

討20

鋳込圧延法によるクラッド鋼の製造技術と諸特性

川崎製鉄(株) 本社 ○奥村健人

千葉製鉄所 川原田 昭, 三代祐嗣, 石坂邦彦

鉄鋼研究所 北岡英就

1. 緒言

異種鋼を層状に接合したクラッド鋼板は、延性、靱性、強度、耐食性および熱、電気伝導性等、場合によっては単一鋼材に同時に付与することができないこれら複数の性質を発揮できることや、要求される品質に対して適正な素材の組合せにより安価な物質から製造できる等、その用途は広汎である。

本報告では、これらクラッド鋼について製造プロセスが比較的単純で量産に適した鋳込圧延法に関して、その製造技術と各種クラッド鋼板の機械的性質について述べる。

2. 製造方法

鋳込圧延法による製造プロセスの一例をFig.1に示す。これは軟鋼を芯材とし、高炭素鋼を鋳ぐるむ例である。¹⁾ 芯材となる軟鋼スラブ表面を研磨仕上げした後、スラブ表面に酸化防止剤を塗布、乾燥させ鋳型内に配置する。鋳型内への配置は、鋼板のクラッド比によって決まる。母材である高炭素鋼を下注により注入、凝固させることにより複合鋼塊ができる。この時、芯材が溶鋼の熱により溶融しないためには一定厚以上の芯材厚さが必要である。さらに、注入速度が不適当な場合には、界面でのスカムの巻き込みが発生するし、また溶鋼の輻射熱により芯材表面を酸化させると界面の接着性が阻害されるので酸化防止剤の選定、鋳造要因の管理が重要である。²⁾

凝固後、均熱一分塊圧延し、クラッドスラブとした後、熱間圧延を実施する。

3. 製造技術

3-1 凝固シミュレーション

伝熱計算から求めた23t複合鋼塊の、芯材の中心および表面、溶鋼凝固層の中心および表面の温度の経時変化の例をFig.2に示す。³⁾ 最終凝固位置は溶鋼凝固層の厚さ中心であるが、鋼塊幅方向中心から外れ鋼塊短辺寄りに偏った位置となる。なお、芯材配置を鋳型壁寄りに片寄せした場合の凝固は通常鋼塊と大差ない。

芯材の中心温度は鋳込後60min.間にわたって増加し続け、その間鋼塊内各位置の温度は均一化される。芯材の昇温による熱膨張により鋳型内空間の約2/3を占める溶鋼凝固部の凝固収縮はある程度補償され、鋼塊頭部収縮孔の体積が減少すると考えられる。

溶鋼凝固層から鋳型と芯材スラブの双方への急激な熱移動に

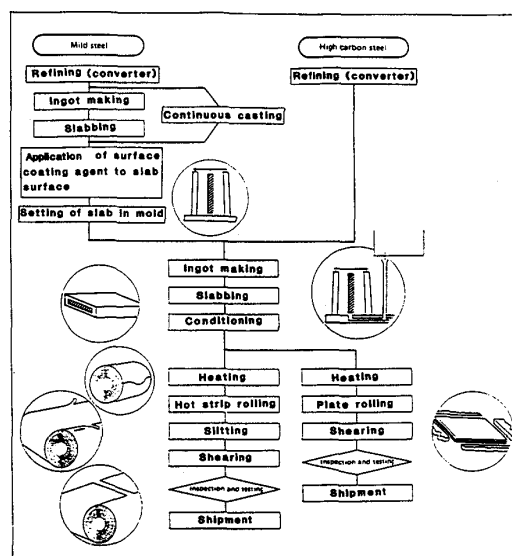


Fig. 1 Outline of manufacturing method of high carbon steel clad by enshrouding cast and rolling.

