

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510107

研究課題名(和文)革新的省工程プロセスによるアップグレードリサイクル技術の創生

研究課題名(英文)Development of upgrade recycle method by process saving

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) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：鑄造材と展伸材から成り立つクラッド材の作製のためにスクレイパーを考案した。A3003とAC4Cの厚さ比が1対5になるように鑄造した2層クラッド材を1.2mmまで冷間圧延して焼鈍しを行った。A3003が外側になるようにして180度密着曲げを行っても割れは発生しなかった。A3003が外表になるようにして深絞りを行った。限界絞り比LDRが1.8に達した。母材が鑄用アルミニウム合金で表材が展伸用アルミニウム合金からなる3層クラッド材を作製することができた。180度密着曲げでも外表面にはクラックは派生しなかった。このクラッド板はプレス成形に使用できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A scraper was proposed to make clad strip from molten metals without the mixture of molten metals. The AC4C is typical aluminum alloy for casting. The two layers clad strip consisting from A3003 and AC4C had thickness ratio one to five. Full contacting bending could be conducted of the two layers clad strip which outer strip was the A3003 without cracks. Deep drawing test was conducted and 1.8 of Limiting Drawing Ratio (LDR) was attained. Three layers, which base strip was cast from the aluminum alloy for casting and overlay strips were cast from the wrought aluminum alloy, could be cast by a vertical type tandem twin roll caster. Continuous bending test was conducted to investigate the bonding condition. The 180 degree full bending could be conducted on the three layers clad strip without occurring of the crack at the outer surface.

研究分野：省工程溶融加工プロセス

キーワード：双ロールキャスター 縦型タンデム双ロールキャスター 3層クラッド材 積層材 高速双ロールキャスター リサイクル材 鑄造用合金 急冷凝固

1. 研究開始当初の背景

地球環境の保全の目的から自動車の軽量化が求められている。電気自動車は走行距離の問題から軽量化がガソリンエンジン車以上に深刻な問題となっている。軽量化のためにはボディのアルミニウム合金化が必要不可欠とされている。アルミニウム合金の自動車用ボディシート材には不純物 Fe を 0.2% 未満に低く抑えて曲げ性などの成形性を向上させた A6022 などの低 Fe 量のアルミニウム合金が使用されている。しかし、自動車のアルミニウム合金部品は 1 回のリサイクルにより不純物 Fe 量は約 0.2% 増加するので、アルミニウム合金のリサイクル材は、自動車のボディシート材には使用できないことになる。自動車のアルミニウム合金化のためには、成形性に優れたリサイクル材が求められている。つまり、今必要とされていることは、リサイクルアルミニウム合金の材質の改善を可能にする省エネプロセスの創生である。さらに、より低価格のアルミニウム合金の使用が求められている。

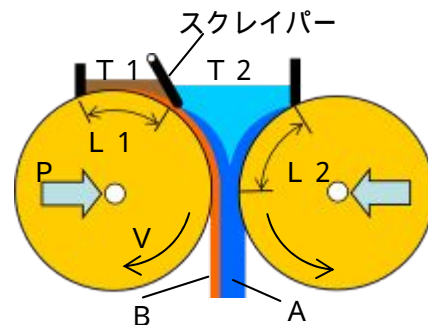
2. 研究の目的

本研究では、アルミニウム合金のリサイクル材を自動車用ボディシート材に使用可能にするアップグレードリサイクルを可能にする省エネプロセスの創生が目的である。独自に開発したクラッド材(積層材)作製用高速双ロールキャスターを応用・発展させることで、特性が異なるリサイクル材から一工程で特性が優れた材積層材を作製できるプロセスを確立する。例えば表材は耐食性と加工性が優れ、芯材は強度に優れたリサイクル材であればハイブリッド化したクラッド材は耐食性、加工性、強度に優れた薄板になる。双ロールキャスターにより急冷凝固されるため、個々の薄板は Fe などの不純物の無害化も可能になる。本申請では、流通量が多く安価であるリサイクル材から創製した鋳造材に注目した。そこで本申請では、申請者が独自に開発したクラッド材(積層材)作製用双ロールキャスターを応用・発展させ、一工程でアップグレードリサイクルを達成できる省エネプロセスの創生を目的とする。

