

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00607

研究課題名(和文) 低品位リサイクルアルミの革新的アップグレード技術の創製

研究課題名(英文) Study on upgrade recycle process of aluminum alloys

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：芯材の融点が表材の融点より低い組合せの3層クラッド材作製用縦型タンデム双ロールキャスターを開発した。延性を有するが強度は高くないリサイクル材(アルミサッシなどのリサイクル材)を表材、延性は低い強度を有するリサイクル材(ダイカスト材などの鋳造材のリサイクル材)を芯材とする3層クラッド材を作製することに成功した。このクラッド材では、表材の液相線温度は芯材の液相線温度より高い。従来のクラッド材作製用縦型タンデム双ロールキャスターでは芯材の融点が表材の融点より低い3層クラッド材の作製は芯材が融解するので作製が困難であった。リサイクル材から強度と延性を備える板材の作製に成功した。

研究成果の概要(英文)：

A vertical type tandem twin roll caster which could cast three layers clad strip was developed. Feature of this caster was that three layers clad strip, which base strip had lower solidification temperature than overlay strip, could be cast without melting of the base strip. This caster was adopted to the recycle aluminum alloys. The three layers clad strip was cast from recycle aluminum alloys. For example, the recycle aluminum alloy of 6063 was used for the overlay strip, and recycle aluminum alloys of A357 and A383 were used for the base strip. The solidification temperature of the 6063 was higher than that of the A357 and A383. The base strip of the A357 or the A383 were not melted by the heat from the overlay strip of the 6063. This three layer of clad strip could be bent without occurring of the crack, and stronger than 6063. In this way, the clad strip which has both of strength and ductility could be cast from the recycle aluminum alloys.

研究分野：ロール鋳造

キーワード：ロール鋳造 クラッド材 接合 リサイクル材 急冷凝固 無害化

1. 研究開始当初の背景

鋳造用アルミニウム合金のリサイクル材を、展伸材として使用する、特に自動車に使用する手法は考案されていなかった。アルミニウム合金に限らずリサイクルするとダウングレードする。本研究では、急冷凝固とクラッド化によりアップグレードを試みた。本研究で使用する高速双ロールキャスターは、従来の双ロールキャスターより、冷却速度が高く、不純物の微細化が期待できる。クラッド化により延性を向上させるためには、リサイクル鋳造材を芯材に、リサイクル展伸材を表材に使用する。通常、鋳造用合金の融点は展伸材の融点より低い。このため急冷効果を期待できる双ロールキャスターを利用して3層のクラッド材を作製する場合、芯材が表材からの加熱で溶解する。したがって、芯材の融点が表材の融点より低い条件においても、芯材が溶解しないプロセスの確立が必要とされている。

2. 研究の目的

第一に芯材の融点が表材の融点より低い場合に芯材が溶解することが無い、クラッド材用双ロールキャスターを開発することである。第二には溶解せず、かつ強固な接合が得られる条件を明確にすることである。第三に各条件が接合界面の状態にどのように影響するか明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) クラッド材用双ロールキャスターの開発

従来、芯材の融点が表材の融点より低い場合に芯材が溶解することが無い、クラッド材用双ロールキャスターは存在しなかった。そこで、クラッド材用双ロールキャスターを開発した。詳細は研究成果に示す。

(2) 健全な接合条件の探索

母材の接合時の温度と接合との関係を調査した。本研究では、母材に表材を両側から同時ではなく、片側ずつ接合すれば母材は溶解しないことを明らかにした。特に二層目の表材を接合するときの母材の温度が母材と表材の接合に支配的であったので、母材の温度と接合の関係を明らかにした。

(3) 接合界面の状態

接合条件と接合界面の明瞭さ、元素の拡散状態、接合強度を調査した。接合界面の明瞭さは、光学顕微鏡で調査した。元素の拡散状態は、線分析で調査した。接合強度は、繰返し曲げ破断試験、引張せん断試験を採用した。