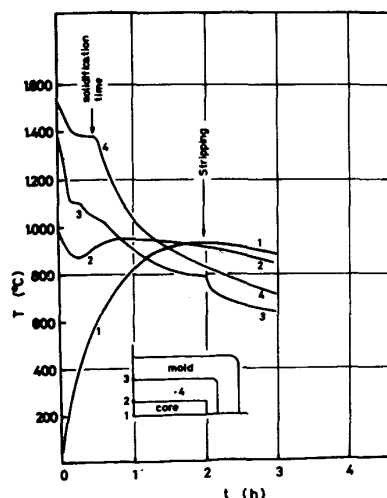


Fig. 2 Variation of temperature with time after casting at several positions in 23 ton composite ingot.

より、凝固層の厚さ中心においても凝固速度が大きく、逆V偏析の形成は防止される。Fig.3は高炭素3層クラッド鋼塊の凝固殻厚さ中心部の高さ方向に沿う溶質分布の調査例を示す。通常の底部沈澱晶帯における負偏析部の他に頭部にも等軸晶帯が存在し、各溶質成分が負偏析するのが観察される。約1.1 m高さの溶質正偏析は取鍋分析値の115%を越えず、複合鋼塊が通常鋼塊に比較してマクロ偏析に関して非常にすぐれていることがわかる。

3-2 層間接着性と casting 条件

高炭素3層クラッド鋼の熱延板における層間界面のミクロ組織と硬さ変化を圧延圧接クラッド鋼板と比較してPhoto.1に示す。層間界面へのスカムの噛み込みがなければ層間接着性は硬さ変化より圧延圧接クラッド鋼板と比較して遜色ない。³⁾

層間接着性は母溶鋼注入時のスカム噛み込み量に依存し、噛み込み面積率が約3%以下ならば十分な剪断強度が得られる。したがって、層間へのスカム噛み込みを低減することが重要である。Fig.4は、芯材スラブ表面の酸化防止剤の種類および塗布量を変化させて鋳込んだ場合のスカム層間噛み込み面積率と注入速度の関係を調査した例を示す。スカムの噛み込み量は0.7 m/min.の注入速度のとき最も小さく、0.7 m/min.

より増加してもまた減少しても増加する。1 m/min.以上の高速注入の場合、酸化防止剤の厚さを大きくしてもスカム噛み込み量は変化しないが、低速注入の場合、酸化防止剤の厚さの増加によってスカムの噛み込み量は減少する。すなわち、臨界量以上の酸化防止剤を塗布し、適正な注入速度で注入した場合に最も優れた層間接着性が得られる。

これは、湯面の上昇に伴い酸化防止剤の燃焼により鋳型内に侵入する空気を追い出し、鋳型内を非酸化性雰囲気保持し芯材

表面の酸化を防止しつつ、酸化防止剤の激しいガス化反応によって溶鋼湯面上に浮遊しているスカムが溶鋼/芯材界面に捕捉されるのを防止する効果と考えられる。

3-3 分塊圧延条件

鋳込圧延法の場合、凝固後でも界面は未圧着のままであり層間の接着はその後の分塊圧延でなされる。この際十分な接着を確保するには、圧延比約3.0が必要である。

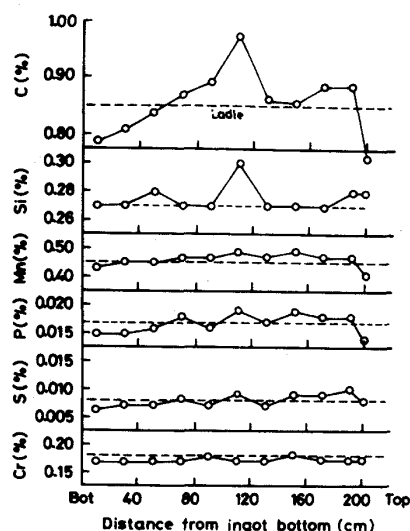


Fig. 3 Distribution of solutes along the height at center-thickness of cladding shell in 23 ton composite ingot.