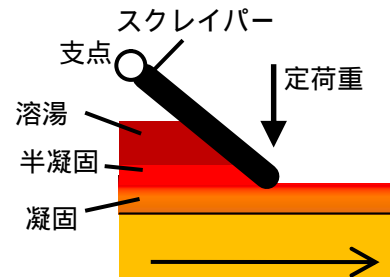
3. 研究方法

(1) 2 層クラッド材の作製: 本研究で使用した 2 層クラッド材作製用のスクレイパーを装着した双ロールキャスターの模式図を図 1(a)に、スクレイパーの模式図を図 1(b)に示す。図 1(a)においてロールは圧延機のように固定されておらず、バネにより負荷され、ロール間隙は板厚により変化する。バネ定数が異なるバネを使用することでロール荷重を調節する。融点が低い方の材料を A, 融点が高い方の材料を B とする。つまり、融点が高い方の材料の自由凝固面にスクレイパーが接することになる。図 1(b)にスクレイパー周辺の拡大した模式図を示す。スクレイパーは、支点

で支えられ鋳造中に支点を中心に板厚(凝固層の厚さ)に合わせて可動する。スクレイパーは定荷重で板に押し付けられている。本実験では錘を使用した。スクレイパーは、半凝固層を成形し、また、溶湯が漏れ出すことは無い。ロール荷重 0.22Kn/mm, スクレイパー荷重 10N/mm とした。A3003 の注湯温度は 670 , AC4C の注湯温度は 640 とした。ロール周速は、30m/min とした。スクレイパーは鋼板に断熱シートを接着してあり、溶湯と鋼板の反応を防ぐとともに、溶湯の温度降下も防ぐようにした。板厚の調整は、凝固距離 L1 と L2 により行う。したがってクラッド比も L1 と L2 により調節することができる。



(a)スクレイパーを装着した 2 層クラッド材作製用双ロールキャスター

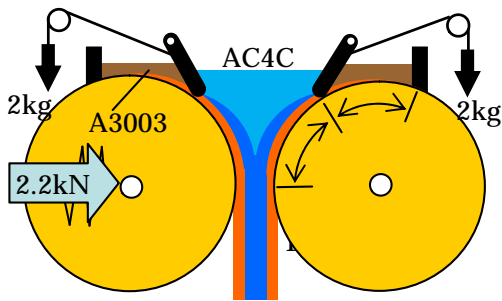


(b)スクレイパー周辺の模式図

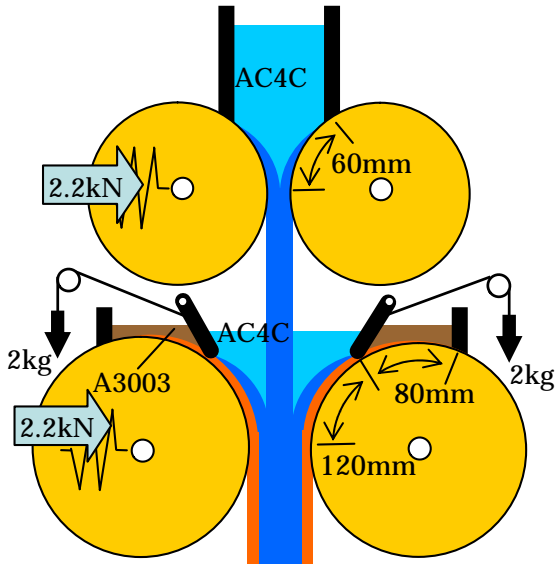
図 1 2 層クラッド材作製用双ロールキャスターの模式図

(2) 3 層クラッド材の作製方法: スクレイパーを利用して、母材の凝固温度範囲が表材より低い場合でも健全な 3 層クラッド材を作製することができる双ロールキャスターを考案した。スクレイパーを装着し、母材の凝固温度範囲が表材の凝固温度範囲より低い場合に健全なクラッド材を作製するための双ロールキャスターの模式図を図 2 に示す。図 2(a)は、3 層クラッド材を作製することができる。

図 2(b)は、実際は 5 層であるが材料の選択により 3 層とみなすことができる。ロール周速は 30m/min とした。注湯温度は AC4C が 615 , A3003 は 670 とした。その他の主な実験条件は、図 5 に示した。



(a) 3層クラッド材の作製用



(a) 5層クラッド材の作製用

図2 スクレイパーを装着した母材の凝固温度範囲が表材の凝固温度範囲より広い条件でクラッド材を作製するための双ロールキャスター

4. 研究成果

(1) 2層クラッド材：図1に示した双ロールキャスターにより2層クラッド材を作製することが可能であった。図3に鑄造したままのクラッド材の断面と接合界面におけるSiの線分析の結果を示す。接合界面は目視で明瞭に存在していることが確認される。Siの線分析の結果から、AC4CのSiはA3003へ拡散していないと判断できる。2種類の合金から成り立つ2層クラッド材を作製することができた。

