

半溶融圧延に関する研究 第9報

——めっき鋼板を利用した複合鋼板の製造・加工 2——

Study on Rolling of Metals in Mashy-State ·9th Report
 ——Production of Composite Sheets from Various Coated Steel Sheets 2——

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

1. はじめに

近年、めっき鋼板の分野では、各種機能を持ち、めっき層と鋼板との密着性に優れた製品が開発されさまざまな用途に使用されている。

前報¹⁾では、これらめっき鋼板を利用し、半溶融圧接・圧延法により、種々の複合鋼板(表層改質型、粉末積層型、合わせ板型、サンドイッチ型)の製造を行い、製造条件と製品の内部組織などについて報告した。

本報では、前報で示したもののなかから、特にサンドイッチ型複合鋼板の製造について、実験条件の範囲を広げ、製品の内部組織・制振特性・曲げ加工性を中心に検討した結果について述べる。

2. 製造プロセスの特徴

サンドイッチ型複合鋼板の製造プロセスの概要を図1に示す。本製造プロセスは、素材の選択、積層・加熱・圧接・圧延の一連の工程からなる。

表皮材としては各種めっき鋼板を用い、心(中間)材としては、製品の用途に合わせ、めっき層金属と同一あるいはなじみやすい金属粉末を主体に、単一あるいは複数種類の金属の混合粉(各種セラミックス粉末や黒鉛粉末などの強化粒子を含む場合もある)を用いる。図1(a)は、心材に金属粉末を用いた例を、図1(b)は、金属粉末と黒鉛粉末の混合粉を用いた例を模式的に示してある。

積層工程において、心材を薄く(使用粉末の大きさの数倍程度の厚み)積層させる場合には、単に、表皮材上に粉末を振り落としす方法を用いる。心材を厚く、しかも一定厚さに積層させるためには、表皮材端部からの心材粉末の脱落を防止するために、適当な型や溝型ロールを用いたり、表皮材表面に溝を付けるなどの工夫が必要となる。実験では、図2に示す(圧接用)密閉金型内において、心材の粉末の積層を行った。

加熱工程では、めっき層金属と心材との材質の違いから、表1に示す3種類の半溶融状態の組み合わせを作り出すことができる。また、めっき層金属と心材の接触部

においては、加熱に伴う拡散により、合金化が進み、両金属の融点より低い温度で溶融し始める場合があることに注意を要する。

次に、圧接工程では、(1)めっき層金属と心材との接合を達成すること、(2)心材の金属粉末どうしの接合を達成すること、(3)液相成分により心材の空隙を埋めること、が要求される。

さらに、圧延工程(ただし、ここでは冷間圧延)では、表皮材と心材の塑性変形によって、心材の内部組織の密化をはかり、同時に、所定の寸法に製品を仕上げる。なお、実験では、圧接工程と圧延工程は分けて行ったが、圧延工程での製造条件(圧延温度・圧下率・圧延速度・ロール径比・ロール温度・潤滑など)が整えば、圧接工程と圧延工程とは一体化できる。

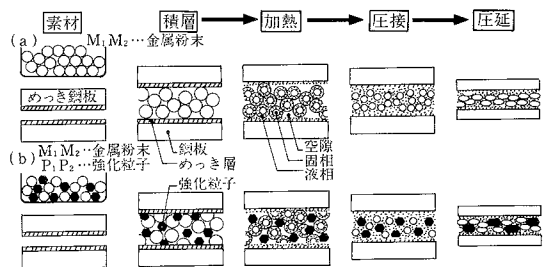


図1 半溶融圧接・圧延によるめっき鋼板を利用したサンドイッチ型複合鋼板製造の概念図

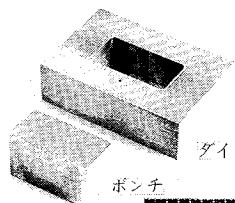


図2 圧接用工具

表1 めっき層金属と心材の半溶融状態の組み合わせ

	めっき層金属	心材
1	固相	半溶融
2	半溶融(溶融)	固相
3	半溶融(溶融)	半溶融

*東京大学生産技術研究所 第2部

3. 実験方法および条件

本実験で用いた素材の材質・寸法を表2に示す。各めっき鋼板は表面を#100の研磨紙で磨いた後、エチルアルコールで脱脂してある。心材に用いた各粉末は市販のものをそのまま用い、特別な表面処理は施していない。圧接・圧延は、表2に示す条件範囲で、大気中で行った。

