

# 半溶融圧延に関する研究 第4報 —鉄系積層型粒子強化複合材料の製造・加工—

Study on Rolling of Metals in Mashy-state 4th Report  
—Investigation into Production and Working of Particle Reinforced Composite Metals  
Laminated by Mashy State Rolling—

木内 学\*・杉山 澄雄\*・富岡 美好\*\*・川平 哲也\*\*\*  
Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA, Miyoshi TOMIOKA and Tetsuya KAWAHIRA

## 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<sup>1)</sup>では、アルミ合金材料の表層部に強化粒子を積層する、積層型粒子強化複合材料の製造・加工について報告したが、本報では、材質を非鉄材料から鉄系材料へと拡張し、前報同様、積層型粒子強化複合材料の製造および、諸条件における製品の内部組織の観察、摩耗試験等を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 実験方法および条件

本実験においては、素板として、S45C および、SUS304 を用いた。また、ライナーとしては、〈铸铁粉+還元鉄粉+アルミナ粉〉の混合粉を用いた。铸铁粉と還元鉄粉の混合比は、〈1:9~9:1〉の範囲である。

実験手順は、以下のとおりである。図1に示すように、まず素板の上にライナーを0.01 mm 以上任意の厚さで積層し、これを、ロール入側直前に設置した高周波誘導加熱炉内にセットし、被圧延材の積層部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、ロール間に挿入する方法で行った。なお、炉内には酸化防止のためアルゴンガスを流した。

実験条件としては、表1に示すように、強化粒子（アルミナ粉）の粒度および、体積含有率、圧延温度、見かけ圧下率〈前報と同様に定義する〉をそれぞれ変化させ、各種条件因子が、製品性状あるいは、摩耗性に与える影響について調べた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 圧延条件と製品性状

積層型粒子強化複合材料の製造、加工条件としては、種々の因子が考えられるが、以下、主に顕微鏡観察を通

し、それぞれの影響について述べる。また、本実験では、素板に S45C と SUS304 の二種類を用いたが、結果は同様であり、素板材質による影響はみられなかった。

図2は、強化粒子の体積含有率と見かけ圧下率が、製品性状に与える影響について示したものであり、健全な

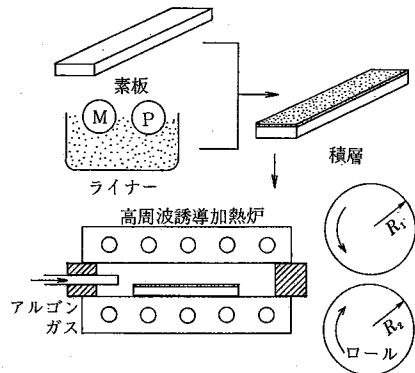


図1 半溶融圧延による積層型粒子強化複合材料の製造・加工プロセス

表1 実験条件一覧表

素板	S45C,SUS304(2.5'×40'×200')
ライナー	铸铁粉(3% C)+還元鉄粉 +アルミナ(WA)粉
強化粒子 粒度 体積含有率 $V_p$ /%	アルミナ(WA)粉 #100~#1500 0~70
積層厚さ	0.01 mm 以上
圧延温度 $T/^\circ\text{C}$	1050~1250
見かけ圧下率 $r$ /%	15 以上
炉内雰囲気	アルゴンガス (3 l/min)
圧延速度 $v/\text{ms}^{-1}$	0.7~0.9
ロール	同径二段 ( $\phi 250 \times 110$ mm)
潤滑	無
圧延機電動機	VS モータ 22 KW

\* 東京大学生産技術研究所 第2部  
\*\* 松本精機(株)  
\*\*\* 三井アルミニウム工業(株)

研究速報

製品を得るための加工条件の範囲を推定した。製品の評価方法は、前報<sup>1)</sup>と同様であり、 $\triangle \square \diamond =$ 良品、 $\blacktriangle \bullet$   $\blacksquare \blacklozenge =$ 一部未結合・接合不良、 $\blacktriangle \bullet \blacksquare \blacklozenge =$ 未結合で表した。

図から明らかなように、強化粒子の体積含有率が高くなると、製品性状は悪化する。これは、マトリックスの液相成分の量に対して強化粒子の量が過多になり、強化粒子が、マトリックスの溶液中に十分混入出来ず、強固な結合が得られないためである。また、粒度が細かくなるにしたがい加工限界範囲も狭まってくるが、これは、強化粒子の粒径が鉄粉に比べて著しく小さくなるため、均一に分散せず鉄粉の間に凝集し、マトリックスの液相成分が十分浸透しないためと考えられる。したがって、こ

の問題については、鉄粉の粒径を小さくすることにより改善が可能であると思われる。また、見かけ圧下率が大きくなることにより、製品性状も向上していることがわかる。

3.2 圧延条件と製品の内部組織

図3は、強化粒子の粒度の違いを示したものであり、体積含有率はすべて30%である。ライナー部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。

粒度が#400、#800の製品では、共に、強化粒子が均一に分散している様子が観察される。また、#100の製品では粒度が大きいので、わずかに数層ではあるが、これについても同様なことがいえる。しかし、#1500の製品になると、鉄粉に比べ強化粒子の粒径が著しく小さくなるので、鉄粉の間に凝集している様子がわかる。

図4は、強化粒子の含有率の違いを示したものである。強化粒子の体積含有率が30%の製品では、アルミナ粒の分散性もよく、液相成分が十分浸透している様子がわかる。このように半熔融状態では、マトリックスの粒表面部が溶解し、この液相が、強化粒子を包み込んだ状態で圧延され、凝固するので、相互の結合が強固となり、粒子強化複合材料としての所定の効果が得やすいわけであるが、含有率が70%の場合では、液相成分の量に比べて強化粒子の量が過多になり、アルミナ粒のみで分布し、接合面の性状も悪化している様子がわかる。

図5は、圧延温度が製品性状に与える影響について示したものである。圧延温度が1050°Cの製品では、固相分

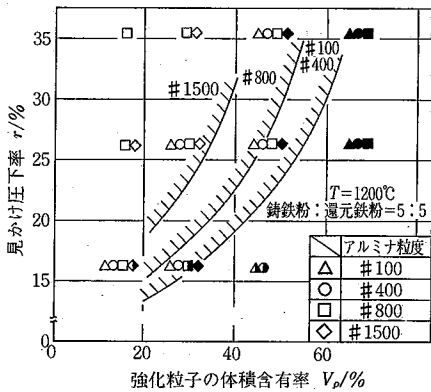


図2 強化粒子の体積含有率および見かけ圧下率が製品に与える影響

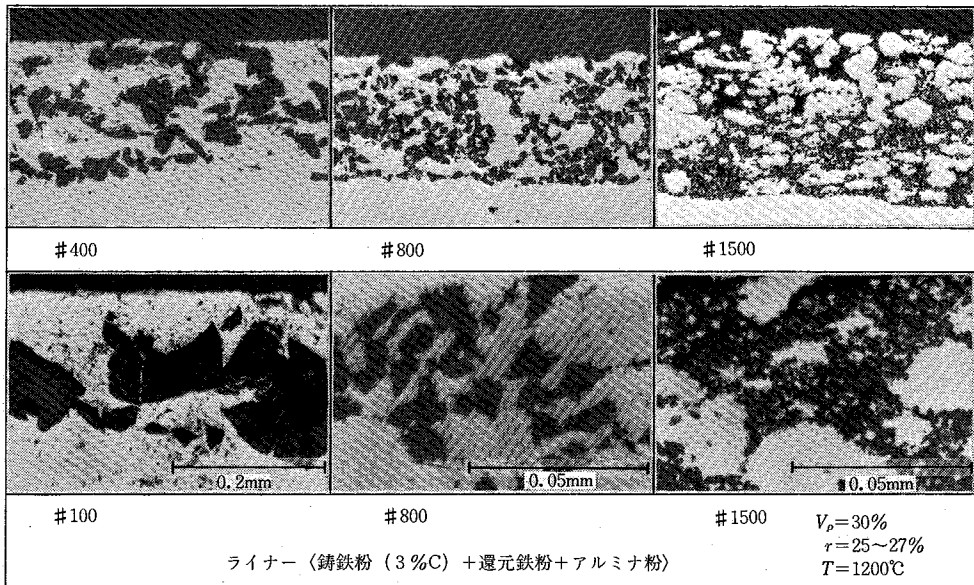


図3 強化粒子の粒度が製品に与える影響

研究速報  
 率が 100% であり、かつまた、十分な拡散が行われず、粒の境界が亀裂状に観察される。一方、半熔融領域である 1200°C では、液相成分が存在するため、それらが互いに流入しあうことにより新生面を作りやすい。したがって、拡散接合も起りやすい状態にあり、亀裂等の欠陥が少なく、接合面の性状にも優れた良好な製品となっていることがわかる。  
 図 6 は、再圧延の効果について示したものである。再

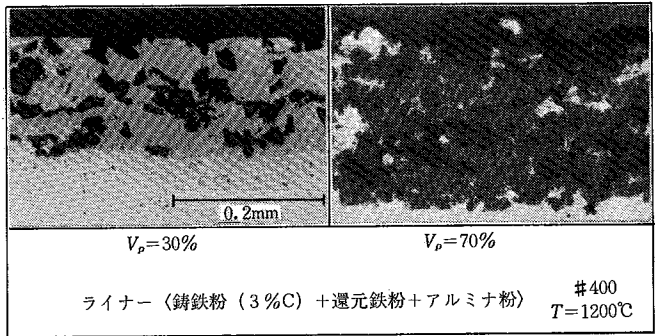


図 4 強化粒子の体積含有率が製品に与える影響

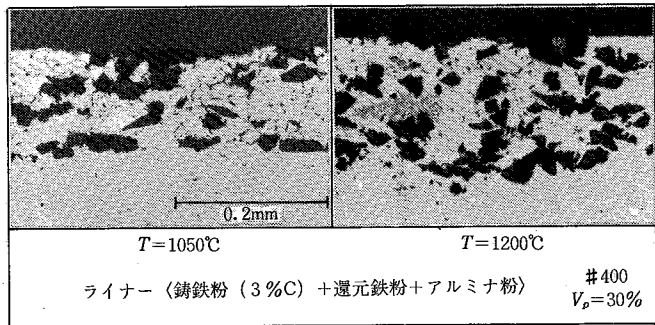


図 5 圧延温度が製品に与える影響

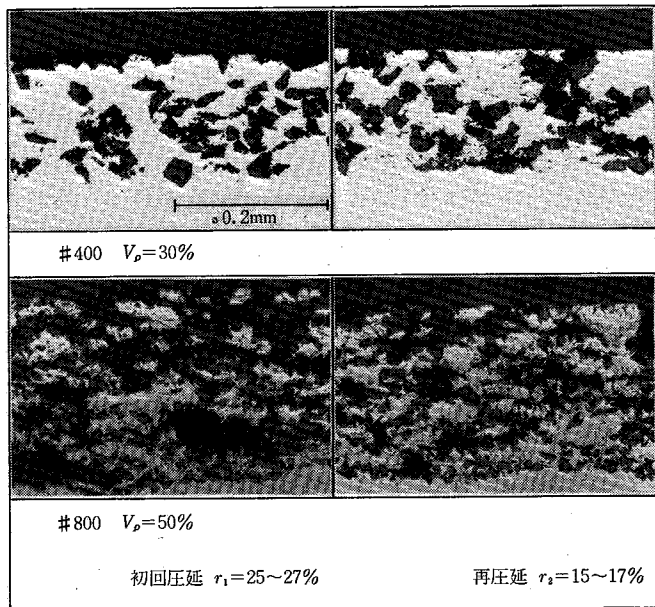


図 6 再圧延の効果

研究速報

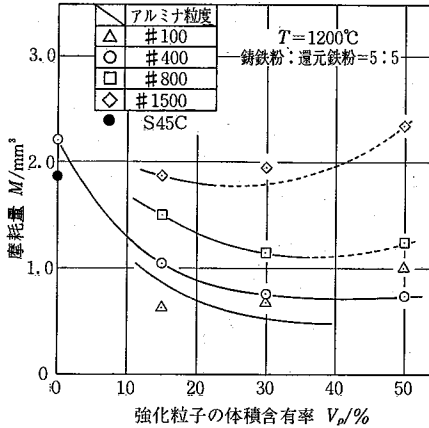


図7 強化粒子の体積含有率と摩耗量の関係

圧延を行うことにより、強化粒子の分散性が向上し、製品表面の平滑性にも優れた、さらに良好なものを得ることが出来た。

3.3 製品の摩耗特性

図7に、本実験により得られた製品の摩耗試験結果を示す。試験方法は、既報<sup>2)</sup>に示す装置および条件のもとで行った。図より明らかなように、摩耗量は、体積含有率  $V_p$  の増加に対して減少し、素板と比較して、耐摩耗性が向上していることがわかる。しかし、 $V_p$  が40%~50%以上になると、摩耗量も増え始める傾向にある。これは、液相が不足して強化粒子の結合が不完全となり、粒が脱落する割合が増加することによって、摩耗が促進するためであると思われる。また、#1500の製品の摩耗量が多くなっているが、これは、先に示したような理由で、強固な結合が得られていないためであると思われる。

3.4 積層型粒子強化複合材料による管の作成例

図8は、本実験により製造された、積層型粒子強化複合材料の製品例である。

また、図9は、上記の製品を成形して得た管であり、内面に強化粒子が積層されている。それぞれφ60, φ40 mmのものであるが、内曲げ(積層部内側)に関しては、積層部の伸び変形がほとんど零となるため、健全な成形が可能であった。

図10は、φ40の製品の内部組織である。接合面・表面に、割れ・剝離等のない良好な製品となっていることがわかる。

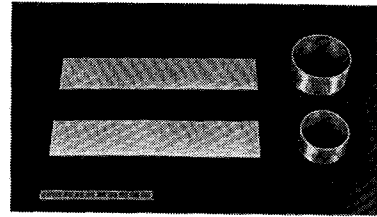


図8 製品例

図9 管の作成例

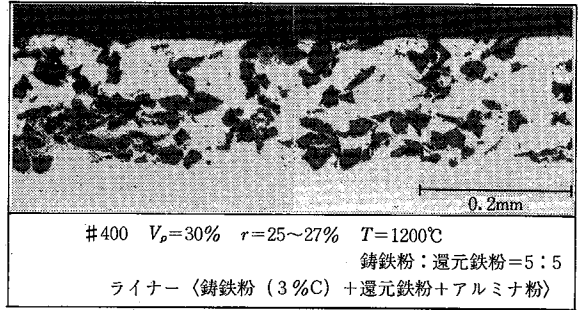


図10 内曲げ部の内部組織

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熔融加工プロセスの開発の一環として、鉄系材料での、半熔融圧延における積層型粒子強化複合材料の製造について検討を行った結果、本加工法により、マトリックス金属粉と強化粒子の密着性、積層材と素板との接合性、および、強化粒子の分散性に関して優れた製品を作ることが出来た。また、強化粒子の特性を十分に生かす、製品の耐摩耗性の向上をはかり得ることが確認された。さらに、内曲げ等の二次加工も可能であるため、構造用部品等への応用が期待される。なお、本加工プロセスが適用できるライナー材質の範囲は、本報告で示した範囲にとどまらず、鑄鉄粉・還元鉄粉の他、Ni, Co, Cr等の添加粉、強化粒子としてはアルミナ粉の他、炭化珪素粉その他各種のセラミック粉・セラミック繊維・ウイスカーなどを用いることもできる。(1985年4月10日受理)

参考文献

- 1) 木内・杉山・川平・富岡: 昭60 春塑加講論, (1985-5), 57.
- 2) 木内・杉山: 第31回塑加連講論, (1980-11), 223.