

半熔融圧延に関する研究 第6報

—金属粉末を用いた積層型複合材料の製造・加工—

Study on Rolling of Metals in Mashy-State 6th Report

—Production of Clad Metals Composed with Metal Sheets and Metal Powder—

木 内 学*・杉 山 澄 雄*

Manabu KIUCHI and Sumio SUGIYAMA

1. はじめに

筆者らは、半熔融状態にある金属(合金)材料特有の性質を利用した半熔融圧延法の開発と、各種複合材料の製造・加工等への応用に関する一連の研究を行っている^{1)~6)}。

金属の積層型複合材料(クラッド材)の製造法については、これまで多くの方法が提案され、利用されている^{6)~9)}。これまでの製造法は、①塑性変形を利用した固相—固相の接合法(圧延圧接法¹⁰⁾¹¹⁾、圧接法、押し法、引抜き法、爆着法等)、②単に熱作用による固相—固相の接合法(拡散法、焼結法等)、③液相—固相の接合法(鍍金法、鑄ぐるみ法、溶射法等)に大別できる。

筆者らは、半熔融圧延圧接法により、金属粉末を用いた積層型複合材料の製造・加工を行った。本製造法は、上記分類によるならば、①と③を合わせた、塑性変形の利用も加味した液相—固相接合法といえる。本報では、圧延温度およびパス回数が、主に、素板と積層材の界面近傍の内部組織におよぼす影響について検討したので、その結果について報告する。

2. 本製造・加工プロセスの特徴

本製造・加工プロセスを図1に示す。本プロセスでは積層材に金属粉末を使用する。金属粉末は、一般に強固な酸化皮膜を有しているために、融点以上でも粉末の状態である(図2参照)。したがって、積層材の粉末は、融点以上に加熱されていても、なお粉末状態であり、圧延の開始と同時に酸化皮膜が破れ、素板との界面反応が始まるものと考えられる。以上のことから、本プロセスは以下の特長を有する。①圧延条件(圧延温度・圧下率・圧延速度・ロール温度・パス回数等)によって、素板と積層材の部分反応から全面反応まで、反応程度を任意に決定できる。②反応と加工を同時に行うために、接合困難な材料の組み合わせに対しても接合が可能となる。③多種類の金属粉末を混合し、積層材に用いることが可能である。

3. 実験方法・条件

積層材と素板の材質・寸法、ならびに、積層材と素板の組み合わせを表1に示す。素板は、表面を#100の研摩紙で磨いた後、エチルアルコールで脱脂してある。粉末の積層は、素板上に粉末を軽くふるい落とす方法で行った。初期積層厚さは、約0.1~0.3mmである。鑄鉄粉/ステンレス鋼板の組み合わせの場合は、アルゴンガス雰囲気中で加熱し、他の組み合わせのものはすべて大気中

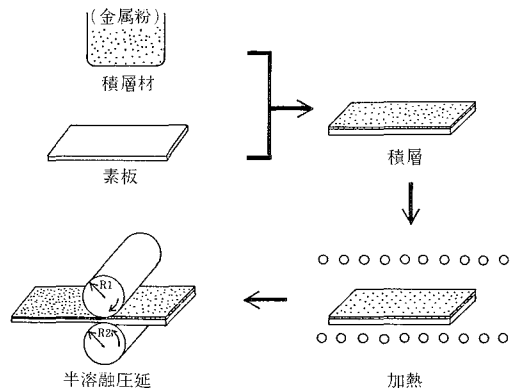
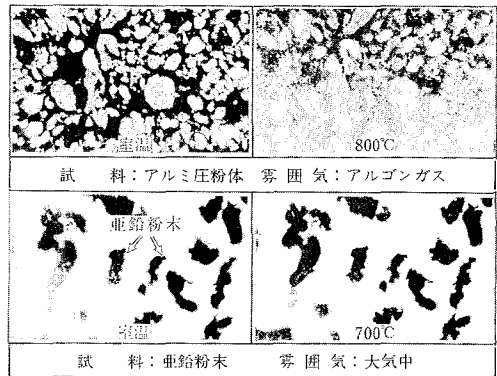


図1 金属粉末を用いた積層型複合材料の半熔融製造・加工プロセス



試料: 亜鉛粉末 雰囲気: 大気中

図2 金属粉末の高温観察

*東京大学生産技術研究所 第2部

表 1 積層材および素板の材質・寸法ならびに組み合わせ

積層材材質・寸法 (mm)	亜鉛粉 #250 99.7%アルミ粉 #200 3.3%C 鑄鉄粉 #200
素板材質・寸法 (mm)	A1050板 t3×W30×L200 A5052板 t3×W30×L200 C1100板 t1×W30×L150 チタン板 t1×W30×L150 SUS304板 t1×W20×L200
積層材と素板の組み 合わせ	① 亜鉛粉/A1050板 ② 亜鉛粉/A5052板 ③ 亜鉛粉/C1100板 ④ アルミ粉/チタン板 ⑤ 亜鉛粉/チタン板 ⑥ (亜鉛粉+アルミ粉)/チタン板 ⑦ 鑄鉄粉/SUS304板

表 2 半熔融圧延圧接条件一覧表

圧延温度 $T/^\circ\text{C}$	積層材に亜鉛粉 400~620 を用いた場合 " アルミ粉 600~810 " 鑄鉄粉 950~1160
パス回数	1~3
圧延速度 v/ms^{-1}	0.9
圧下率 $r/\%$	約20%
ロール	$\phi 250 \times 110\text{mm}$ 同径2段
潤滑	無

で加熱し、実験を行った。半熔融圧延圧接条件を表2に示す。今回は、圧下率、圧延速度は一定とし、圧延温度およびパス回数を変化させ実験を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 (a) 亜鉛粉/アルミ板

亜鉛とアルミは互いに良く固溶する金属材料である。また、純亜鉛の融点は約420°Cである。図3は、〈亜鉛粉/A1050板〉製品の圧延温度が、界面近傍の内部組織におよぼす影響を示す。図より、圧延温度 T_1 が450°Cの内部組織は、界面近傍に反応相が層状にできかけていることがわかる。圧延温度が500°Cでは、反応相がはっきり二層になってきている。さらに圧延温度が高くなると、反応相の層の厚さが増加してくることがわかる。

図4は、各パス後の製品の内部組織を示す。なお、ここでいう2パス圧延は、1パス圧延した製品を再度圧延することを意味する。②の内部組織から、第2パスの圧延温度が第1パスの圧延温度より低くても、反応相が十分に成長していることがわかる。また、③に示す内部組織からは、さらに反応相が進行し、アルミ素板を侵していることがわかる。

(b) 亜鉛粉/アルミ合金板

図5は、〈亜鉛粉/A5052板〉製品の内部組織を示す。A5052は、Al-Mg系合金の一種で、半熔融温度範囲は567~638°Cである。A1050素板を用いた図3と比較し

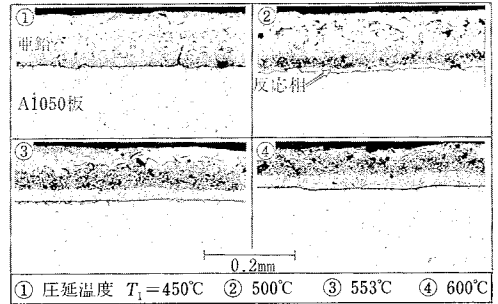


図3 〈亜鉛粉/A1050板〉製品の圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響

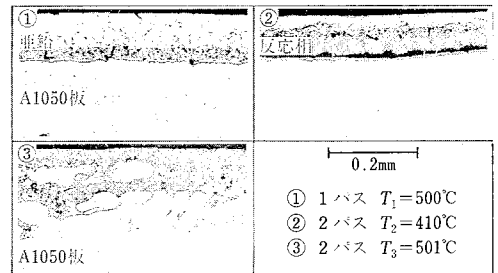


図4 〈亜鉛粉/A1050板〉製品の各パス後の内部組織

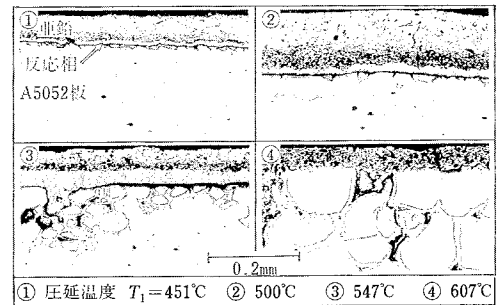


図5 〈亜鉛粉/A5052板〉製品の圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響

て、図5では、A5052素板側の界面近傍の内部組織が、圧延温度の上昇とともに、次第に粗大化してきていることがわかる。特に、圧延温度607°Cでは、A5052素板の半熔融状態とも重複して、組織の粗大化がさらに進行している。

4.2 亜鉛粉/銅板

亜鉛が銅に対し約45%以下含まれた合金は、真ちゅうとも呼ばれ、加工性に富む材料として知られている。図6は、〈亜鉛粉/銅板〉製品の圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響を示す。①の圧延温度 $T_1 = 400^\circ\text{C}$ の内部組織を見ると、界面に突起状に反応相が隆起していることがわかる。さらに $T_1 = 500, 550^\circ\text{C}$ と高くなるにつれて、突起が大きくなってきて、反応相が拡大している。

研 究 速 報

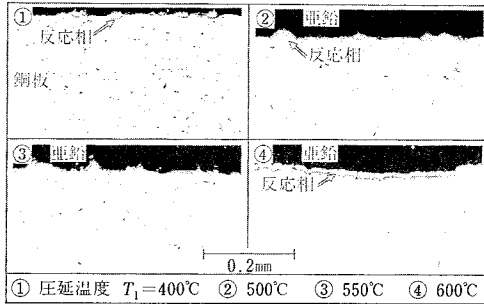


図 6 <亜鉛粉/銅板> 製品の圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響

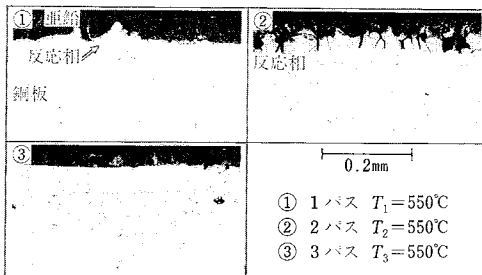


図 7 <亜鉛粉/銅板> 製品の各パス後の内部組織

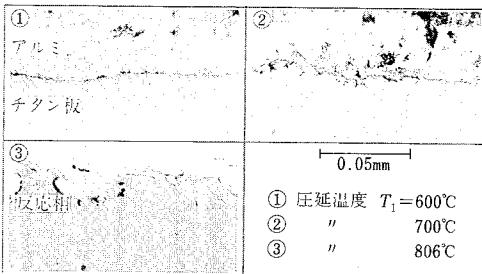


図 9 <アルミ粉/チタン板> 製品の圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響

④に示す $T_1 = 600^\circ\text{C}$ の圧延では、 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ の層になっていることがわかる。本プロセスでは、この例に示すように、圧延温度によって積層材と素板の部分反応から層を形成する反応まで、反応程度を任意に決定できる特長がある。

図 7 は、各パス後の製品の内部組織を示す。多パス圧延することによって、反応相の厚みが増加して行くことがわかる。また、図 6 と比較して、 $T_1 = 600^\circ\text{C}$ で 1 回圧延するより、 550°C で 2 回圧延をするほうが反応相が厚く形成されていることがわかる。

図 8 は、<亜鉛粉/銅板> 製品を板厚程度の曲率半径に曲げた部分の内部組織を示す。倍率を変えて示してある。反応相部分には、亀裂もなく、界面からの剥離も起こらないことがわかる。

表 3 <亜鉛粉/銅板> 製品 (2 パス後) のヒッカース硬さ

	①	②	③	④	⑤	ばらつき	平均
積層材	142	143	134	139	128	(R)=15.0,	$\bar{X}=137.2$
素板	83.9	75.9	87.8	91.4	87.0	(R)=15.5,	$\bar{X}=85.2$
圧延温度 $T_1 = 617^\circ\text{C}$, $T_2 = 607^\circ\text{C}$ 圧下率約 20%							

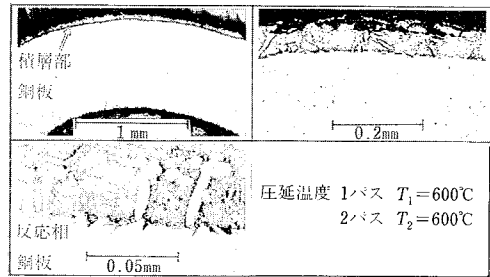


図 8 <亜鉛粉/銅板> 製品の曲げ加工後の内部組織

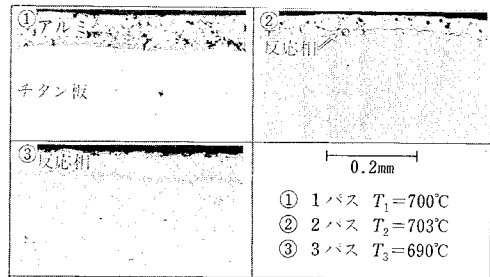


図 10 <アルミ粉/チタン板> 製品の各パス後の内部組織

表 3 は、表中に示す圧延条件のもとで製造した製品の、積層材と素板の硬さの比較を示す。積層部の硬さは、素板のそれに比べて約 6 割硬くなっていることがわかる。

4.3 (a) アルミ粉/チタン板

図 9 に、<アルミ粉/チタン板> 製品の、圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響を示す。 $T_1 = 600^\circ\text{C}$ で圧延した場合、界面は滑らかである。 $T_1 = 700^\circ\text{C}$ で圧延した場合、界面には $10 \mu\text{m}$ 程度の凹凸ができ、積層材のアルミとチタン素板が互いに入り組んでいる。 $T_1 = 806^\circ\text{C}$ では、界面近傍の一部でチタンとアルミの反応相が生成し、その内部には、丸みを帯びたチタンが固溶しきれずに浮遊しているのがわかる。

図 10 は、各パス後の製品の内部組織を示す。2 パス圧延では、積層材の約 $1/3$ が反応相である。3 パス圧延では積層材全域が反応相となっていることがわかる。

(b) 亜鉛粉/チタン板

図 11 に、<亜鉛粉/チタン板> 製品の各パス後の内部組織を示す。 $T_1 = 593^\circ\text{C}$ で 1 パス圧延した場合では、界面に突起状に反応相が生成されている。2 パス圧延では、界面近傍は完全に固溶した反応相ができている。さらに 3

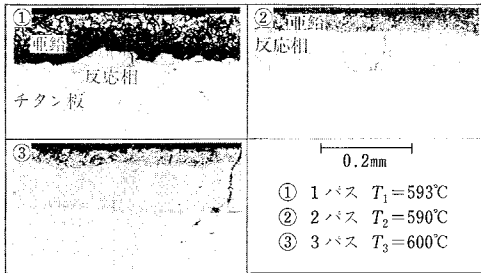


図11 <亜鉛粉/チタン板> 製品の各パス後の製品の内部組織

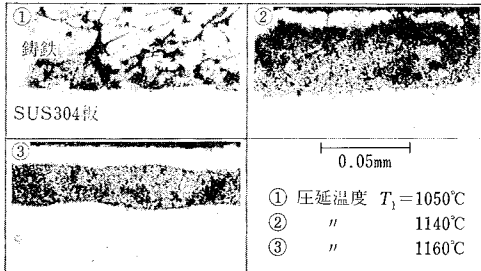


図13 <铸铁粉/SUS304板> 製品の圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響

パス圧延では、この反応相の積層厚さが増加していることがわかる。図10と図11を比較して、同じチタン素板を用いても、積層材にアルミ粉を用いた場合と亜鉛粉を使用した場合とでは、チタンに対する固溶度の差から、反応相の生成の仕方に違いがあることがわかる。

(c) (亜鉛粉+アルミ粉)/チタン板

図12は、亜鉛粉とアルミ粉の混合粉を積層材に用い、半溶融圧延圧接を行って得られた製品の内部組織を示す。亜鉛粉とアルミ粉の体積比が2:1(左)と、それが1:2(右)の場合である。積層部の中で白く固まっている部分がアルミで、黒く細かい組織になっている所が亜鉛である。アルミとチタンが接している部分と、亜鉛とチタンが接している部分では反応形態が異なっている。この例に示すように、積層材に混合粉を用いると、①界面での反応相の生成をコントロールすることができる。②積層材を目的にあった反応相の層に作り替え、積層部に特殊な機能を持たせることができる、といった特長がある。

4.4 铸铁粉/ステンレス鋼板

铸铁粉とステンレス鋼板は、これまで述べてきた異種金属どうしの組み合わせと違い、同系統の金属の組み合わせである。3.3%铸铁粉は約1130~1230°Cの範囲で半溶融状態となる。図13に、<铸铁粉/SUS304板> 製品の、圧延温度が界面近傍の内部組織におよぼす影響を示す。①の圧延温度 $T_1=1050^\circ\text{C}$ の内部組織は、铸铁粉が粒の形で残っている状態を示している。この温度では、

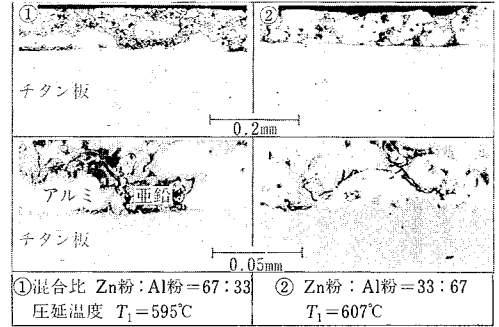


図12 <亜鉛粉+アルミ粉/チタン板> 製品の内部組織

鉄粉はまだ溶けだしていない、圧延温度が高くなるにしたがって、②③に示しているように、積層部が三層となり、炭素濃度の濃い部分が中間に集まり積層され、特異な構造が生成されていることがわかる。

5. ま と め

半溶融圧延圧接法により、積層材に金属粉を用いた積層型複合材料(クラッド材)の製造・加工を行った。①亜鉛粉/A1050板、②亜鉛粉/A5052板、③亜鉛粉/銅(C1100)板、④アルミ粉/チタン板、⑤亜鉛粉/チタン板、⑥(亜鉛粉+アルミ粉)/チタン板、⑦铸铁粉/SUS304板の合計7通りの組み合わせについて、圧延温度およびパス回数が、主に、製品の界面近傍の内部組織に与える影響について考察を行った。その結果、圧延条件(圧延温度、パス回数)によって反応程度を任意に決定できることがわかった。また、積層材の粉末の組み合わせを、固溶型、金属間化合物生成型等考えることによって、特殊な機能を有する積層型複合材料の製造が可能であることを示した。(1986年11月13日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・杉山・星野・川桐: 昭59春塑加講論, 1984-5, 187
- 2) 木内・杉山・川平・富岡: 第35回塑加連講論, 1984-11, 311
- 3) 木内・杉山・富岡・川平: 昭60春塑加講論, 1985-5, 57
- 4) 木内・杉山・富岡・川平: 同上, 61
- 5) 木内・杉山・富岡・川平・鎌田: 第36回塑加連講論, 1985-10, 543
- 6) 浅野祐一郎: アルトピア, 1971-5, 63
- 7) 浅野祐一郎・金井富義: 同上, 1971-7, 75
- 8) 浅野祐一郎・金井富義: 同上, 1971-9, 41
- 9) 小西健司・参木貞彦: 塑性と加工, 19-213, 1978-10, 814
- 10) 田中英八郎・福田武司・鈴木善彦・中元正弘: 塑性と加工, 12-127, 1971-8, 622
- 11) 吉原征四郎・川並高雄・鈴木堅市: 鉄と鋼, 72-6 1986, 671