表2 実験条件一覧表

素 材	表 皮 材	A _l ・Zn合金めっき鋼板 A _l めっき鋼板
	心 材	Zn粉 #200 A7075粉 #250 (Zn+C) 混合粉 (A7075+C) 混合粉 (A6061+Mg) 混合粉 (A6061+B ₄ C) 混合粉
圧 接	加 圧 力 度	$p = 200\text{MPa}$
	保 持 時 間	$T_p = 300\sim 450^\circ\text{C}$ (Zn系) $400\sim 650^\circ\text{C}$ (A _l 系) $t = 2\text{min.}$
圧 延	温 度	$T_r = \text{約}20^\circ\text{C}$ (室温)
	圧 下 率 滑	$r = 20\%$ 以下 (1パス) $\phi = 250 \times 110\text{mm}$ 同径2段

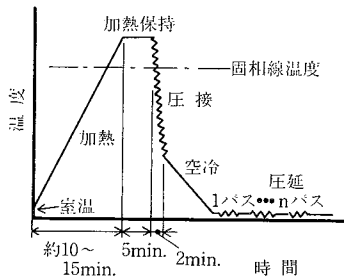


図3 半溶融圧接・圧延法による複合鋼板製造における温度と時間の関係

加熱・圧接・圧延の温度と時間の一連の関係を図3に示す。この中で圧接は、試料と一体加熱された金型をプレスに挿入し、加圧保持時間を2分間とし行ったが、その間の被加工材温度は、半溶融温度から熱間(温間)温度まで降下する。その他、冷間圧延後の製品に対し2~3の熱処理を行い、熱処理が製品の特性(内部組織・制振性・曲げ性)に与える影響についても検討した。

4. 実験結果および考察

4.1 複合鋼板 (A_lめっき鋼板/A7075+C/A_lめっき鋼板)、ならびに、複合鋼板 (A_l・Zn合金めっき鋼板/Zn+C/A_l・Zn合金めっき鋼板)の特性 (a)内部組織の検討

図4は、A_lめっき鋼板を表皮材とし、心材にA7075を用いた場合の、圧接温度が圧接後の製品の内部組織に及ぼす影響を示す。なお、一般にA7075は、他のアルミ合金に比べ、半溶融温度範囲(467~638°C)が広く、しかも、固相線温度が低いという特徴がある。図から、概略以下のことがわかる。(1)400°Cで圧接した製品の心材には、粉末の痕跡があり、未接合の個所もある。また、めっき層金属と心材の境界も明瞭である。(2)550°C(この温度のA7075の固相率 ϕ_c は約89%)で圧接した製品をみると、めっき層金属と心材の境界がかなり不明瞭となって

