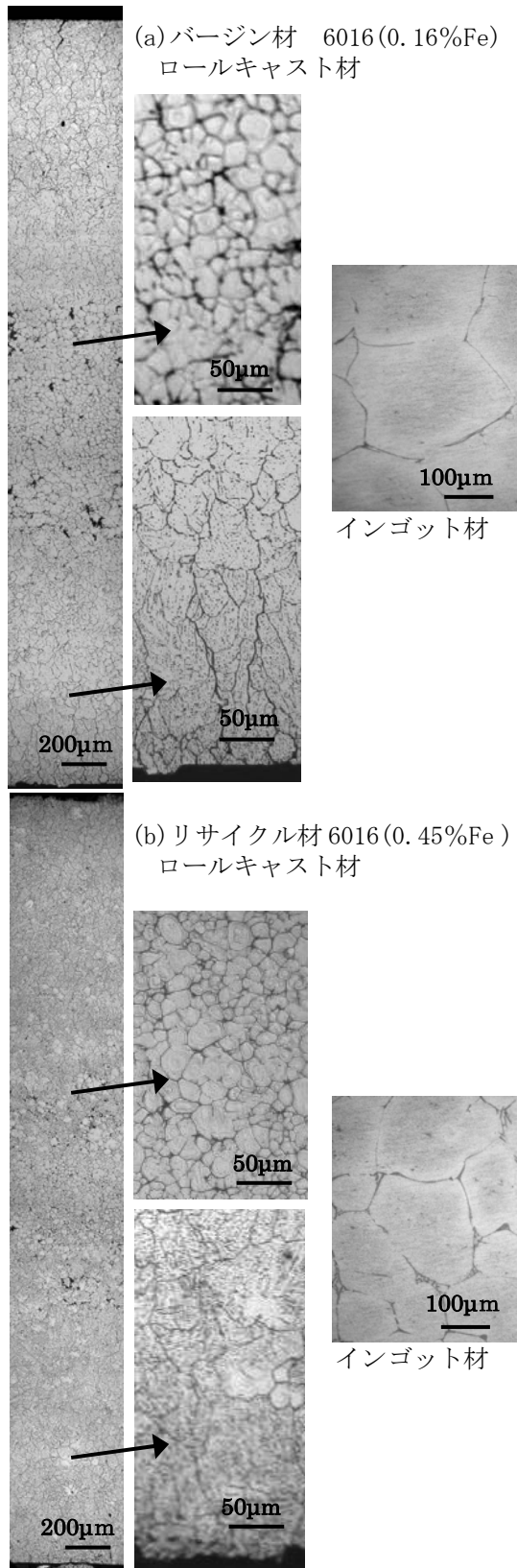
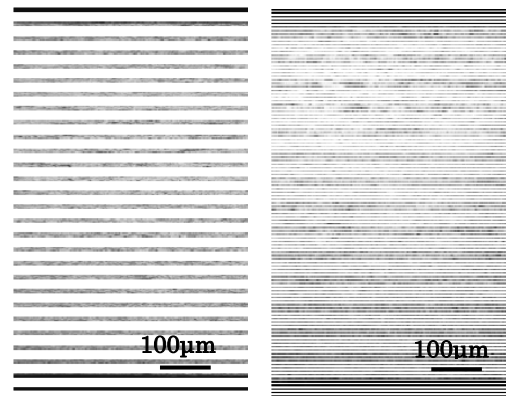


図5 ロールキャスト材の断面組織とインゴット材の組織 (铸造まま材)



(a) バージン材 6016 (0.16%Fe) (b) リサイクル材 6016 (0.45%Fe)