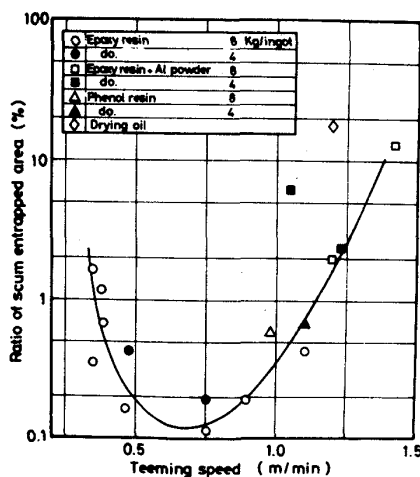


Fig. 4 Relation between the scum entrapped area in the clad strip produced from the 9 ton composite ingot and the casting rate of the ingot.

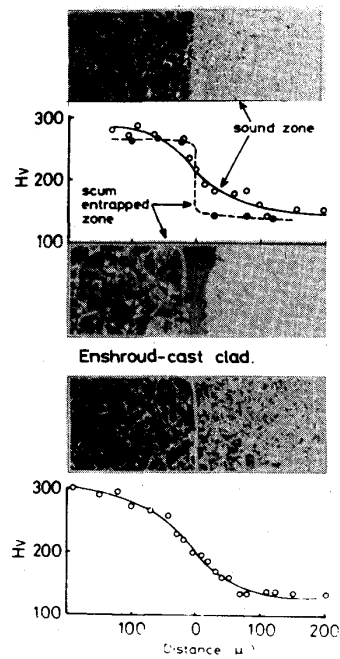


Photo. 1 Microstructure and hardness across the interlaminar boundary of high carbon steel clad strips.

4. 製品品質

4-1 接着強度

界面の接着強度を調査するために剪断試験を行った。Fig. 5 にステンレスクラッド鋼板の剪断強さを示すが、33~43 kg/mm² である。

また、用途に応じた接着強度の評価を行う目的で、Z方向引張試験および十字継手試験を行った。その結果を Table.1 に示す。Z方向引張試験において、一部界面破断のものもあるが、大部分は母材破断であった。母材破断の場合には、母材強度に見合う機械的性質が得られるが、界面破断の場合には、伸び、絞りの低下が起こる。十字継手試験においては、すべて溶接部の破断であった。

以上のように、鑄込圧延法で製造したクラッド鋼板は、剪断および引張りに対して十分な接着強度を有している。

しかしながら、界面に欠陥が存在する場合には、Table.2 に示すように欠陥面積率に比例して、剪断強さおよび引張強さが低下する。

4-2 界面浸炭

熱間圧延ステンレスクラッド鋼板は、製造工程で熱履歴を伴うため、接合界面近傍ステンレス部に浸炭層が生じる。

Fig. 6 に鑄込圧延法で製造した SUS 304 L クラッドスラブから採取した試験片に加熱シミュレーションを行った C 量の変化を示す。分塊圧延を終了した時点ですでにステンレス側に C が拡散しており、しかも界面をはさんで不連続になっているという現象が観察される。⁴⁾ これは鋼塊の均熱時の高温環境下で多元系の拡散により生じた現象であり、Cr と C の親和力が強いところから、Fe-Cr-C の三元系の拡散でみられる標準的なパターンと考えられる。⁵⁾

加熱温度の上昇に伴い、炭素鋼の脱炭深さが増加し、ステンレス側の浸炭層も増加する。1250℃×4h の加熱では遷移領域は 3 mm まで増加する。これらのスラブを圧延すると圧下比に応じて浸炭層深さは縮小する。