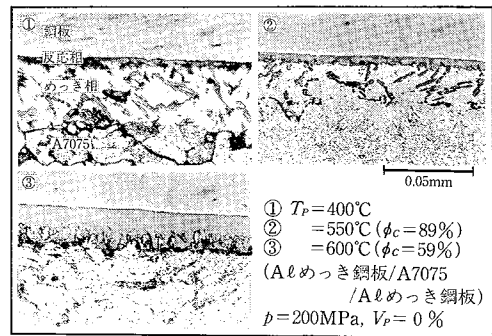


図4 圧接温度が製品の内部組織に及ぼす影響

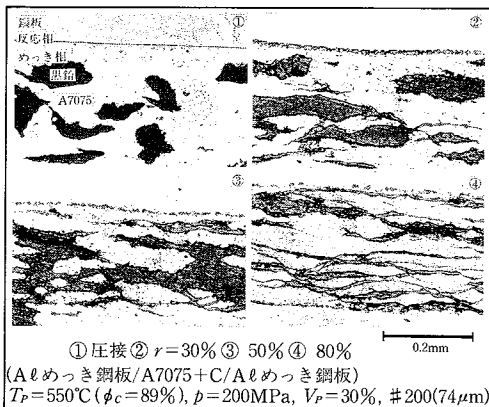


図5 圧延圧下率が製品の内部組織に及ぼす影響

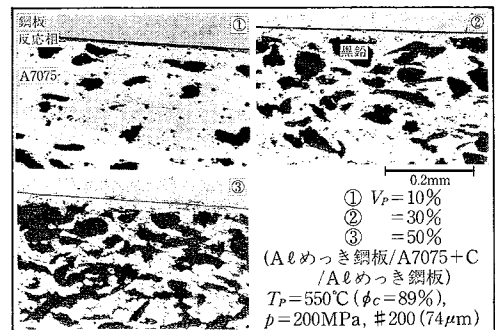


図6 黒鉛の含有率が製品の内部組織に及ぼす影響

研究速報

きているが、しかし、両者の判別はいまだ可能である。
 (3) 600°C ($\phi_c=59\%$) で圧接した製品では、めっき層金属と鋼板の間の反応層が著しく成長し(400°Cで圧接した製品の反応相に比べ約5倍)、また、めっき層金属と心材の判別もつきにくくなってきている。

図5は、同じ表皮材に対して、心材に(A7075+C)を用いた場合の、圧延圧下率が製品の内部組織に及ぼす影響を示す。なお、黒鉛粉末の粒度は#200 (75 μ m)であり、体積含有率は30%である。図から、圧下率が約50%以上になると黒鉛粒子が展伸され、互いに連結してくること、また、めっき層金属と鋼板の間の反応層が破砕され、断続的に分布してくることなどが観察できる。

図6は、同じ組み合わせについて、黒鉛の体積含有率 V_p が圧接後の製品の内部組織に及ぼす影響を示す。図から、 V_p が50%以上になると黒鉛粒子が互いに連結してくることがわかる。

図7は、同じく、黒鉛粒子の粒径が圧接後の製品の内部組織に及ぼす影響を示す。粒径の小さい黒鉛粒子を含有する製品の内部には、ところどころ、微細な空隙がある。また、粒径の大きな黒鉛粒子を含有する場合のほうが、黒鉛どうしが互いに連結しにくくなっているように見える。

