

半溶融圧延に関する研究・第7報 ——積層型複合鋼板の製造・加工——

Study on Rolling of Metals in Mashy-State · 7th Report

——Production of Clad Metals Composed with Steel Sheets and Cast Iron Powder——

木内 学*・杉山 澄雄*
Manabu KIUCHI and Sumio SUGIYAMA

1. はじめに

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

前報では、①亜鉛粉/アルミ板②亜鉛粉/アルミ合金板③亜鉛粉/銅板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/ステンレス鋼板の組み合わせについて、半溶融圧延圧接法により、積層型複合材料(クラッド材)の製造・加工を行い、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。

本報では、前報の鑄鉄粉/ステンレス鋼板の結果に着目し、材料の組み合わせを、鑄鉄粉/純鉄板ならびに(鑄鉄粉+還元鉄粉)/SPCC板に限定し、圧延温度・圧下率の各条件が、製品の内部組織・界面構造および積層厚さに与える影響などについて検討したので、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、また、積層材に用いた鑄鉄粉・還元鉄粉の断面形状および内部組織を図1に示す。図2に、半溶融圧延圧接による積層型複合鋼板の製造・加工プロセスを模式的に示す。本プロセスにおいては、前報と同様に、素板は、#100の研磨紙で磨き、エチルアルコール

で脱脂し、表面性状を一定にしてある。その素板上に、粉末を軽くふるい落とす方法で、初期積層を行う。初期積層厚さ t_{c1} は、基本的には、0.2~0.5mm(t_{c1} /素板厚さ t_{b1} =0.06~0.22)の範囲としているが、初期積層厚さ t_{c1} と製品積層厚さ t_{cf} との関係を知るために、一部、 t_{c1} を1.0~1.3mm(t_{c1}/t_{b1} =0.46~0.68)と厚くしたものもある。積層した被圧延材の加熱は、アルゴンガス雰囲気中で行う。圧延は、被圧延材を所定の温度に約5分間保持し、その後、駆動中のロール間に挿入する方法で行う。そのほか、半溶融圧延圧接条件をまとめて表2に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 鑄鉄粉/純鉄板, 鑄鉄粉/SPCC板

前報の結果から、圧延条件(たとえば、圧延温度)の

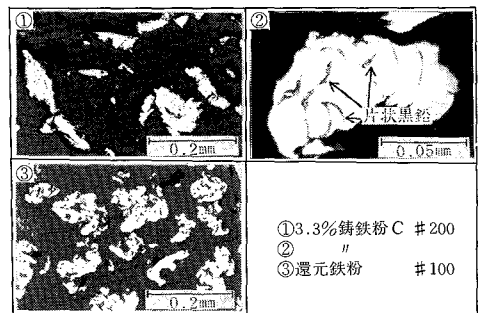


図1 積層材に用いた鑄鉄粉、還元鉄粉の断面形状・内部組織

表1 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

積層材材質・寸法	3.3%C鑄鉄粉 #200 還元鉄粉 #100
素板材質・寸法 (mm)	純鉄板 t3.0×w40×L200 (0.03%C電磁軟鉄板) SPCC板 t3.2×w40×L200 (0.12C以下冷間圧延鋼板)
積層材と素板の組み合わせ	鑄鉄粉/純鉄板 鑄鉄粉/SPCC板 (鑄鉄粉+還元鉄粉)/SPCC板

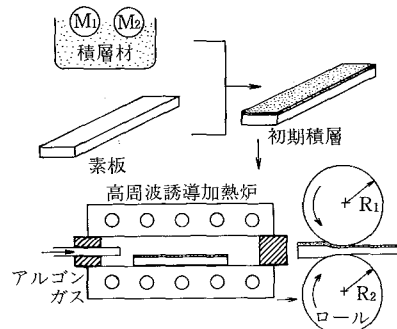


図2 半溶融圧延による積層型複合鋼板の製造・加工プロセス

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報
 変化に対する鑄鉄粉中の黒鉛の挙動を知ることが、製品性状・特性を考えるうえで重要である、との知見を得ている。そこで、まず、鑄鉄粉/純鉄板の組み合わせについて、製品の内部組織に与える圧延温度の影響について調べた。図3にその結果を示す。なお、3.3%C鑄鉄粉は、約1130~1230°Cの範囲で半溶融状態となる。図から、約1100°Cで圧延した製品積層部には、片状黒鉛を有する元の鑄鉄粉の形態が残っているのに対し、1150°Cで圧延した製品では、片状黒鉛はなく、元の鑄鉄粉の粒界に黒鉛が凝集し、網目状に分布するようになる。さらに圧延温度が高くなると、黒鉛は、積層部の中間に、層状に集積していることがわかる。図4には、鑄鉄粉/SPCC板の組み合わせについて、圧延温度が製品の内部組織に与える影響を示す。図から、圧延温度が高くなるに従って、片状黒鉛を有する組織から黒鉛の網目状組織、さらに、黒