930℃で熱処理したものは浸炭層の増加が少ないところから、一旦、高温にさらされた部分が、それ以下の温度にさらされても浸炭層深さの増加にあま

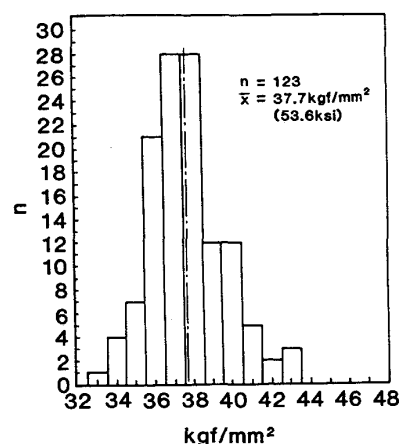


Fig. 5 Distribution of shear strength

Table 1 Mechanical property of stainless clad steel plate.

Steel Grade		Intergranular Corrosion		Pitting Corrosion	General Corrosion	SCC
		Strauss Test (JIS G0578)	Heuy Test (JIS G0573) g/m²·h	(JIS G0578) g/m²·h	(JIS G0591) g/m²·h	Boiled 20%NaCl+1%Na ₂ Cr ₂ O ₇ Solution (500h)
SUS304L	Clad	Good	0.27	2.55	125.31	Good (No Crack)
	Solid	Good	0.25	2.02	116.74	Good (No Crack)
SUS316L	Clad	Good	0.14	1.53	9.05	Good (No Crack)
	Solid	Good	0.15	0.49	8.84	Good (No Crack)

Table 2 Effect of unbonded area on mechanical property.

Clad steel plate	Thickness (mm)	Shear strength test		Tensile property of Z-direction				
		Shear strength (kgf/mm²)	Area of separation (%)	YS (kgf/mm²)	TS (kgf/mm²)	EI (%)	Location of fracture	Area of separation (%)
SS41 + SUS316L	14 + 2	35.2	0	32.5	46.6	25	Base metal	0
		26.7	22	33.4	35.9	0	Interface	22

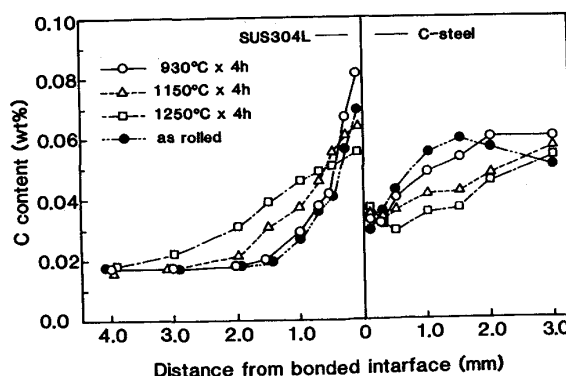


Fig. 6 Carbon concentration profiles in reheating clad slabs.

り寄与しないことを物語っている。

4-3 加工性

クラッド鋼板の加工による界面の非接合部の進展状況を調査するために、界面に剝離部が存在する鋼板を冷間で鏡成形を行った。鏡成形に際して、最も加工の厳しいナックル部に剝離部がくるように配慮した。Fig.7に鏡の形状および成形前後の超音波探傷結果を示す。鏡成形前後において剝離の拡大および新たな剝離の発生はなく、鋳込圧延法で製造したステンレスクラッド鋼板は、良好な冷間加工性を有していることが明らかである。

4-4 耐食性

鋳込圧延法で製造したステンレスクラッド鋼板の耐食性をステンレス鋼板と比較してTable.3に示す。耐粒界腐食性、耐孔食性、耐全面腐食性および耐応力腐食割れのいずれも、それぞれに対応するステンレス鋼板と同等である。

4-5 溶接性

Photo.2に低炭素のSUS316L用溶接棒を用いて、3層盛の被覆アーク溶接を行った溶接部のミクロ組織を示す。初層の溶接金属はラス状フェライトを含む組織となっており、表層部はバーミキュラーフェライトを含む通常のオーステナイト鋼の溶接金属組織である。

溶接金属の耐食性は、ステンレス部初層では希釈によるCピックアップにより全溶着金属より劣るものの、2層目以降では希釈の影響がなくなり全溶着金属と同等である。また、HAZの耐食性は、溶接熱の影響を受けず、合せ材原質部と同等である。

5. 結言

鋳込み圧延法のクラッド鋼への適用に関しては、高炭素鋼クラッド鋼板、2層および3層ステンレスクラッド鋼板、表面軟化ステンレスクラッド鋼板の製造に適しており、かなりの製造実績を持つに至っている。今後さらに品種拡大に努めていく方針である。

<参考文献>

- 1) 川原田ら：鉄と鋼'77 vol.63 S542
- 2) 木下ら：鉄と鋼'77 vol.63 S543
- 3) K. Kinoshita et. al. : Proc.3rd ISS-AIME(1978)
- 4) 奥村ら：圧力技術 vol.19 No.6(1981), P.42
- 5) 平野：日本金属学会報, 7(1968), P.38

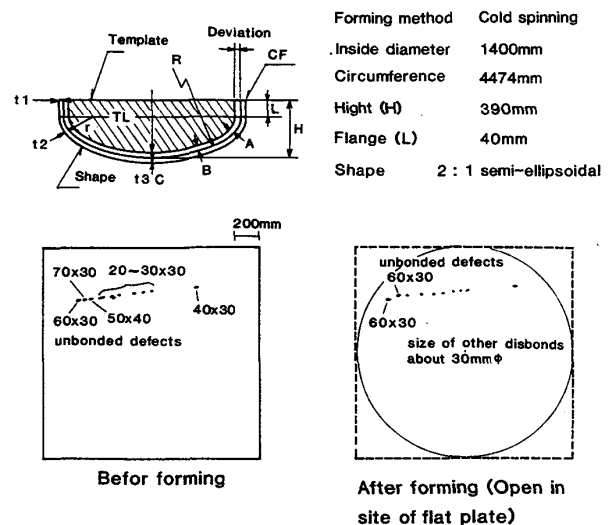


Fig. 7 The result of ultrasonic examination before and after head plate forming.

Table 3 Corrosion resistance of cladding metal of stainless clad steel plates.

Clad Steel Plate	Thickness (mm)	Treatment Heat	Tensile Property of Z - Direction					Tensile Property by Type Welded Joint		Shear Strength (kg./mm ²)
			Y S (kg./mm ²)	T S (kg./mm ²)	E I (%)	R A (%)	Location of Fracture	T S (kg./mm ²)	Location of Fracture	
SM 50A + SUS 304L	37±3	Normalized 930°C	40.6	55.8	25	87	Base Metal	43.3	Weld Metal	39.9
			41.3	54.4	8	9	Interface	43.5	Weld Metal	42.6
			43.0	57.2	29	61	Base Metal	44.3	Weld Metal	40.7
SPV 38 + SUS 316L	22±3	Normalized 930°C	48.8	61.5	20	44	Base Metal	49.4	Weld Metal	43.8
			49.3	61.2	21	44	Base Metal	54.4	Weld Metal	41.3
			47.6	61.1	20	38	Base Metal	47.7	Weld Metal	42.1

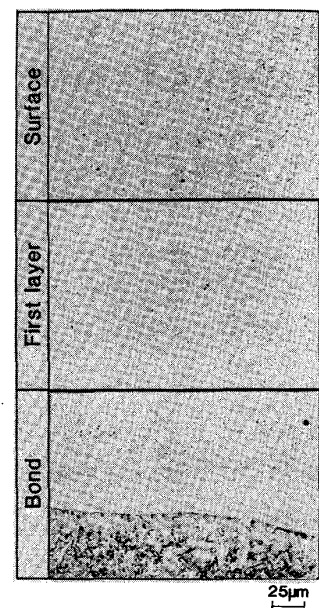


Photo. 2 Microstructure of weld metal of SUS316L stainless steel clad plate.