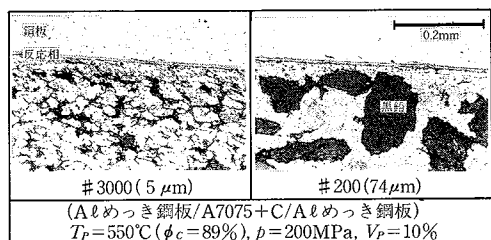


図7 黒鉛粒子の粒径が製品の内部組織に及ぼす影響

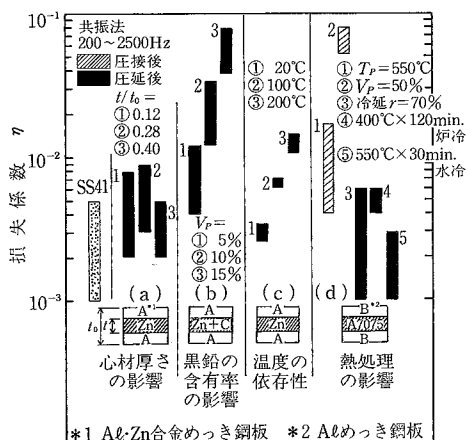


図9 サンドイッチ型複合鋼板の制振性能の検討

図8は、同様の場合について、熱処理が圧延後の製品の内部組織に及ぼす影響を示す。A7075の焼鈍 (420°C, 120min., 炉冷) 条件で熱処理を行った製品の内部組織は、冷間圧延後の製品の内部組織に比べ、A7075の粒の展伸が多少緩和され丸みをおびてきてはいるものの、大きな組織の変化は見られない。550°C, 30min., 水冷の条件で熱処理した製品の内部組織をみると、めっき層金属の大部分が鋼板と反応し、反応層が厚く形成されていること、また、心材と反応層の界面にクラックが発生していることなどがわかる。

(b) 制振性能の検討

得られた複合鋼板の製造条件とその制振性能の関係を見るために、共振法により、損失係数 η を求めた。図9にその結果を示す。黒で示した値は、冷間圧延した後の製品 ($r=70\sim 80\%$) の損失係数 η を示し、斜線で示した値は圧接したままの製品の η を示す。比較のために市販のSS41材の結果を併記する。図9の(a)~(c)は心材に亜鉛系を用い、図9(d)は心材にアルミ系を用いた複合鋼板に関する結果である。図9(a)から、製品板厚に対し、心材の厚さを大きくしても、 η の変化はわずかであることがわかる。図9(b)から、黒鉛の含有率が高くなるほど、 η は急激に高くなることわかる。これは、黒鉛を多く含有することによって、心材内部に微細な空隙などが

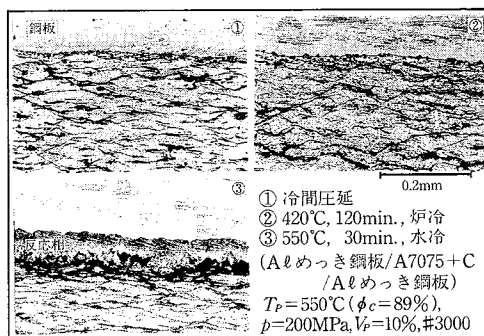
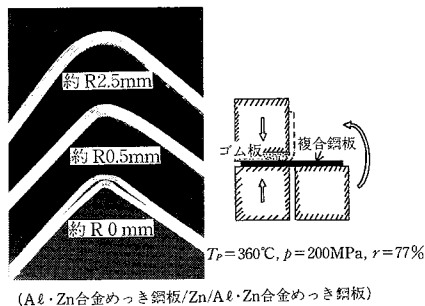


図8 熱処理が製品の内部組織に及ぼす影響



(Al-Zn合金めっき鋼板/Zn/Al-Zn合金めっき鋼板)

図10 曲げ半径と剝離の様子

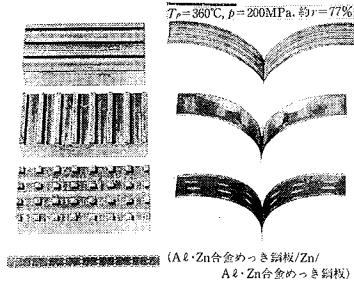


図11 部分接合用圧接工具 (ポンチ) と製品のTピール試験後の部分接合の様子

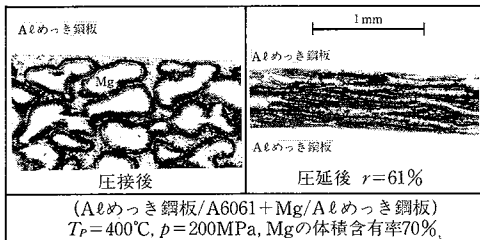


図13 心材に (A6061+Mg) を用いた複合鋼板の圧接後と圧延後の製品の内部組織

できやすく、黒鉛内部および空隙で、振動エネルギーが吸収されるためであると考えられる。図9(c)から、温度が高くなるに従い、 η が急激に高くなっていることがわかる。これは、温度の上昇によって、亜鉛の弾性率の低下が大きくなることに起因⁹⁾していると思われる。図9(d)から、黒鉛の含有率が50%の圧接後の製品の η は0.05~0.08であり、普通鋼板SS41の場合と比べ、約一桁高い損失係数となっていることがわかる。冷間圧延後の製品を、A7075の通常焼鈍条件で熱処理した後の η は、冷間圧延したままの製品の η と比べて際だった変化はない。550°C, 30min., 水冷の条件で熱処理した製品においても、冷間圧延後の製品と比べ、 η に大きな変化がないことがわかる。

(c) 曲げ加工性の検討

図10は、表皮材にAl・Zn合金めっき鋼板、心材にZnを用いた複合鋼板の、冷間曲げ加工の際の曲げ半径と剝離の様子を示す。曲げ加工は、図中に示す折り曲げ機にゴム板を挟み、このゴム板の厚みを種々変えて行った。ゴム板を置かず曲げた場合には、表皮材と心材が曲げ部で剝離が発生したが、2mm厚のゴム板を置いて曲げた場合には、曲げ半径約0.5mmかつ直角に曲げることができることが判明した。

4.2 めっき鋼板と心材の部分接合複合鋼板

前節では、心材とめっき鋼板を全面に接合させる場合

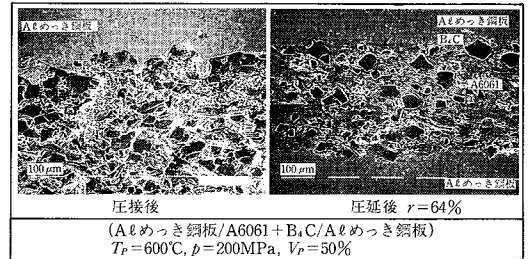


図12 心材に (A6061+B₂C) を用いた複合鋼板の圧接後と圧延後の製品の内部組織 (SEM)

について述べたが、同様の組み合わせについて、心材とめっき鋼板との接合を部分的に行った2~3の例について次に示す。図11は、部分接合用圧接工具 (ポンチ) とTピール試験後の部分接合の様子を示す。剝離後の試験片で白く見える個所が製品時に接合されていた部分である。

4.3 複合鋼板 (Alめっき鋼板/A6061+B₂C/Alめっき鋼板), ならびに、複合鋼板 (Alめっき鋼板/A6061+Mg/Alめっき鋼板) の製造例

図12は、表皮材にAlめっき鋼板、心材に (A6061+B₂C)を用いた際の、圧接後と圧延後の製品の内部組織を示す。圧延によって炭化ボロン粒子が固定され、内部組織が密化してくる様子がわかる。図13は、同じ表皮材に対し、心材に (A6061+Mg) を用いた際の、圧接後と圧延後の内部組織を示す。Mg粉は500 μm 程度の粒径であり、体積含有率は70%である。圧延によって、Mg粉が大きく展伸されている様子がわかる。

5. ま と め

めっき鋼板を利用し、めっき層金属あるいは心材の熱間域から溶融域までを含む広範囲の温度域による圧接・圧延により、サンドイッチ型複合鋼板の製造を行い、製造条件と内部組織・機械的特性 (制振性・曲げ性) について検討した。

終わりに、損失係数の測定に当たって多大のご協力をいただいた新日本製鐵(株)・第二研究所・薄板研究センターの江嶋瑞男氏、座間芳正氏、樋渡達雄氏に深く謝意を表する。 (1988年6月28日受理)

参 考 文 献

- 1) 神原繁雄：プレス技術, 25-11 (1987), 54.
- 2) 木内 学・杉山澄雄：38回塑加連講論 (1987), 129.
- 3) 小森田 浩：プレス技術, 25-11 (1987), 69.
- 4) 江嶋瑞男・橋本治二：第110回塑性加工シンポジウム, (1987), 51.