図4にヘム加工を模した180度曲げ試験の結果を示す。AC4Cは外表面にクラックが発生するが、AC4CとA3003のクラッド材においてA3003を外表面とした場合は、A3003の表面にはクラックは派生しなかった。また、断面の観察より、AC4Cにもクラックが発生していないことがわかる。鑄造材のAC4Cに展伸材のA3003をクラッドすることで、展伸材と比較して延性が低いAC4Cの曲げ性を改善することができた。

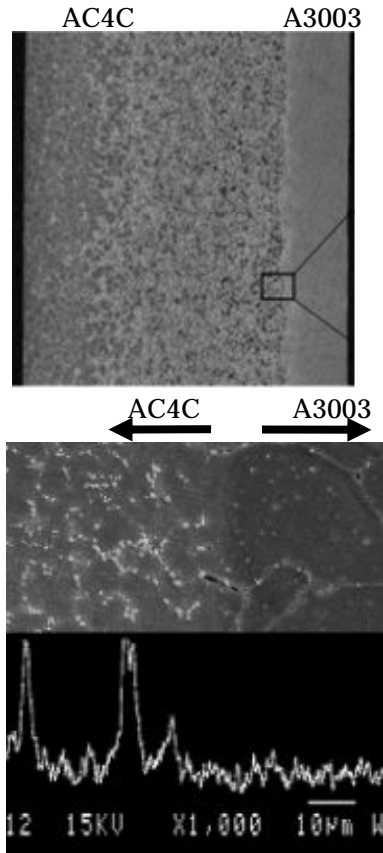
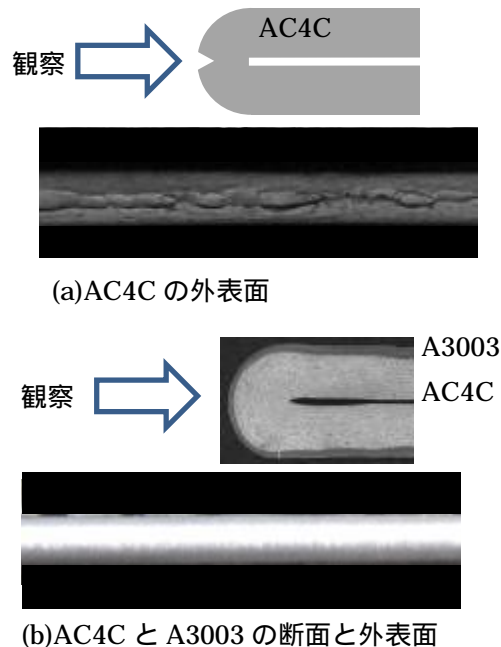


図3 AC4CとA3003のクラッド材の断面と界面近傍のSiの線分析



(b)AC4CとA3003の断面と外表面

図4 AC4CおよびAC4CとA3003の機ラッド材の180度曲げ試験

図5に深絞りの結果をしめす。1枚の板と同様に深絞りを行うことが可能であった。表面は、展伸材のA3003であるため美麗である。

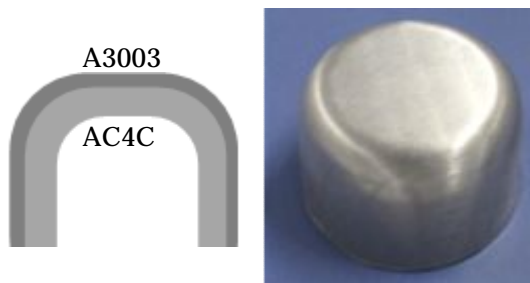


図5 AC4CとA3003のクラッド材の深絞り
(限界絞り比LDR:1.8)

(2) 3層クラッド材: 図2(a)のプロセスにより作製したクラッド材の断面を図6に示す。3層クラッド材は作製可能であった。しかし、母材の溶湯ロールに直接接しないため母材は1mm以下と大変薄かった。

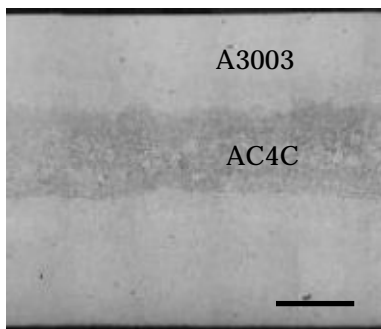


図6 図3(a)の方法で作製したクラッド材の断面

図2(a)の方法は、母材が薄いという欠点は存在したが、表材より凝固温度範囲が低い材料を母材としたクラッド材に適していることが判明した。母材を厚くするため、図2(b)に示す方法を考案した。母材を上の方の双ロールキャスターでも作製し、下の双ロールキャスターの間隙の母材と同じ材質の溶湯の中に挿入する。母材は、3層となり厚くなる。実際は5層になるが機能としては3層になる。

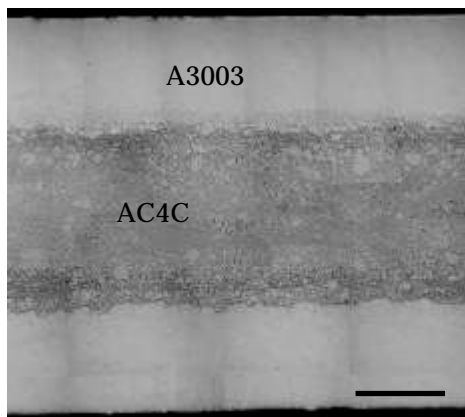


図7 図2(b)の方法で作製したクラッド材の断面

図7の板の接合界面における接合状態を簡易的に調査するため、繰返し曲げ試験を破断するまで行った。破断面近傍の状態を図8に

示す。A3003とAC4Cの接合界面、およびAC4CとAC4Cの接合界面で剥離は発生しておらず、接合状態は強固であると考えられる。

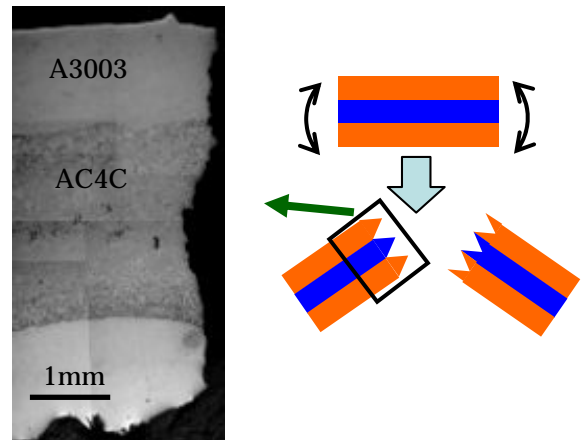


図8 繰返し曲げ試験後の破断面近傍

図7においてA3003とAC4Cの接合界面におけるSiの線分析の結果を図9に示す。図8から接合界面は平坦ではないことが明らかであるが、図9より接合界面は明瞭であることがわかる。Siの線分析の結果より、AC4CのSiはA3003に拡散していないことがわかる。AC4CとA3003の接合界面において、A3003はSiが短時間で拡散できるほど、液相に近い状態ではないと考えられる。これらの結果より、見かけ上3層クラッド材で、接合界面が圧延で作製したクラッド材のように明瞭で、成分の拡散も起こっていないことが明らかになった。

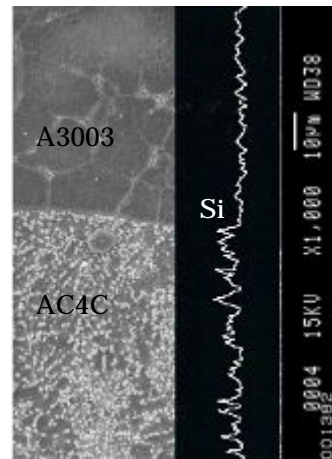


図9 図7のクラッド材のA3003とAC4Cの接合界面近傍のSiの線分析

図10は図7のクラッド材を1mmまで冷間圧延した後の断面である。接合界面で剥離は起こらず、界面も明瞭な状態であった。図2(b)の方法で作製したクラッド材には、冷間圧延を行うことが可能であることが明らかになった。

図11に示す厚さ1mmまで冷間圧延を行ったクラッド材に焼鈍を施し、ヘム加工を想

定して 180 度密着曲げを行った。曲げにより
 接合界面で剥離が発生することは無かった。
 外表面にクラックが発生することもなかつた。
 この結果は、AC4C を母材、A3003 を表
 材とした 3 層クラッド材は自動車のボディ
 シート材として使用できる可能性を有して
 いることを示している。

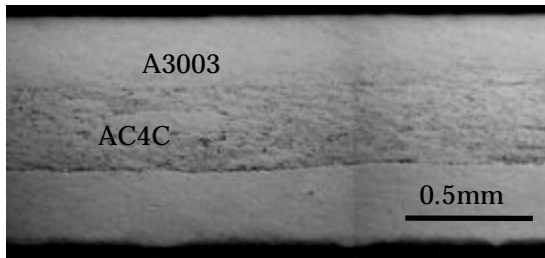


図 10 図 7 のクラッド材を 1 mm まで冷間圧延した後の断面

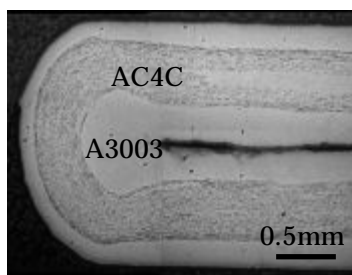


図 11 図 11 のクラッド材を焼なまし後に 180 度密着曲げを行った場合の断面

図 12 は、図 7 のクラッド材を 0.5 mm まで冷間圧延し、540 で 1 時間加熱した後の板の表面状態である。この処理では、接合していない部分は膨れになる。図 12 に示すように膨れは発生せず、部分的に接合していない箇所は存在しても広範囲ではないと考えられる。

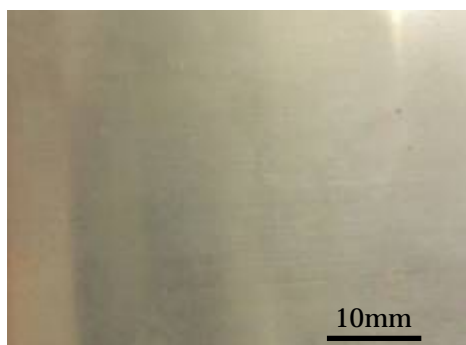


図 12 図 7 のクラッド材を 0.5 mm まで冷間圧延後に 540 で 1 時間加熱した後の表面状態。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

T.Haga, R.Nakamura, S.Kumai, H.Watari, Roll casting of clad strip, Materials Science Forum, 査読有, Vols.706-709,(2012)1152 -1157.

T.Haga, H.Tsuge, S.Kumai, H.Watari, A Roll Caster to Cast Clad Strip, Key Engineering

Materials, 査読有 Vols.554-557(2013)1902-1909

T.Haga, R.Nakamura, S.Kumai, H.Watari, A vertical type twin roll caster for an aluminum alloy clad strip, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 査読有, Vol.62,(2013)36-44.

T.Haga, H.Tsuge, T.Ishihara, S.Kumai, H.Watari, A vertical type tandem twin roll caster for clad strip equipped with a scraper, Key Engineering Materials, 査読有 Vols.611-612, (2014)623-628.

T.Haga, Casting of Clad Strip by a Twin Roll Caster, Materials Science Forum, 査読有, Vols. 794-796,(2014)772-777

〔学会発表〕(計 件)

羽賀俊雄, タンデム型双ロールキャスターで作製した 3003/4045 アルミニウム合金クラッド材の接合界面組織, 軽金 122 回春期大会, 2012 年 5 月 20 日, 九州大学

羽賀俊雄, 縦型双ロールキャスターによるクラッド材の作製, 軽金 122 回春期大会, 2012 年 5 月 20 日, 九州大学

羽賀俊雄, 双ロールキャスターによるクラッド材の作製, 軽金 123 回秋期大会, 2012 年 11 月 11 日, 千葉工大

羽賀俊雄, タンデム式縦型双ロールキャスト法と熱間圧延接合法で作製した 4045/3003 アルミニウム合金クラッド材の組織と機械的性質

羽賀俊雄, 双ロールキャスターによるクラッド材の作製, 軽金 124 回春期大会, 2013 年 5 月 19 日, 富山大学

羽賀俊雄, スクレイパーを装着した単ロール法による薄板の鋳造, 軽金 126 回大会, 2014 年 5 月 18 日, 広島大学

T.Haga, Casting of a clad strip using a twin roll caster, International Symposium on interfacial joining and surface technology, 28/November/ 2013, Osaka Univ.

T.Haga, Aluminum alloy clad strip casting using a twin roll caster, The 5th JSME/ASME International conference on Materials and Processing 2014, 10/Jun/2014, Cobo Center, Detoroit, USA

T.Haga, Casting of clad strip casting of Al-Mg strip using a vertical type tandem twin roll caster, 15th International materials symposium, 16/October/2014, Denizli, Turkey.

〔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