溶湯の直接圧延法によるクラッド板の製造*

梶山正孝** 佐藤 彰*** 福迫達一****

Masataka Sugiyama, Akira Sato and Tatsuichi Fukusako : Manufacture of Clad-plate with the Process of Direct-rolling of Molten Metals. The manufacturing conditions and subsequent work conditions were investigated for the manufacture of clad-plate of aluminium and its alloys with the process of direct-rolling of molten metals. The main results obtained were as follows:

(1) In case of the alloys with a wide solidification range, the condition of junction between pure aluminium surface sheets and the core was good and became improved as the direct-rolling speed was decreased. In case of the alloys which showed the ripple mark defects in the surfaces, the surface sheets ruptured at a slower direct-rolling speed.

(2) By the cold-rolling of clad-plates as the subsequent work, only the surface sheets were elongated and torn off from the core. By the hot-rolling, the junction between surface sheets and the core was complete and the desired quality of clad-sheets was obtained.

(Received April 4, 1970)

I. 緒 言

溶湯の直接圧延法を連続鋳造法の発展と考え、半製品製造の基礎的条件を明確とすることを目的としたこれまでの実験結果から、凝固温度範囲の広い合金では、直接圧延板の表面状態が粗悪であることが確認された。そこで、直接圧延板の表面状態を改善するため、および溶湯の直接圧延法においては、鋳型空隙が凝固の進行と共に狭くなり、凝固直後に圧延することが可能であることから、クラッド板の製造に適していると考えられたため、本法によるクラッド板製造の可能性、およびその製造条件、さらに、後続加工条件などを検討することにした。

II. 実験方法

Fig.1 は、溶湯の直接圧延法によるクラッド板製造法の概要を示す。直接圧延機としては、2号試験機⁽¹⁾を用いた。また、クラッド板の幅は100 mmであり、皮材板は1 mm厚純Al板を用い、あらかじめスターティングプレートに結び付けてある。クラッド板の厚さは、前報までの条件と一致するように、芯板厚15 mm、すなわち、板厚17 mmとした。芯材としては、純Al、Al-5% Cu、-5% Si、-2% Mg、-10% Mg、-30% Zn合金を用い、鋳込温度はすべて700°C

とした。後続加工としては、冷間圧延(20°C)および熱間圧延(500°C)を行ない、皮材板と芯材との接着状態を観察した。熱間圧延には直径256 mm ϕ 、回転速度25 rpmの2段圧延機、冷間圧延には直径160 mm ϕ 、回転速度24 rpmの2段圧延機を使用した。また、熱間圧延され、さらに冷間圧延されて1 mm厚板とされたものについては、引張試験を行なった。引張試験片は、圧延方向と平行に採取し、JIS 5号試片と相似の幅15 mm、標点間距離30 mmとした。圧延のまま、および400°C×1 hr焼鈍後の試料について各4本引張試験を行ない、その平均値を求めた。

Fig.1 Schematic diagram of the direct-rolling apparatus for the production of clad-plates. A : Rollers for sending of surface sheets, B : Surface pure Al sheets, C : Main rolls, D : Starting plate

III. 実験結果および考察

1. 皮材板について

皮材純Al板が冷間圧延のままの状態では、特に鋳込の初期に主ロールとの接触が不十分となり、再溶解されて破

** 東京大学工学部 (Faculty of Engineering, University of Tokyo, Tokyo)

*** 東京大学大学院、現在：金属材料技術研究所 (Graduate School, University of Tokyo, Tokyo. Present address : National Research Institute for Metals, Tokyo)

**** 東京大学工学部、現在：横浜国立大学工学部 (Faculty of Engineering, University of Tokyo, Tokyo. Present address : Faculty of Engineering, Yokohama National University, Yokohama)

* 1969年3月本会東京大会に発表

(1) 梶山、福迫、佐藤：金属学会誌，33(1969)，1104。

断しやすいことが認められた。そこで、 $400^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr}$ の熱処理を行なって焼鈍板とした。以下の実験は、全てこの焼鈍板を用いて行なったものである。皮材板の幅は、最初主ロールフランジ間隔と同一の 100 mm としたが、主ロールフランジと接触して破断しやすいことが判明したので、幅を減じて 90 mm とした。皮材板が主ロールフランジと接触し、破断することは、皮材板と主ロールとの摩擦が幅方向について一様でないために、皮材板が幅方向に傾斜してしまうためと考えられる。したがって、本法によるクラッド板製造において、もっとも重要な因子の一つとして、皮材板を直接圧延方向に送ることが挙げられる。また、皮材板は、1 mm 厚では薄く、破断することが観察され、より厚い方が製造は容易になるものと考えられた。