(4) 実験試料

母材は4045、表材は3003を使用した。4045の凝固温度範囲は、575 から 595、3003は643 から 655 であった。

4. 研究成果

(1) クラッド材用双ロールキャスターの開発

図1には、芯材の融点が表材の融点より低い条件でクラッド材の作製が可能な双ロールキャスターと、この装置を用いて作製した、芯材の融点が表材の融点より低い場合の3003/4045/3003クラッド材の断面を示す。芯材の4045が溶けていることが明らかである。

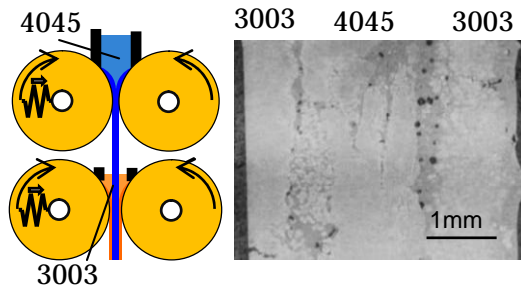


図1 従来の三層クラッド材作製用キャスターとこれを用いて作製した3003/4045/3003クラッド材の断面

図2は本研究で考案した芯材の融点が表材の融点より低い場合に良好なクラッド材を作製する方法である。表材の一層目と二層目を別々に接合させる。表材の一層目の表材が母材と接合するとき、母材はロールに接触しているため、片面からは加熱されるが、片面からは冷却される。二層目の表材が接合する前に、母材と表材の二層クラッド材は冷却される。母材の温度が所定の温度になった後に二層クラッド材は二層目の表材を接合する。二層クラッド材の一層目の表材はロールと接触しているため、芯材もロールから冷却される。このため二層クラッド材の母材は溶解しない。二層目の表材を接合するときの母材の温度と接合状態の関係を図2の方式で調査した。ロール周速は30m/minとした。ロールは銅製であった。

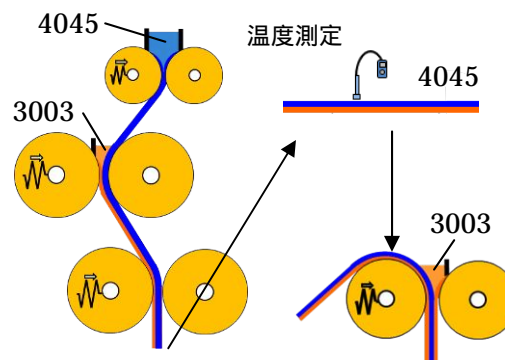


図2 従来の三層クラッド材作製用キャスターと表材の2層目を接合する前の母材の温度測定

(2) 接合状態の調査

芯材と2層目の表材の接合に対する鋳造ままのクラッド材の芯材温度の影響を表1に示す。芯材の温度が450以上であれば、接合可能であることが判明した。400以下の場合、剥離している部分も存在した。冷却時間と芯材の温度との関係を図3に示す。冷却時間は約50秒以内であれば接合可能であることが判明した。大第二層目の表材を接合するための双ロールキャスターは、二層クラッド材クラッド材を作製するためのキャスターに近づけておく必要は無く、テンショナーや搬送機器を設置することができる。図4には、各芯材温度における鋳造まま材の断面を示した。芯材の温度が高い方が変形抵抗が小さくなるので芯材は薄くなった。

表1 芯材と2層目表材の接合の可否

芯材温度	接合の可否
300	未接合
400	未接合
450	接合
500	接合
530	接合

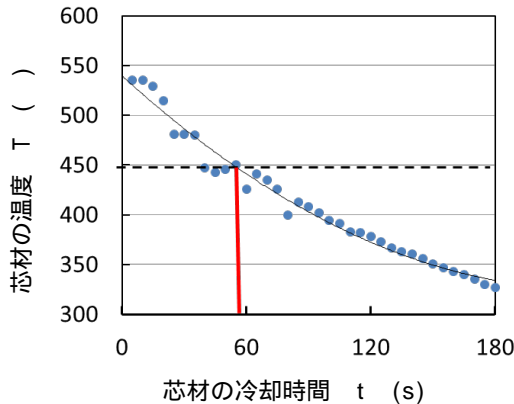


図3 芯材の冷却時間と温度の関係

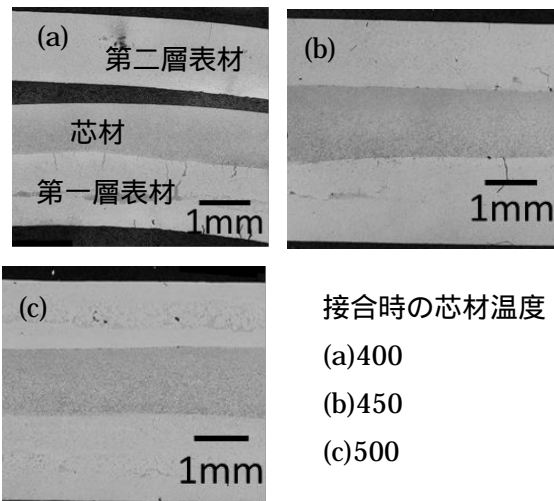
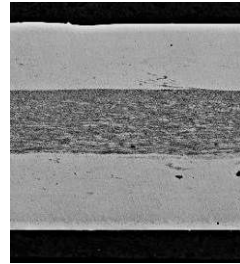


図4 鋳造ままのクラッド材の断面。

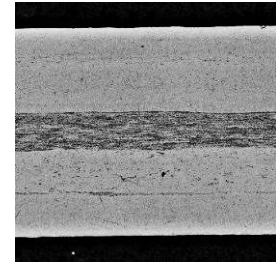
図5には1mmまで冷間圧延後の断面をしめす。芯材温度が400の場合は、冷間圧延では、接合した部分にも剥離が発生した。450以上では剥離を起こさなかった。薄板のクラッド材を作製するために必要な強度を有していると考えられる。



(a) 芯材温度 400



(b) 芯材温度 450



(b) 芯材温度 500

図5 1mmまで冷間圧延後の断面

繰返し曲げ破断試験の結果として破断面を図6に示す。芯材と表材は剥離しておらず、強固に接合していた。

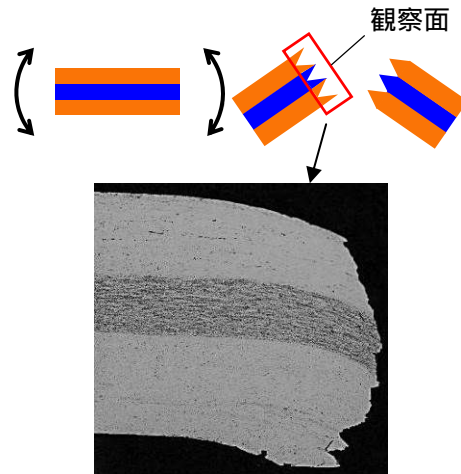


図6 1mmまで冷間圧延後のクラッド材に行った繰返し曲げ破断試験(芯材温度500)

芯材と第二層表材の引張せん断試験の結果を図7に示す。芯材の温度が高くなるに従いせん断応力は高くなった。これは芯材の温度が高くなるほど、芯材と第二層表材の接合強度が高くなったことを示す。図7には引張せん断試験後の破断面の断面を示す。芯材の温度が400の場合は接合界面で破断した。これに対し、芯材の温度が450以上では芯材の内部で破断した。どちらの場合も、破断

面には凹凸は存在しなかった。4045の方が3003より強度は高いが、4045の接合界面近傍は焼なましを受けたと同様な状態になっているので強度は低下し、その位置で破断したと考えられる。破断面を図8に示す。芯材の450以上であれば接合強度は、材料の強度以上になっていると考えられる。

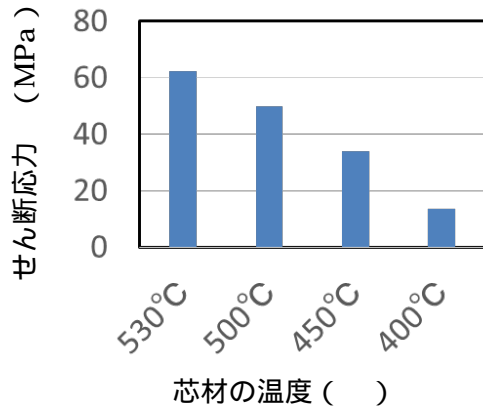
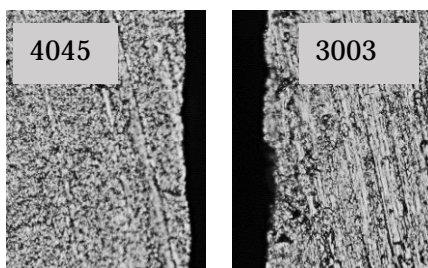
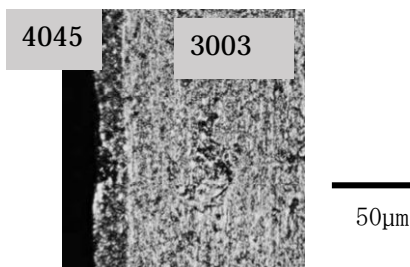


図7 芯材の温度とせん断応力



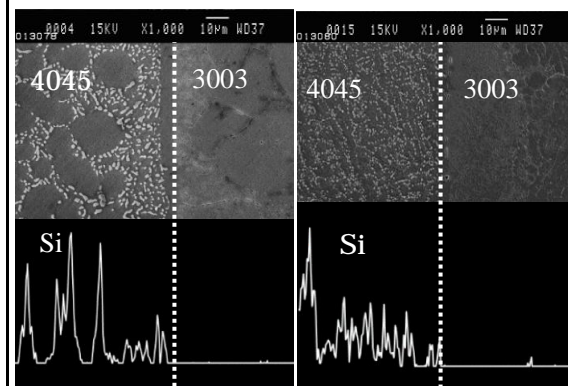
(a) 芯材の温度 400



(b) 芯材の温度 450

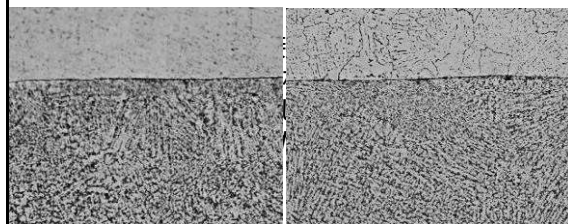
図8 芯材の温度とせん断面

芯材と第二層表材の接合界面におけるSiの線分析の結果を図9に示す。芯材の4045の融点は表材の3003の融点より低いが、Siの拡散層は大変薄く、4045の表面の融解した層の厚さは大変薄いと考えられる。これは、芯材は第一層の表材を介してであるがロールから冷却されており、このため第二層の表材が接合されても芯材の第二層接触面は半凝固状態まで加熱されても、溶解はしなかったと考えられる。双ロールキャストにより、芯材の融点が表材の融点より低い場合でも健全なクラッド材を作製することができたと結論できる結果である。

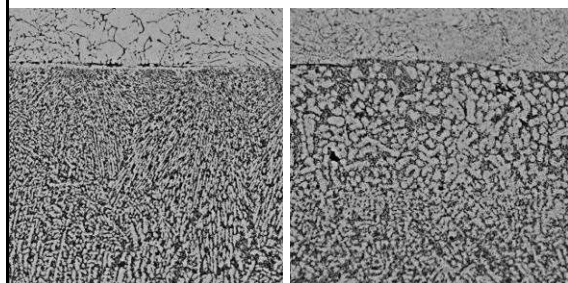


(a) 芯材温度：450 (b) 芯材温度：450

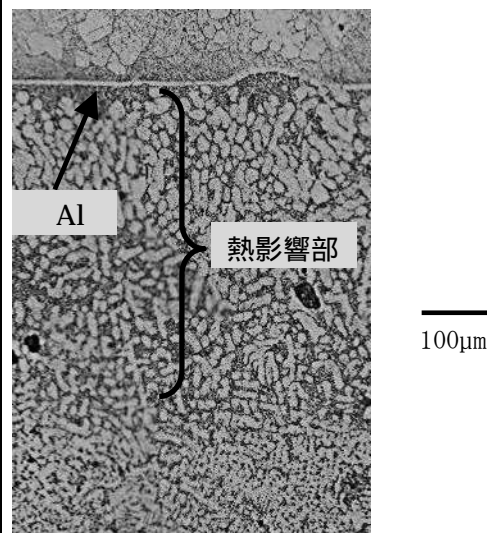
図9 芯材と第二層表材の接合界面におけるSiの線分析



(a) 芯材温度：300 (b) 芯材温度：400



(c) 芯材温度：450 (d) 芯材温度：500



(e) 芯材温度：530

図10 第二層表材との接合界面近傍の芯材の組織

この熱影響部の厚さは、芯材の温度が 530 の場合でも 0.5mm 以下と大変薄かった。芯材の温度が 450 以上では、芯材の接合面に Al は存在していた。これは接合面の 4045 は溶解し、初晶 Al が晶出したと推測できる。

5. まとめ

芯材の融点が表材の融点より低い場合に芯材が溶解せずに三層クラッド材を作製するプロセスを開発し接合可能な条件を明らかにした。これにより、鑄造材のリサイクル材を芯材、展伸材のリサイクル表材を表材とした強度と延性を有するクラッド材を作製できる可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

Toshio Haga, Ryosuke Kozono, Shinichi Nishida, Hisaki Watari, Casting of aluminum alloy clad strip by an unequal diameter twin-roll caster equipped with a scraper, *Advances in Materials and Processing Technologies*, 3(2017)511-521. (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1080/2374068X.2017.1344057>

Toshio Haga, Kentaro Okamura, Hisaki Watari, Shinichi Nishida, Casting of Clad Strip of Al-SiCp, Magnesium Alloy Hard-Brittle Light Material by a Twin Roll Caster, *Materials Science Forum*, 893(2017) 262-266. (査読有)
doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.893.262

Toshio Haga, Kentaro Okamura, Shinichi Nishida, Hisaki Watari, Kunio Matsuzaki, Casting of an Mg Alloy Clad Strip Using a Twin Roll Caster Equipped with a Scraper *Materials Science Forum*, (2016)671-676. (査読有) doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.879.671

Toshio Haga, Casting of clad strip by a twin roll caster, *LIGHT METALS 2015 TMSP*, (2015) 1231- 1234. (査読有) DOI: 10.1002/9781119093435

Toshio Haga, Roll casting of a clad strip consisting of 5182 aluminum alloy, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 73(2015)33-43. (査読有)
www.tandfonline.com/doi/.../2374068X.2017.1344057

Toshio Haga, Hisaki Watari, Casting of clad strip by a vertical type twin roll caster *Manufacturing, Science and Technology*, 3(2015)197-203. (査読有)
DOI: 10.13189/mst.2015.030501

〔学会発表〕(計 15 件)

岡村健太郎, 羽賀俊雄, スクレイパーを装着した双ロールキャスターによる Mg 合金クラッド材の作製, 関西支部第 92 期定時総会講演会, 平成 29 年 3 月.

岡村健太郎, 羽賀俊雄, 縦型タンデム双ロールキャスターを用いた Al 合金 3 層クラッド材の作製に関する研究, 関西支部第 92 期定時総会講演会, 平成 29 年 3 月.

岡村健太郎, 羽賀俊雄, 縦型タンデム双ロールキャスターによる Al 合金クラッド材の作製, 第 24 回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2016), 平成 28 年 11 月

岡村健太郎, 羽賀俊雄, 縦型双ロールキャスターによる Al 合金クラッド材の作製に関する研究, 第 131 回秋期大会, 平成 28 年 11 月

岡村健太郎, 羽賀俊雄, 縦型タンデム双ロールキャスターを用いた Al 合金クラッド材の作製, 平成 28 年度塑性加工春季講演会, 平成 28 年 5 月

岡村健太郎, 羽賀俊雄, 3 層クラッド材作製用縦型タンデム双ロールキャスターの試作とその特性, 平成 28 年 11 月

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: クラッド製造法, クラッド製造装置, およびクラッド材
発明者: 羽賀俊雄
権利者: 学校法人常翔学園
種類: 特願
番号: 2016-183432
出願年月日: 2016 年 9 月 20 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等
www.oit.ac.jp/med/~haga/profhaga.html

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