図6 冷間圧延・T4 処理 (530°C-1 時間) 後の断面組織

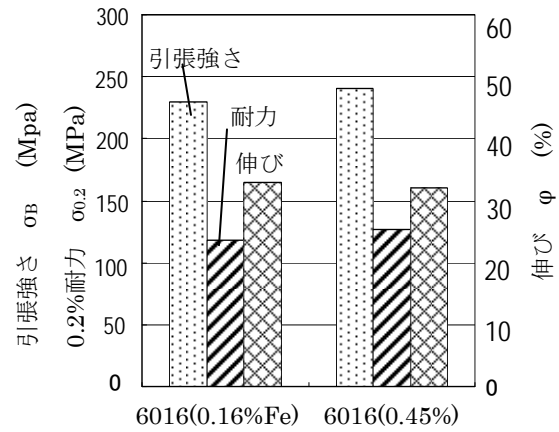


図7 冷間圧延・T4 処理 (530°C-1 時間) 後の引張試験の結果。板厚 1mm. 5号試験片

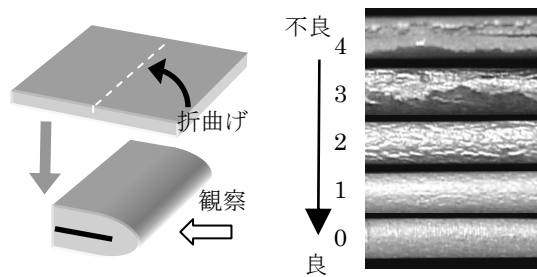


図8 T4 材の 180 度曲げ試験の 5 段階評価

図5に示した铸造まま材の組織は板厚方向で均一ではない。しかし、冷間圧延と T4 処理後は図6に示すように組織は板厚方向でほぼ均一になった。

図7に冷間圧延・T4 処理後の引張試験の結果を示す。リサイクル材の方が若干引張強さと耐力が高く伸びが低い。これは AlSiFe 系の金属間化合物の晶出が原因と考えられる。

伸びは 30%に達しているので、Fe の増加による延性の劣化は無視できる程度である。

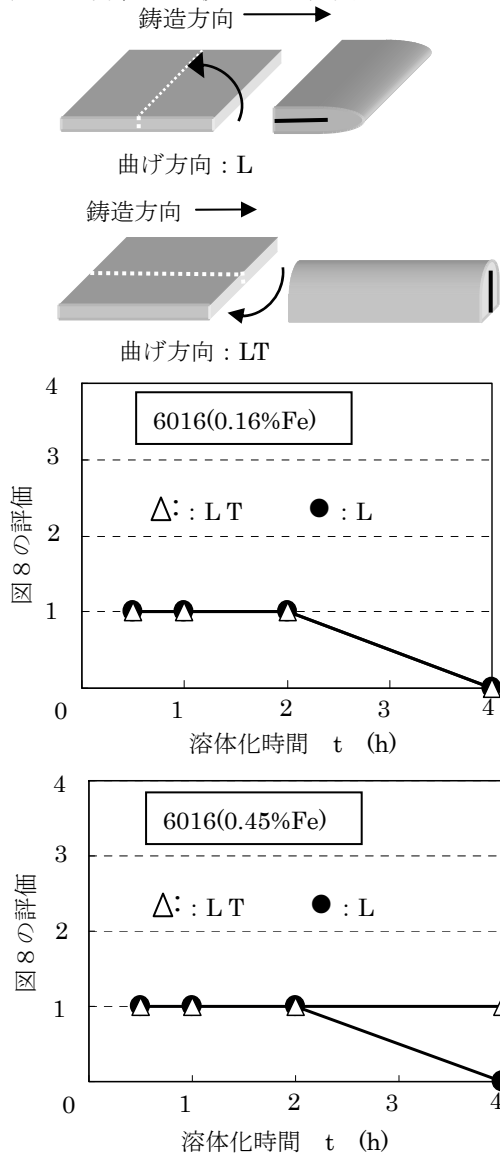


図9 溶体化時間に対する180度曲げの評価。溶体化温度：530℃。板厚1mm。

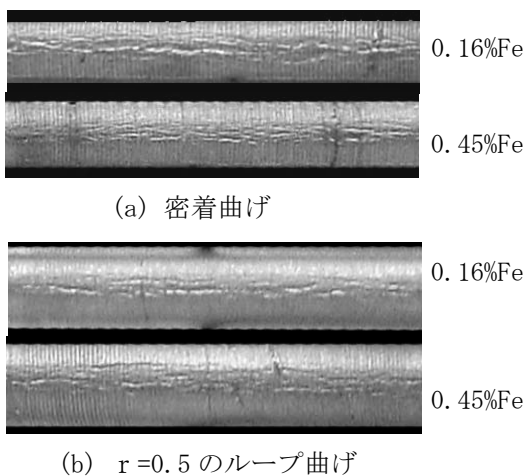


図10 T4処理後に5%のひずみを引張により与えた後の180度曲げの結果。板厚1mm。

溶体化時間の180度曲げ試験に対する影響を調査した。図8に180度曲げ試験の外表面の評価基準を示す。図9には結果を示す。溶体化時間が2時間以下であれば、外表面の状態はFe量および曲げ方向の影響を受けず、評価は1の肌荒れまたは微細なクラックが発生する状態であった。