Table 1 Conditions of junction

Specimen No.	DR* speed (mm/min)	Alloying element (wt%)	Condition of junction***
CP 1	692	pure Al	D
CP 2	628	"	B
CP 3	566	"	A
CP 4	503	"	D
CP 5**	566	"	E
CC 1	566	5% Cu	A
CC 2	503	"	A
CC 3	441	"	B
CS 1	566	5% Si	B
CS 2	503	"	A
CS 3	441	"	A
CG 1	692	2% Mg	A
CG 2	628	"	C
CG 3	566	"	D
CG 4	628	10% Mg	B
CG 5	566	"	B
CG 6	503	"	A
CZ 1	566	30% Zn	B
CZ 2	503	"	B
CZ 3	441	"	B

* Pouring temperature 700°C

** Without secondary cooling

*** A : Excellent, B : Very good, C : Good, D : Bad, E : Very bad

2. 直接圧延のままの 接着部の状態

Table 1 は得られた試料の直接圧延条件および皮材板と芯材との接着状態を試料の表面状態とマクロ組織とから肉眼によって観察した結果を示す。接着状態の等級 A, B, C, D, E はそれぞれ試料の両面ともに極めて良好なもの、片面は極めて良好であるが他面に僅かの膨れや破れの観察されるもの、両面に僅かの膨れや破れが観察されるもの、片面に僅かの膨れや破れが観察

されて他面の皮材板が大きく破断されているもの、および両面の皮材板が完全に剥離されている状態を示す。

Photo. 1 は、芯材が純 Al で接着状態の良好なもの (CP 3)、および 2 次冷却を用いない場合の皮材板が破断されたもの (CP 5)、芯材が Al-5% Cu 合金で接合状態の良好なもの (CC 2)、芯材が Al-2% Mg 合金で皮材板が破断されたもの (CG 2) の表面状態を示す。

Photo. 2 は、芯材が純 Al で接着状態の良好なもの (CP 3) および芯材が Al-5% Cu 合金で接着状態の良好なもの (CC 2)、芯材が Al-2% Mg 合金で皮材板が破断されたもの

Photo. 1 Surface conditions of direct-rolled clad-plates

Photo. 2 Macrostructures of direct-rolled clad-plates

(CG 2) のマクロ組織を示す。

Photo. 3 は、芯材が純 Al (CP 3), Al-5% Cu (CC 2), 30% Zn (CZ 1) 合金の接着状態の良好なもの、および Al-2% Mg 合金の皮材板の破断したもの (CG 3) の接着部のミクロ組織を示す。芯材が凝固温度範囲の広い合金の場合には、接着部は直線的であるのに対して、波模様表面欠陥の発生する純 Al, Al-2% Mg 合金の場合には、良好な接着状態を示すものでも、皮材板が谷の部分に押込まれ、山の部分で薄くなっており、さらに低直接圧延速度となって波模様が強くなると、この山の部分で皮材板が破断されることが観察された。

合金では、低直接圧延速度となると、皮材板が主ロール表面に接着して破断される傾向が認められた。凝固温度範囲の広い合金では、低直接圧延速度となると、凝固直後の芯材の主ロールによる圧下率が大きくなるため、接着状態が良好となるものと考えられる。他方、波模様の発生するものでは、低直接圧延速度ほど、波模様表面欠陥が著しくなり、主ロールの圧延作用によって皮材板の波模様の山の部分は、主ロール表面と強く接着し、かつ薄くなる。これに圧延の際の材料の先進の結果、引張応力が作用するため皮材板が破断されるものと考えられる。

Photo. 3 Microstructures of direct-rolled clad-plates

2 次冷却を使用しない場合 (CP 5) には、皮材純 Al 板が主ロールに巻付いてしまうことが観察された。これは主ロール通過直後の皮材板の温度が 2 次冷却を使用した場合よりも使用しない場合の方が当然高温であり、皮材板の強度が小さいため破断しやすくなることによると考えられる。したがって本法によるクラッド板の製造においては、2 次冷却を用いる方が望ましいといえよう。

凝固温度範囲の広い Al-5% Cu, -5% Si, -10% Mg, -30% Zn 合金では、皮材板と芯材との接着は良好であり、また、低直接圧延速度ほど良好となる傾向が認められる。これに対して、波模様表面欠陥の発生する純 Al, Al-2% Mg

3. 後続加工後の接着部の状態

直接圧延のままのものをそのまま更に冷間圧延すると、Al-5% Si, -2% Mg, -10% Mg, -30% Zn 合金の場合には、軟い皮材板だけが伸長し、剪断応力が掛るため途中で剥離することが判明した。芯材が純 Al の場合には問題なく冷間圧延できる。また、Al-5% Cu 合金では、約 50% 冷間圧延すると横割れが発生した。

500°C 熱間圧延では、Al-10% Mg 合金を除き、全て問題なく 4 mm まで圧延することができた。Al-10% Mg 合金では、熱間圧延温度が高すぎたと考えられ、全て板厚中心部で裂開した。

Photo.4 は、芯材が純 Al, Al-5% Cu, -5% Si 合金の場合の 500°C 熱間圧延 (76% 圧延) 後の接着部のマイクロ組織を示す。いずれの場合にも、接着部の状態は良好であり、皮材板も芯材も圧延されていることが観察される。

Photo.4 Microstructures of hot-rolled 4 mm sheets

Photo.5 は、熱間圧延 (76% 圧延) された後、さらに冷間圧延 (75% 圧延) された 1 mm 厚板の芯材が純 Al, Al-5% Cu, -5% Si 合金の場合の接着部のマイクロ組織を示す。接着部の状態は極めて良好であることが認められる。

4. 1 mm 厚クラッド板の引張試験

本実験では、溶湯の脱ガス処理を行なわないため、焼鈍

処理の際にガスによる膨れの発生が懸念されたが、膨れは高直接圧延速度の場合のものにおいてだけ認められ、また、その数も極めて僅かであった。**Fig.2** は、1 mm 厚クラッド圧延板および焼鈍板の引張強さ (a) と伸び値 (b) を示

Photo.5 Microstructures of cold-rolled 1 mm sheets

す。引張強さおよび伸び値によらず直接圧延速度の影響はほとんど認められない。芯材が純 Al の場合、引張強さは圧延板および焼鈍板で、それぞれ 16, 7.5 kg/mm², 伸び値は、それぞれ 7, 45% 位であり、芯材が Al-5% Cu 合金の場合、33, 18 kg/mm² および 3, 17% 位であり、JIS 1070-O 材 (7 kg/mm², 43%), 2017-O 材 (<22 kg/mm², >12%) と比較しても、十分な値を示しているものと考えられる。

Fig.2 Tensile strength (a) and elongation (b) of 1 mm thick clad-sheets

また、引張試験の際に皮材板と芯が剥離することは認められず、破断する場合にも皮材と芯材とは同じ挙動を示した。

IV. 総 括

直接圧延板の表面状態を改善するため、および溶湯の直接圧延法においては鋳型空隙が凝固の進行と共に狭くなり、凝固直後に圧延することが可能であることから、クラ

ッド板の製造に適していると考えられたので、本法によるクラッド板製造の可能性およびその製造条件、さらに、後続加工条件などについて検討した。得られた結果は以下の通りである。

(1) 溶湯の直接圧延法によるクラッド板製造では、皮材板を直接圧延方向に平行に送り込むことが重要である。また、皮材板が薄いと溶断されることがあるから、多少厚い方が製造は容易であると考えられた。

(2) 2次冷却は行なった方が望ましい。

(3) 凝固温度範囲の広い合金では、皮材板と芯材との接着は良好であり、また、低直接圧延速度ほど良好となる傾向が認められた。これに対して、波模様表面欠陥の発生する合金では、低直接圧延速度となると皮材板がロール表面に接着して破断することが認められた。

(4) 後続加工として、冷間圧延だけでは皮材板のみが伸長し、皮材板と芯材とが剥離する。他方、熱間圧延を行なえば、接着も完全であり、満足すべきクラッド板が製造できる。

(5) 焼鈍熱処理の際に発生するガスによる膨れは、極めて僅かである。

皮材純 Al 板は、古河電工株式会社、園部和生氏の御厚志によるものであり、ここに深甚なる感謝の意を表します。