

半溶融圧延に関する研究 第5報 —鉄系積層型粒子強化複合材料の製造・加工(2)—

Study on Rolling of Metals in Mashy-State・5th Report

—Investigation into Production and Working of Particle Reinforced Layered Composite Metals by Mashy-State Rolling—

木 内 学*・杉 山 澄 雄*・富 岡 美 好**

川 平 哲 也***・鎌 田 正 誠****

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA, Miyoshi TOMIOKA, Tetsuya KAWAHIRA and Masamoto KAMATA

1. は じ め に

筆者らは、半溶融状態における金属(合金)材料の諸特性を利用した、加工プロセスの開発について一連の研究を行っている。前報¹⁾では、鉄系材料の表面に、鉄系マトリックスと強化粒子との複合体を積層する積層型粒子強化複合材料の製造・加工を試み、亀裂・空隙等がなく、接着性も良好で、耐摩耗性に優れた製品が得られることを報告したが、本報では、製品の良否判別の基本的因子の1つである、積層部の密着性、および構成条件の異なる複合層を重ねて積層させた、多層積層型粒子強化複合材料の製造を試みたので、その結果について報告する。

2. 実験方法および条件

積層型粒子強化複合材料の製造プロセスの概要を、図2に示す。すなわち、まず、素板の上に複合層を任意の厚さで積層し、これを加熱炉内で、マトリックスが所定の半溶融状態になるまで加熱、保持した後、ロール間に挿入し圧延する方法である(図1参照)。また素板上に2種類の複合層を重ね、強化粒子の体積含有率および粒度の異なった、多層複合構造を持つ積層型粒子強化複合材

料の製造も、同様のプロセスにより試みた。

なお、図3に示すようなプロセスにより製造した製品を密着試験片として用い、種々の条件因子(強化粒子の体積含有率・粒度・圧延温度)が製品の密着強さに与える影響について調べた。表1に実験条件をまとめて示す。素板にはSUS 304を、複合層としては、〈铸铁粉+還元鉄粉+アルミナ粉〉の混合粉を用い、加熱中炉内には、酸化防止のためアルゴンガスを流した。

3. 実験結果および考察

3.1 積層部の密着試験

本プロセスで製造した積層型粒子強化複合材料は、素板表面に種々の厚さの複合層を積層させたものである。その各種特性を評価する適切な方法が確立されていない。これは、製品の実用化に際して重要な特性因子となる密着性についても同様である。そこで、本研究では次のような方法により密着性の評価を行った。まず、先

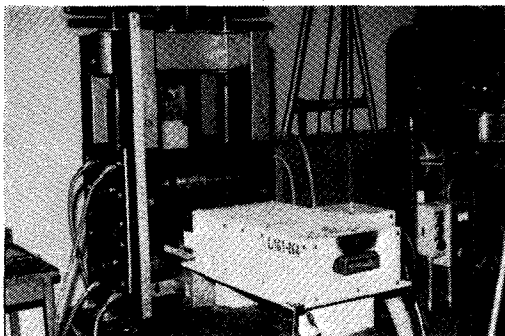


図1 半溶融圧延装置

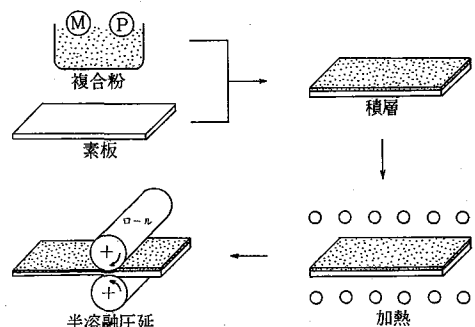


図2 半溶融圧延による積層型粒子強化複合材料の製造・加工プロセス

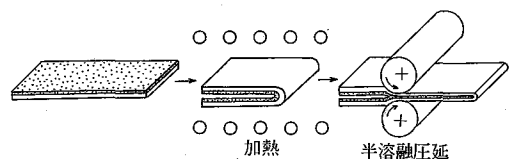


図3 密着試験片の製造プロセス

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 松本精機(株)

*** 三井アルミニウム(株)

**** 日本鋼管(株)

研 究 速 報

に示した方法で、複合層を素板間に狭み込んだ製品を作成し、これに図4に示すようなスリットを入れ、試験片とし、その両端を試験片の長手方向に引っ張り、そのは

く離または破断時のせん断力を、密着強さを評価する因子とした(図5参照)。

ただし、この試験法において、はく離、または破断部分の形態は、図6に示すように、

A: 複合層と素板との界面における完全な剝離

B: 複合層内部の完全な層間分離

C: AとBが混在する場合

の3種類が考えられるが、ここでは、その形態によらず、みかけの最大せん断応力を密着強さとして表した。

ところで、本プロセスによる製品の複合層と素板との接合は、主として素板表面に対する複合層の融着および機械的かみつきによる効果が大いと考えられ、その場合、密着強さは素板表面の粗さにも影響を受けられる。そこで、素板表面を粗面化した場合としない場合との比較も試みたが、大きな差はみられなかった。これ

表1 実験条件一覧表

素 板	SUS 304
複合層	铸铁粉(3% C)+還元鉄粉 +アルミナ(WA)粉
強化粒子 粒 度	アルミナ(WA)粉 #100~#1500
体積含有率 V_p /%	0~70
圧延温度 $T/^\circ\text{C}$	1050~1250
炉内雰囲気	アルゴンガス(3l/min)
圧延速度 v/ms^{-1}	0.7~0.9
ロール寸法	同径二段($\phi 250 \times 110\text{mm}$)
潤滑	無
圧延機電動機	VS モータ22 KW

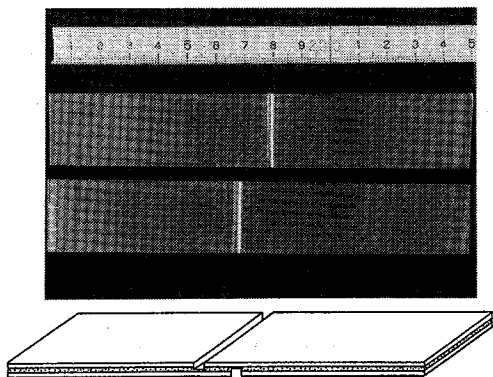


図4 密着試験片

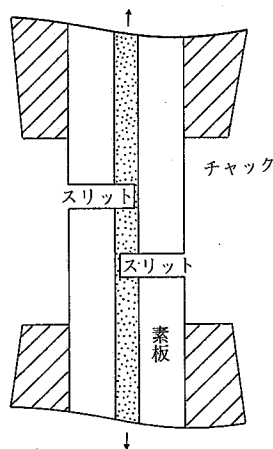


図5 密着試験方法

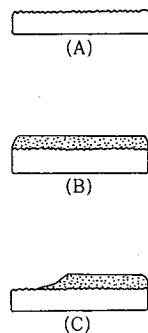


図6 複合層と素板との剝離状態

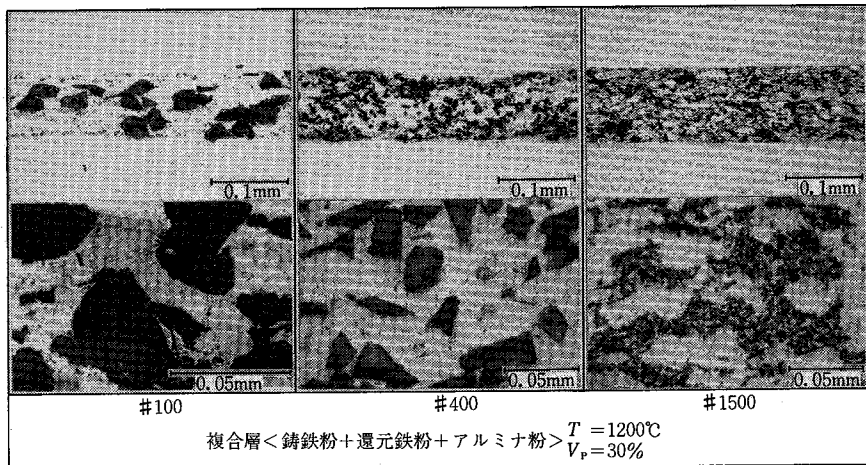


図7 試験片の内部組織

研 究 速 報

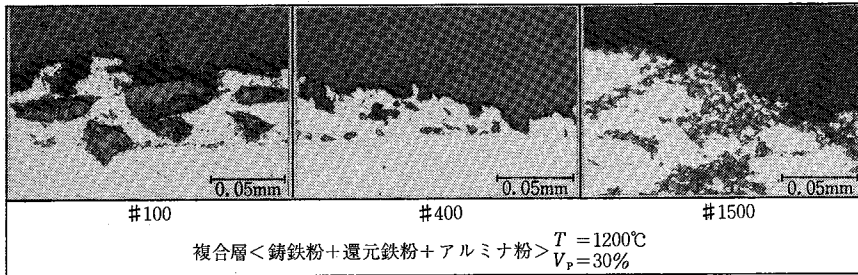


図 8 剥離および破断部の内部組織

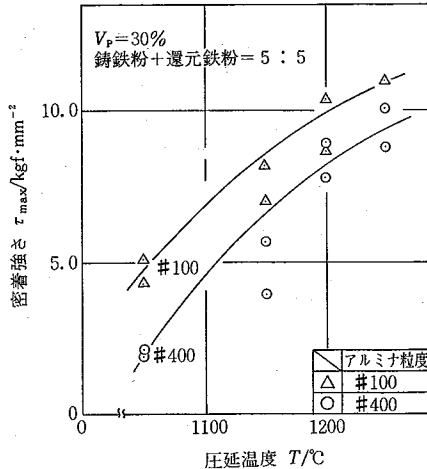


図 9 圧延温度と密着強さの関係

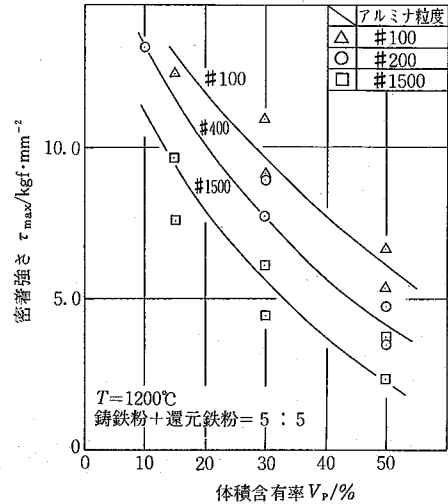


図 10 強化粒子の体積含有率と密着強さの関係

は、溶射法などとは異なり、本プロセスでは積層化に際して大きな圧延圧力が作用するため、素板表面がなめらかであっても、強化粒子の素板への食い込みが起るためであると思われる。

図 7 に密着性試験片の内部組織を示す。強化粒子の体積含有率はすべて 30%，圧延温度もすべて 1200°C の試験片である。図中複合層の領域で白く見える部分は、マトリックスの鉄粉であり、黒く見える部分が、強化粒子のアルミナ粒である。アルミナ粒度が #400 の製品では粒の分散性もよく、アルミナ粒間に液相成分が十分浸透しているようすが観察される。また #100 の製品についてもこれと同様なことがいえる。しかし、#1500 の製品では、鉄粉に比べアルミナの粒径が著しく小さいためアルミナ粒が鉄粉の間に凝集し、液相成分が粒間に十分浸透せず、この加工条件の場合、空隙等の欠陥もみられる。

また、せん断試験後のそれぞれの破壊部のようすを図 8 に示す。これらの場合、破断は、どの試験片についても複合層内部で生じていることが観察される。このことより、素板と複合層との密着強さは、複合層内部のそれより大きいことがわかるが、この結果は図 3 に示す試験

片の製造方法の影響を受けている可能性もあるので、今後、より詳細な検討が必要である。

図 9 は、密着強さに与える圧延温度の影響について示したものである。なお、強化粒子の体積含有率はすべて 30% の製品である。製品の密着強さは、半溶融圧延温度の上昇に伴いだいに大きくなり、1050°C で熱間圧延による製品に比べ、1250°C の半溶融圧延により製造した製品では、5 倍以上の大きな値となっている。このように、半溶融圧延では、マトリックスの液相成分が強化粒子を包み込んだ状態で圧延され凝固するので、マトリックスと強化粒子の機械的な結合が強固となり、素板と界面ばかりでなく複合層内部での密着力も増すものと考えられる。さらに半溶融状態における液相成分が多いほど、密着力が大きくなっていることもわかる。

なお本実験で用いた鑄鉄のせん断強さは約 23 kgf/mm²、(鑄鉄粉+還元鉄粉)のせん断強さは、約 17 kgf/mm² であった。これに対して、本プロセスによる製品の複合層のせん断強さは、1250°C で半溶融圧延した製品が最も大きな密着強さ (#100=11 kgf/mm², #400=10

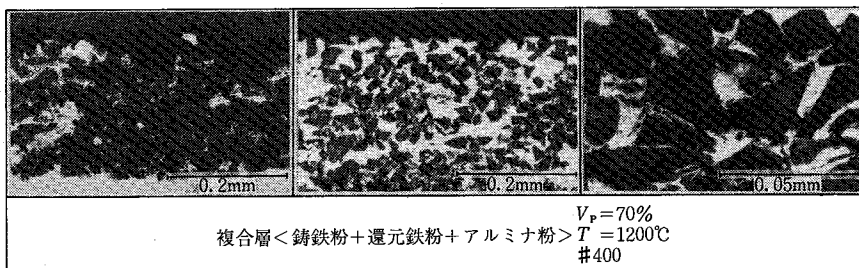


図 11 強化粒子を高濃度に含有した製品の内部組織

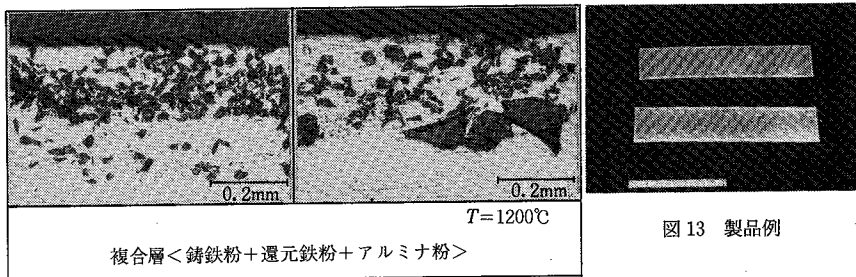


図 12 多層積層型粒子強化複合材料の内部組織

図 13 製品例

kgf/mm²)を示しており、アルミナの含有率が30%であることを考慮すれば、複合層のせん断強さとしては良好な結果であったと判断できる。

図10は、強化粒子の体積含有率と粒度が密着強さに与える影響について調べた結果であり、これらの場合圧延温度はすべて1200°Cである。本プロセスの半溶融圧延圧接では、素板・マトリックス間の密着は拡散接合による効果も考えられるが、強化粒子のアルミナ粒とマトリックスの密着は、アルミナ粒をマトリックスの液相成分が取り囲むことによって生じる機械的な結合であるため、素板・マトリックス間に比較して、若干密着力に劣ると考えられる。強化粒子の体積含有率が高くなるとその影響も大きくなり、複合層内部の密着力の低下をまねくようである。#1500のアルミナ粒を用いた製品の密着強さが、他のものに比べ劣っているのは、先に述べたように、アルミナ粒が鉄粉の間に凝集して、粒間に液相成分が十分浸透していないということと共に、強化粒子の総表面積が大きいため、上述の影響が現れていると考えられる。

3.2 多層積層型粒子強化複合材料の製造・加工

図11の左の写真は、前報¹⁾で報告した、複合層内の強化粒子の体積含有率が70%の製品であるが、強化粒子の量が過多であるため液相成分が不足し、空隙等の欠陥が観察される。そこで不足した液相成分を補うために、強化粒子を含まない層を下に敷き、その上に同様の複合層を重ねて半溶融圧延を行ったところ、右および中央の写真のように、空隙がなく、強化粒子を高濃度に含有した

良好な製品を作ることができた。

また、同様な方法で、構成条件の異なる複合層を重ね、多層構造をもつ製品の製造も試みた。その例を図12に示す。左は体積含有率の異なる(下:10%, 上:70%)複合層を、右は粒度の異なる(下:#100, 上:#400)複合層を、それぞれ二層に積層させた製品であるが、どちらも良好な密着状態にあることがわかる。

4. ま と め

金属(合金)材料、ならびに金属—セラミック複合材料の半溶融製造加工プロセスの一貫として、半溶融圧延法による鉄系材料の、積層型粒子強化複合材料の製造および、得られた製品の密着強さについて検討を行った結果、一定の条件下での半溶融圧延により、密着力に優れた製品を得られることが確認された。また、強化粒子を高濃度に含有した製品、あるいは構成条件の異なる複合層を積層させた多層積層型粒子強化複合材料の製造も可能であることを示した。これらの製品は、前報¹⁾でも報告したとおり、対摩耗性に優れた表層構造を有し、かつまた、内曲げなどの冷間加工性等の特性を有しているため、構造用部品等への応用が可能であり、その実現が期待される。

(1985年8月23日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・杉山・富岡・川平：昭和60 春塑加講論，(1985-5)，57
- 2) 木内・杉山・富岡・川平：第31 回塑加連講論，(1984-10)，301