鉛が積層部中間に集積する組織に変わっていることがわかる。このことは、図3に示した鑄鉄粉/純鉄板の結果と同じである。図5は、鑄鉄粉/純鉄板、鑄鉄粉/SPCC板の、製品の板厚方向における硬さ分布を示す。図から、圧延温度が高い場合、積層部一基板界面近傍の硬さが硬くなっていることがわかる。これは、鑄鉄粉中の炭素成分の一部が、素板に拡散したためであると考えられる。また、図3・図4に示す結果については以下のように考えられる。すなわち、図1に示すように、黒鉛は鑄鉄粉の粒内に析出し分布しているが、その黒鉛を取り巻く周辺組織は炭素含有量の多いことが予想され、加熱に伴って、その部分から溶け始めると考えられる。これを図6(a)に模式的に示す。したがって、半溶融状態では、黒鉛は、液相に取り囲まれ、移動しやすい状態におかれており、圧延により、容易に粒内でまたは粒内から粒外に移動する。半溶融温度が低く、黒鉛を取り巻く液相成分が比較的少ない場合には、黒鉛が粒界に凝集し、図3・図4に示す黒鉛の網目状組織となる。また、半溶融温度が高く、液相成分の多い場合には、黒鉛が粒界からさらに表層部に流出するが、その際、その一部は素板側へ移動し、素板との界面近傍に層状に残留するものと考えられる(図6(b)参照)。

表2 半溶融圧延圧接条件一覧表

圧延温度 $T/^\circ\text{C}$	1050~1180
みかけ圧下率 $r/\%$ ※ $[1 - \text{製品厚さ}/(\text{初期積層厚さ} + \text{素板厚さ})] \times 100$	7~44
初期積層率 $s_0/\%$ ※ $(\text{初期積層厚さ}/\text{素板厚さ}) \times 100$	6~68
圧延速度 v/ms^{-1}	約0.9
ロール	$\phi 250 \times 110\text{mm}$
潤滑	無

3.2 (鑄鉄粉+還元鉄粉)/SPCC板

本プロセスは、積層材に混合粉を用いることにより、①積層材-素板界面における反応相の生成を制御することができる、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、ことを前報⁹⁾で示した。そこで、以下に、混合粉を積層材として用いる場合について示す。

(a) 積層材の混合割合の影響

積層材に鑄鉄粉と還元鉄粉の混合粉を用い、素板にSPCC板を用いた場合の、鑄鉄粉と還元鉄粉の混合割合が、製品の内部組織に与える影響を図7に示す。鑄鉄粉の割合が高くなるに従って、黒鉛が凝集分散している組

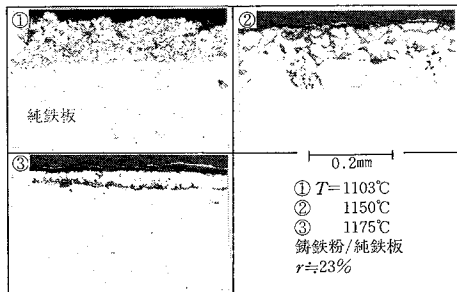


図3 圧延温度 T が製品の界面近傍の内部組織に与える影響

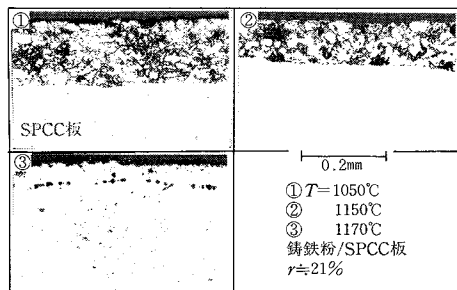


図4 圧延温度 T が製品の界面近傍の内部組織に与える影響

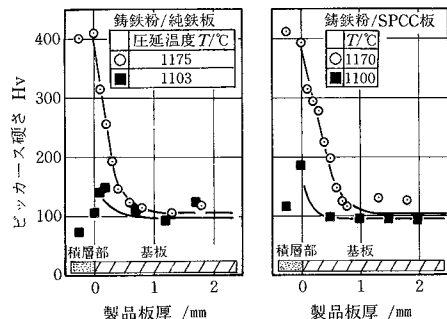


図5 製品の板厚方向における硬さ分布

研究速報
 織から、黒鉛が互いに連結し網目状に分布する組織に変わることがわかる。

(b) 圧下率の影響

図8には、(鑄鉄粉+還元鉄粉)/SPCC板の、みかけ圧下率 $r(1-(製品厚さl_i)/(初期積層厚さt_{ci}+素板厚さt_b))$ が製品の積層部-基板界面近傍の内部組織に与える影響を示す。7%程度のみかけ圧下率 r では、積層部表面および内面に、粉粒子の欠落・空隙などの欠陥が残っているが、 r が20%、30%と高くなるに従って、上記欠陥はなくなり、表面性状・内面性状の良い製品ができる。図9は、みかけ圧下率 r に対する、積層材と素板の厚さ変化を示す。図から、たとえば(a)についてみると、素板の板厚は、 r が25%程度までは変化せず、 r が25%を過ぎてから減少してくることがわかる。一方、積層材厚さは、 r の増加に対して、初め、急激に減少し、その後、徐々に減少することがわかる。こうした現象は、素板と積層材の①材質の違い、②固体と粉体の相違、③固体と半熔融

体との違い、による①体積変化の有無、②液相の流動の有無、および、③変形抵抗特性の相違、に起因しているものと考えられる。本圧延は、図10に模式的に示すように、ロールギャップ内の変形過程を3領域に分けて考えることができる。すなわち、①積層材だけが圧延(圧粉)され、素板は圧延されていない領域、②素板も変形しているが、積層材と素板の圧下率がそれぞれ違う領域、③積層材と素板が同じ圧下率で圧延されている領域である。ここで、領域②から領域③に移る時点で、積層材は、それまでに受けた圧下率やその間での液相成分の過不足により、真密度になっている場合と、空隙が残っている場

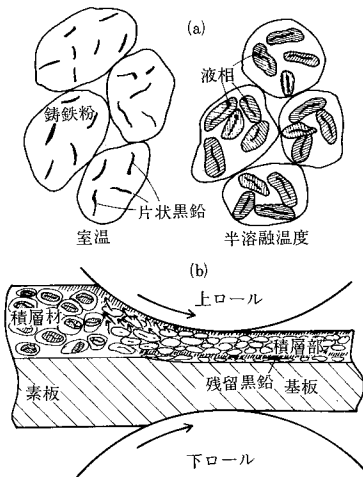


図6 半熔融温度における鑄鉄粉の内部模様および圧延における黒鉛の挙動

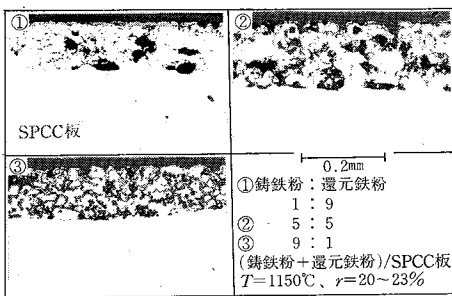


図7 鑄鉄粉と還元鉄粉の混合割合が製品の界面近傍の内部組織に与える影響

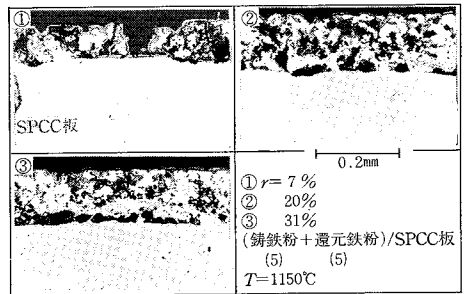


図8 みかけ圧下率 r が製品の界面近傍の内部組織に与える影響

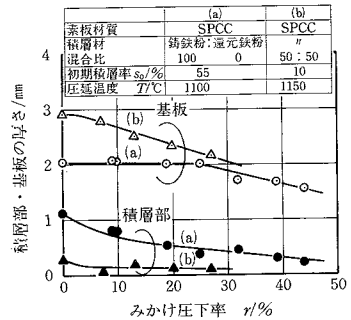


図9 みかけ圧下率 r に対する素板ならびに積層材の厚さ変化

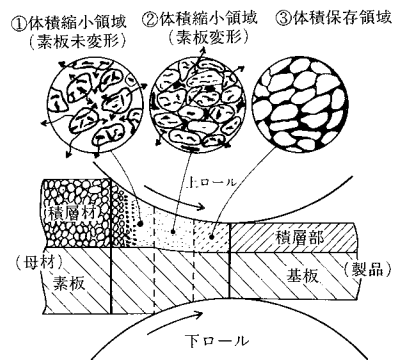


図10 本圧延機構の説明図

研究速報

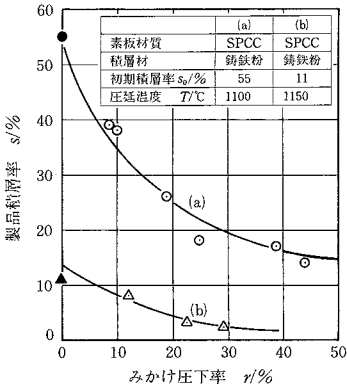


図11 みかけ圧下率 r と製品積層率 s の関係

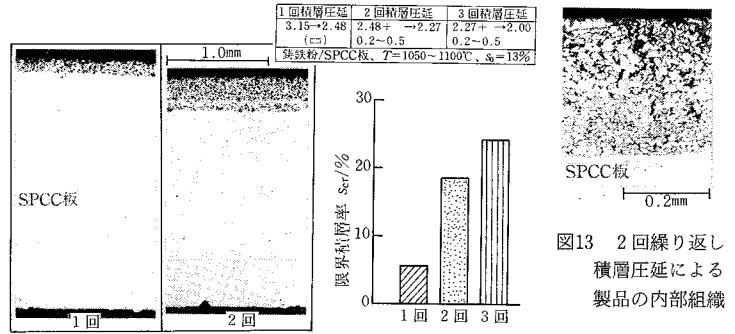


図12 繰り返し積層圧延による積層厚さの推移

図13 2回繰り返し積層圧延による製品の内部組織

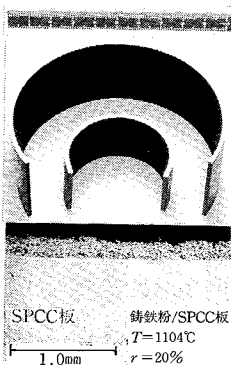


図14 曲げ加工による製品例とその内部組織

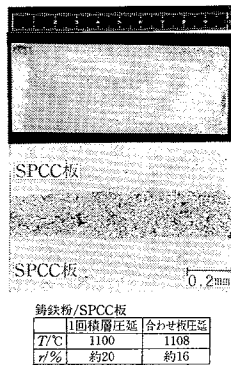


図15 合わせ板圧延による製品例とその内部組織

界積層率 s_{cr} の推移を示す。図から、1回圧延で、 s_{cr} は5～6%であるが、2回・3回と積層圧延を繰り返すことによって、 s_{cr} を20%程度まで高められることがわかる。また、図13は、2回繰り返し積層圧延後の製品の内部組織を示す。図から、基板と積層部の界面あるいは1回圧延と2回圧延の積層部の界面は、剝離などの欠陥もなく、互いに良く接合していることがわかる。

3.4 複合鋼板の二次加工

本プロセスにより製造した複合鋼板に対し、3本ロール法により曲げ加工を試みた。積層部を内面にし、曲率半径25mmと50mmの製品を得た。図14に、その製品例および界面近傍での内部組織を示す。図から、いずれの製品においても、積層部内における亀裂、基板との界面での剝離などの欠陥は見られず、良好な表面性状・内部組織となっていることがわかる。また、次に、同様な加熱方法・圧延条件で、積層部どうしを互いに向き合わせ、半熔融圧延(サンドウィッチ圧延)を行うことも可能である。図15に、その製品例と内部組織を示す。基板界面での剝離、あるいは、積層部界面での接合不良などはなく、良好な製品が得られている。

4. ま と め

半熔融圧延圧接法により、積層材に鋳鉄粉などの鉄系粉末を用いた複合鋼板の製造・加工を行い、圧延温度・圧下率の各条件が、製品の内部組織および積層厚さに与える影響などについて検討した。その結果、概略、以下のことがわかった。①圧延温度の変化に対して、積層材鋳鉄粉中の黒鉛は周辺組織と敏感に反応し、多様な内部組織を作る。②圧下率の増加に対し、初め、積層材のみの圧延が進行し、続いて素板も板厚減少するようになる。③製品の積層率を高める方法として、初期積層率を高くとる方法と繰り返し積層圧延を行う方法とを示した。④積層部を内面にした曲げ加工、ならびに、積層部をサンドウィッチにした合わせ板圧延を行い、良好な二次加工製品を得た。

(1987年3月19日受理)

合とがある。①・②の領域では、圧延の進行に伴い、空隙の閉鎖や液相成分の上流側への移動などによって、積層材と素板との圧下率のアンバランスを補っているものと考えられる。また、③の領域は出現せず、①・②の領域のみで圧延が行われる場合もある。さらに、積層部が真密度になっても、液相成分の移動により、積層材と素板の圧下率のアンバランスは起こりえることに注意する必要がある。

3.3 製品の積層厚さ

本プロセスによる複合鋼板の製造・加工に際しては、製品の積層厚さはさまざまな加工条件により影響を受ける。図11は、製品積層率 s (積層部厚さ t_{cr} /基板厚さ t_{br})に及ぼすみかけ圧下率 r の影響を示す。図から、 r の増加に対して、最初、積層率 s は急激に減少し、次第にある一定値(限界積層率 s_{cr})に近づくことがわかる。この結果、Case(a)では約15%、Case(b)は約2%の s_{cr} になっている。限界積層率 s_{cr} を高めるには、初期積層率 s_0 を大きくする方法のほか、繰り返し積層圧延を行う方法が可能である。図12は、繰り返し積層圧延による製品の限