図10はプレス成形後にヘム加工(180度曲げ加工)を想定して、5%のひずみを付加した後に密着曲げとループ曲げの2種類の180度曲げを行った結果である。結果は、リサイクル材を想定した材料のほうが良好であった。これは、AlSiFe系の金属間化合物が晶出したために固溶したSiの量が減少し、曲げ時にせん断帯の発生が抑えられたことが原因であると考えられる。Fe量が増加した場合でも、Feの総量が0.5%未満であれば、曲げ性や伸びを劣化させないことが明らかになった。不純物としてのFeは本研究の方法で無害化が可能であると考えられる。

(3) 6061汎用合金のリサイクル

6000系アルミニウム合金の汎用材の一種である6061のFe量は規格では0.7%未満であるが流通しているものは、0.3~0.4%である。いずれにしても6022のFe量の上限である0.2%は越えている。しかし、Si量は6016や6022が1~1.2%に対して6061は0.8%と低いため、Feが増したときに固溶するSiが減り、曲げ時の割れには鈍感になる可能性がある。図11は、6061のFe量を0.3%から0.8%(2回のリサイクルに相当)に増量したものをロールキャストし、1mmまで冷間圧延した後にT4処理を施し、180度密着曲げを行ったものである。図8の評価は1であった。ロールキャスト材においては、6061はヘム加工性だけを評価すれば6016や6022よりリサイクルに適していると考えられる。



図11 6016に0.5%のFeを添加し、Fe量を0.8%した合金板の180度密着曲げ。1mmまで冷間圧延した後、530℃で1hの溶体化処理を施した。

(4) リサイクルに適した6000系アルミニウム合金

6000系のボディシート材は、ヘム加工性(180度曲げで評価)を最重要視している。リサイクル材においてもAlSiFe系金属間化合物の晶出が曲げ性を劣化させることが懸念されている。本研究の冷却能が高い双ロー

ルキャスターを使用した場合、AlSiFe 系金属間化合物は急冷効果により微細化できる。曲げ性には、Si の固容量も影響するので、AlSiFe 系金属間化合物により曲げ性が低下した分を、Si の固容量を減らすことで板としての曲げ性の劣化を防ぐことが可能である。このように考えると、6000 系の汎用材では 6063 のように Si 量が 0.5%程度のものがリサイクルに適していると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 8 件)

- ① T.Haga, S.Kumai, Strip casting by a vertical type high speed twin roll caster, The 11th International Conference on Aluminum Alloys, Achen, Germany, September 23, 2008.
- ② T.Haga, S.Kumai, Grooved roll for a high speed twin roll caster, Achievements on Mechanical and Material Engineering, Ryn Poland Jun 23 2008.
- ③ T.Haga, S.Kumai, High speed twin roll casting of 6061 alloy strips, Achievements on Mechanical and Material Engineering, Ryn Poland Jun 23 2008.
- ④ 羽賀俊雄, 熊井真次, 渡利久規, 高速双ロールキャストイングにおける鋳造条件の影響, 軽金属学会第 114 回講演会, 愛媛, 2008 年 5 月 11 日.
- ⑤ T.Haga, S.Kumai, Development of Vertical-Type High-Speed Twin Roll Caster and its Application to Aluminum Alloy Products, 軽金属学会第 111 回講演会, 東京, 2006 年 11 月 19 日
- ⑥ 羽賀俊雄, 阪口洋, 乾秀喜, 熊井真次, 鈴木健太, 渡利久規, 1500mm 双ロールキャスターによる 6000 系アルミニウム合金板の作製, 軽金属学会第 111 回講演会, 東京, 2006 年 11 月 19 日.

- ⑦ 羽賀俊雄, 阪口洋, 乾秀喜, 熊井真次, 鈴木健太, 渡利久規, 異径双ロールキャスターによる不純物を添加したアルミニウム合金のストリップキャストイング, 鋳造工学会第 148 回講演会, 大阪, 2006 年 5 月 21 日.
- ⑧ 羽賀俊雄, 阪口洋, 乾秀喜, 熊井真次, 鈴木健太, 渡利久規, 1500mm 双ロールキャスターによる A6016 合金板の作製, 軽金属学会 110 回講演会, 北九州, 2006 年 5 月 14 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽賀 俊雄 (HAGA TOSHIO)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号: 00212134

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし