

機関番号：17104

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560673

研究課題名 (和文) 金属粉末を用いた大気中冷間圧延接合によるクラッド材の開発

研究課題名 (英文) Development of Clad Materials Obtained by Cold Roll Bonding in Air Using Metallic Powder

研究代表者

大坪 文隆 (OTSUBO FUMITAKA)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：10243982

研究成果の概要 (和文)：

純金属粉末を大気中の室温で純 Al 板および軟鋼板基材上に圧延してクラッド材を作製した。部分圧下率に及ぼす粒の大きさの影響、基材とクラッド層の部分圧下率に及ぼす総圧下率の影響についての圧延特性を示した。また、Al クラッド層は十分な密着強さを有し、鋳鉄よりも優れた耐酸化性を呈した。このような方法でクラッド層を構造設計することにより、多様な特性を有する材料開発の可能性が開ける。

研究成果の概要 (英文)：

Pure metallic powder preformed on the aluminum and mild steel substrates, respectively, were rolled to form cladding materials at room temperature in air. It is shown that the property of the rolling about the influence of the powder size on the partial rolling ratio and the influence of the partial rolling ratios of the cladding layer and the substrate on the total rolling ratio. Also, adhesion strength of cladding materials of aluminum on mild steel substrate has sufficient strength and the cladding materials showed excellent oxidation resistance compared with a cast iron. Therefore, the ability of materials development with various characteristic is opened out by design a structure of the cladding layer.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：材料工学

科研費の分科・細目：材料加工・処理

キーワード：塑性加工、接合、粒子積層、クラッド材、圧延

1. 研究開始当初の背景

材料表面に必要な性質を付与する目的で、種々の方法により表面改質あるいは材料の複合化が行われている。材料の複合化手法の

一つとして、バルク材同士の接合や、粒子積層により被覆層を生成する方法がある。一方、種々の工業分野で安価に効率よく被覆する技術の開発が必要とされており、そのため大

気中の冷間で複合化する技術の開発が検討されている。そこで、ブラスト処理したバルク材表面に粉末を供給しながら圧延することで複合材を生成しうる可能性を見出した。その一例として、図 1a (全体外観) および b (断面) に、予備成形した銅粉末を圧延により軟鋼基材に被覆したものを示す。本研究の方法は冷間圧延であるので、雰囲気制御装置や加熱のための設備を必要とせず、新しい被覆材製造法として期待できる。本研究の方法では室温でのプロセスであるため、純金属や合金の粉末素材に熱による酸化や相変質を生じさせることなく被覆することができる。また、異なる純金属を混合した粉末を用いて被覆し、熱処理することにより所望の組成の合金や金属間化合物の被覆層を生成する可能性がある。また、強化粒子を混合した被覆層の複合化、ナノ粒子による超微細粒組織を

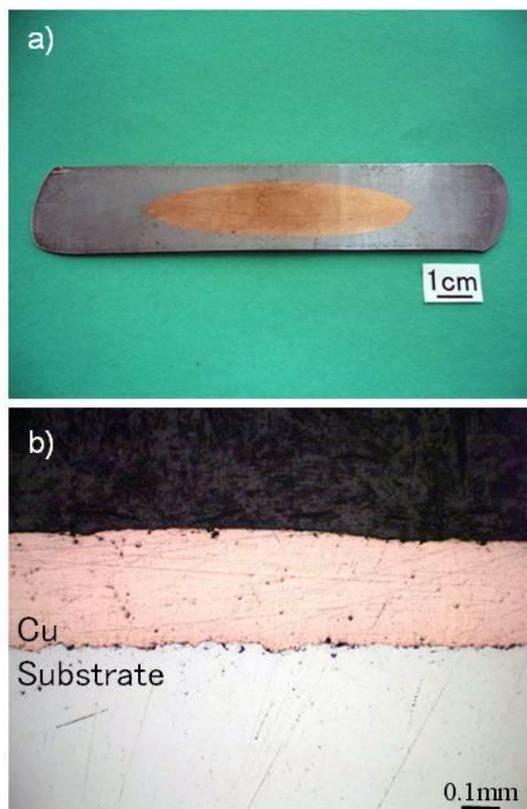


図 1 軟鋼を基材とした銅のクラッド材 (a) およびその断面の光学顕微鏡写真 (b)

有する被覆層、さらに組成傾斜するように粉末供給を工夫すれば、傾斜機能を有する被覆層の生成の可能性もある。

2. 研究の目的

本研究は、塑性加工によりバルク材表面に金属粉末を接合・被覆してクラッド材の作成を試みたものである。金属粉末として純金属粉末を用い、大気中の冷間圧延接合による被覆層の生成および組織について調べ、被覆層の密着強さおよび特性について調べた。

3. 研究の方法

ブラスト処理した SPCC 板 (30×25×3.1t) および純 Al (A1050P) 板 (30×25×3t) を基材として、油圧プレス機 (三庄インダストリー製マイティプレス MT-100H) により基材上に金属粉末を予備成形し、圧延機による冷間圧延により 1 パスで総圧下率 20～60% の範囲でクラッド材を作製した。なお、圧延機は大東製作所製 DBR70A 型二段圧延機で、#800 エメリー紙により表面を仕上げた 70φ×120L のロールサイズにより周速 10m/min で圧延した。クラッド材の圧下率を測定し、クラッド材の圧延特性について調べた。なお、圧下率は、クラッド材全体の圧下率を総圧下率、基材およびクラッド層単独の圧下率をそれぞれ部分圧下率とした。また、万能試験機 (インストロン 4465 型) を用いてせん断はく離試験によりクラッド層の密着強さを評価した。さらに、クラッド材を X 線回折 (XRD)、光学顕微鏡観察、組成像観察および組成定量分析 (エリオニクス製 ERM-8800) によるクラッド層の断面組織および特性について調べた。

4. 研究成果

(1) クラッド材の圧延特性

バルク材の圧延特性を調べるため、バルク

材同志を重ねて圧延し総圧下率と部分圧下率を測定した。なお、Al 板は Al 基材を圧延して圧下率 75%にしたもので、Al 板、Al 基材および SPCC 基材のビッカース硬さ（荷重：98N）はそれぞれ、50HV、35HV および 90HV であった。さらに焼鈍するとビッカース硬さ（荷重：98N）はそれぞれ、20HV、20HV および 87HV であった。なお、焼鈍は Al 板および Al 基材は 673K で 3.6ks、SPCC 基材は 773K で 3.6ks の焼鈍を行った。図 2 は焼鈍材の総圧下率と部分圧下率の関係を示している。Al 基材（△）および SPCC 基材（○）の部分圧下率は総圧下率に対して直線的に変化する。Al 基材に対する Al 板の部分圧下率（▲）は、Al 基材の部分圧下率との差が小さい。一方、SPCC 基材に対する Al 板の部分圧下率（●）と SPCC 基材の部分圧下率の差は、Al 基材の場合よりかなり大きい値を示した。この結果は、おもに各バルク材の硬さを反映した変形抵抗の大きさの差に起因するものと考えられる。バルク材は構成物質のずれによる塑性変形により変形する。したがって、変形抵抗の大きさがバルク材の変形に支配的である。一方、粉末は小さな外力でも容易に流動的に変形するが、圧粉体は粉末粒子の集合体で個々の粒子は

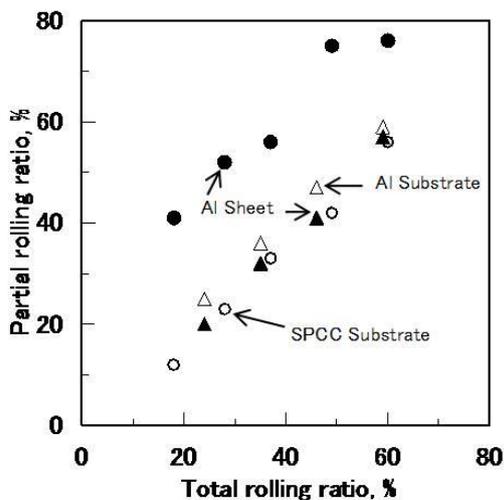


図 2 総圧下率および部分圧下率

接触しているだけで、バルク材のような一体とした物理的つながりはなく、その形状を保つ力は粒子相互間のからみ合いと摩擦力である。したがって、バルク材と圧粉体の圧延による変形は、バルク材同志の場合とは異なるものと考えられる。

図 3 は SPCC 基材に Al クラッド層を生成したクラッド材の総圧下率と部分圧下率の関係を示している。Al 基材の場合と同様に、SPCC 基材の部分圧下率（○、△）は総圧下率に対して直線的に変化する。クラッド層の部分圧下率（●、▲）は Al 基材の場合とは異なり、基材の部分圧下率よりも大きく、その差も Al 基材の場合よりも大きい。SPCC は Al 基材よりも硬さが高いため、変形抵抗が大きいことによるものと考えられる。また、Al 基材の場合と同様に部分圧下率は、F 粒（45-10 μ m）によるクラッド層（▲）の方が M 粒（150 \sim 45 μ m）によるもの（●）よりも小さい。基材は主に塑性変形するが、圧粉体は粒の塑性変形のみならず粒間のすべりによっても変形するためであると考えられる。また、F 粒は M 粒よりも粒の単位体積当たりの表面積が大きいため、F 粒のクラッド層の方が M 粒よりも部分圧下率が小さくな

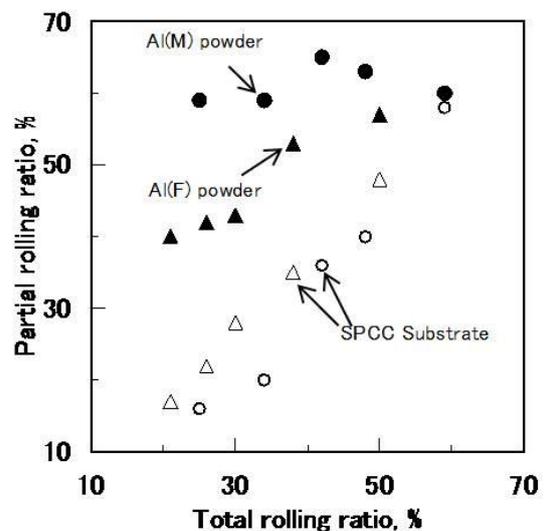


図 3 総圧下率および部分圧下率基材

ったと考えられる。さらに、総圧下率が大きくなるにしたがって、基材とクラッド層の部分圧下率の差が小さくなる傾向が伺える。

(2) クラッド層の密着強さ

Al 粉末の F 粒を用いて SPCC 基材に総圧下率約 40%のクラッド材を作製し、接着剤を用いて引張密着強さを測定した。その結果、クラッド層ははく離せず接着層で破断した。破断荷重から 3MPa 以上の引張強さがあると推定された。次に、せん断はく離試験によりせん断密着強さを測定した。圧延したままの密着強さは 40MPa であった。一方、773K で 3.6ks 加熱した試験片は 10MPa となり、圧延したままの強さよりも低下した。773K で 3.6ks 加熱した試験片の基材/クラッド層断面を光学顕微鏡で観察すると、SPCC 基材とクラッド層の間に約 $10\mu\text{m}$ 厚さの異相が生成している様子が伺えた。この異相は Fe と Al の金属間化合物と考えられ、密着強さの低下は主に金属間化合物の生成によるものであると考えられる。

(3) クラッド材の組織

Al クラッド材は 1073K に加熱すると溶融し、SPCC 基材表面を覆った。図 4 は 1073K に 36ks 加熱した SPCC 基材に Al クラッド層を生成したクラッド材の断面光学顕微鏡像を

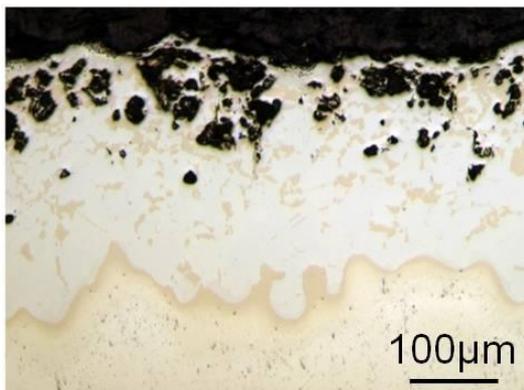


図 4 クラッド材の光学顕微鏡写真

示す。Al クラッド層は融点以上に加熱されているため溶融し、クラッド層内にコントラストを呈し、基材との化合物を生成している様子が伺える。XRD パターンから、 Fe_2Al_5 および FeAl の回折ピークが見られた。したがって、Al クラッド層と SPCC 基材により複数の Al-Fe 系金属間化合物が生成していることが分かる。1073K に加熱した Al クラッド材の基材/クラッド層の断面の EDX 分析により、 Fe_2Al_5 および FeAl 相に加えて基材/クラッド層界面付近では Fe_5Al_2 相の存在も確認された。Ni-30Al は 773K の加熱で Ni_2Al_3 および NiO が生成し、1073K の加熱で Ni は残留しているが Al は溶融して消失し、 Ni_2Al_3 を生成する。Ti-30Al は 773K の加熱で TiAl_3 を生成し、1073K の加熱で Ti は残留しているが Al および TiAl_3 は消失し、 TiAl_2 、 Ti_3Al および TiO_2 を生成した。

図 5 は SPCC 基材に Ti-30Al クラッド層を生成し、1073K に 36ks 加熱したときのクラッド層の組成像、Ti-K α 像および Al-K α 像である。組成像 (BSE) から、粒子内に外側から中心に複数のコントラストが確認される。Ti-K α 像 (Ti) および Al-K α 像 (Al) から、Al の融点以上の加熱のため溶融し Ti 粒子表面から拡散し粒内に複数の組成の異なる相の生成を呈している様子が伺える。したがって、1073K に 36ks の加熱により各クラッド層は金属間化合物を生成し、Ni-30Al および Ti-30Al クラッド層は、それぞれ Ni および Ti を残留し、NiO および TiO_2 酸化物を生成する。

(4) クラッド材の耐酸化性

図 6 に SPCC 基材に Al、Ni-30Al および Ti-30Al 層のクラッド材、SPCC およびねずみ鉄 (FC) を大気中の各温度で 36ks 加熱保持した場合の酸化増量を示す。なお、

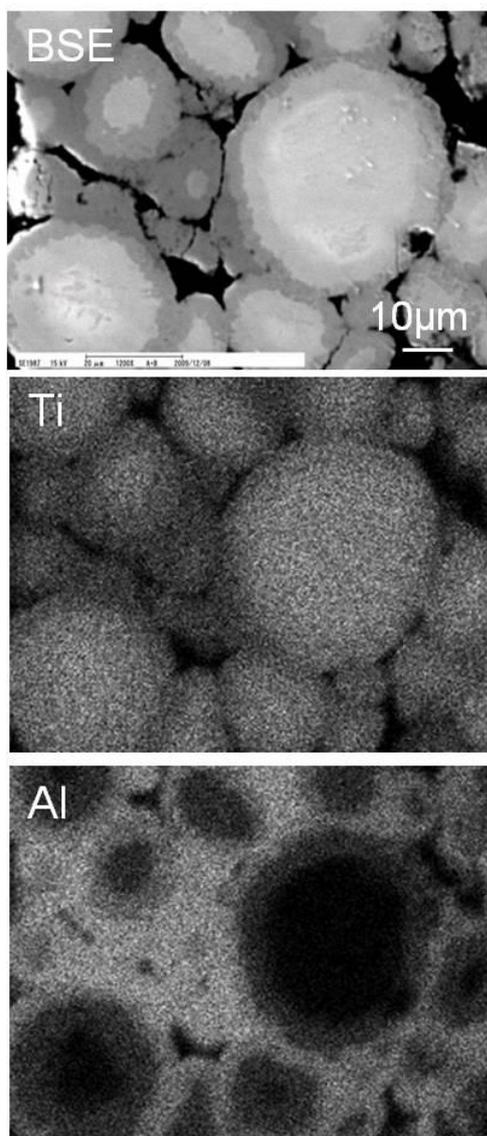


図5 Ti-30Al クラッド材の組成像

SPCC 基材も大気に曝露されクラッド層のみによる酸化増量は測定できないため、全体の酸化増量から SPCC 基材に相当する酸化増量を差し引いた。一般に、鉄鋼は 773K 以下の温度では激しく酸化することはない、773K では試験片の著しい酸化は認められなかった。また、鋳鉄は Si を含むため耐酸化性に富んでいる。一方、1073K では 773K の場合と比較すると、SPCC および FC 材は 1073K の酸化増量が 10 倍以上大きくなるのが分かる。クラッド材の酸化増量においては、酸化増量はわずかでありクラッド層による耐酸

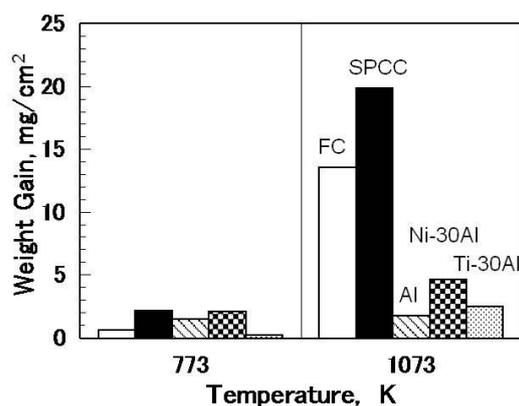


図6 クラッド材および比較材

化の効果が顕著に認められることが示される。また、Ni-30Al および Ti-30Al のクラッド材は Al の溶融によってクラッド層に気孔が生成するが、Al のクラッド材はクラッド層全体の溶融によって緻密に基材表面を覆ったため、酸化増量が最も小さくなったと考えられる。

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)

〔雑誌論文〕(計1件)

① 大坪文隆、恵良秀則、大気中冷間圧延による金属粉末のクラッディングとその特性、溶接学会全国大会講演概要、査読無、第 87 集、2010、136-137

〔学会発表〕(計1件)

① 大坪文隆、恵良秀則、大気中冷間圧延による金属粉末のクラッディングとその特性、溶接学会平成 22 年度秋季全国大会、2010 年 9 月 7 日、日本大学工学部 (福島県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大坪 文隆 (OTSUBO FUMITAKA)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：10243982

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし