

討17

サンドイッチ圧延法によるクラッド鋼板の製造技術

(株)神戸製鋼所 加古川製鉄所 ○柴田光明 森本禎夫

大江憲一 松岡雅典

梶 晴男

1. 緒言

当社は、最近サンドイッチ圧延法によるクラッド鋼板の製造技術を確立した。高品質のクラッド鋼板を高い歩留りで製造するには、健全な接合性と板厚の均一性を確保することが重要である。サンドイッチ圧延法の圧延技術上の課題としては、(1)圧延時の拘束溶接部の健全性の確保 (2)上板と下板の板厚の同一化 (3)先後端部における合せ材厚の均一化があげられる。本報告では、これらの技術課題解決のために実施した検討結果を述べる。

2. 圧延時の拘束溶接部の健全性の確保

コンポジットの熱間圧延時には、先端部は圧延出口直後で板厚方向に引張応力を受ける。この先端部に長大な折れ込みが存在すると、切欠き効果によって拘束溶接部が破損する可能性が増大する。このため、コンポジット先後端部における折れ込みの発生を抑制する拘束溶接部の形状について検討した。

Table 1は、各種形状の拘束溶接部を有するコンポジットの圧延過程における変形状態の調査結果を示す。コンポジットは、プラスティシンによって作製した。表中のNo.1～4のテーパを形成していないコンポジットは折れ込みが大きく、また、先端部に拘束板を有するNo.6～10のコンポジットは折れ込みは発生しないが、拘束板と母材鋼の間に空洞ができ、拘束溶接部の健全性の確保が困難である。これらに

対して、No.5のテーパを形成したコンポジットは折れ込みが小さく、コンポジット形状として有効であることが明らかである。

Table 2は、テーパ付きコンポジットの有効性を合せ材が90/10 キュプロニッケルの場合について確認した結果を示す。矩形断面のコンポジットは長大な折れ込みが生じ、かつ、その折れ込み部から割れが発生しているのに対して、テーパ付きコ

Table 1. Deformation of plasticine composites

No.	Composite before rolling	Composite after rolling Rolling ratio: 2.3	Length of overlap Rolling ratio: 4.6	Evaluation
1			46	X
2			22	△
3			23	△
4			19	△
5			10	◎
6*			0	X
7*			0	X
8*			5	X
9*			12	X
10*			7	X

* Opening is formed between cover plate and base steel by rolling

Table 2. Deformation behavior of composites in rolling (ss 41+90/10cupronickel)

Rolling ratio r Thickness of composite (mm)	Composite with taper	Length of overlap (mm)		Composite without taper	Length of overlap (mm)	
		Head	Tail		Head	Tail
r=1 (186t)	 45° Steel frame Sealing weld Taper SS41(73mm) 90/10CN (20mm)	-	-		-	-
r=2.3 (81t)		17	18		49	45
r=3.3 (56t)		24	29	 Occurrence of crack	66	57
r=6.7 (28t)		36	41	 Propagation of crack	139	123

ンポジットは折れ込みが軽微で、割れも生じていない。

3. 上板と下板の板厚の同一化

サンドイッチ圧延法によって同一板厚の上下2枚のクラッド鋼板を同時に得るには、圧延時にコンポジットの上下面の温度を同一にする必要がある。すなわち上板と下板の板厚の相違は、圧延時のコンポジットの上下面の温度のアンバランスによって生じる反り変形に起因するからである。以下では、圧延時のコンポジットの上下面の温度分布を対称にする手段について検討した。

Table 3 に試験条件を示す。保温カバー装着の有無についての検討は、搬送工程におけるコンポジットの上下面の温度制御に関するものであり、また、保温カバー除去から圧延開始までの空冷時間についての検討は、カバー除去後におけるコンポジットの上下面の温度のアンバランスを微調整するためである。

Fig. 1 に試験結果を示す。保温カバーを装着しないコンポジットは、圧延過程で上反りが発生し、上板が下板より厚いのにに対して、保温カバーを装着したコンポジットは、カバー除去後直ちに圧延すると軽微な下反りが生じて、上板は下板より薄くなっている。

Fig. 2 は、上板と下板の各平均板厚の差におよぼす保温カバー除去後の空冷時間の影響を示す。保温カバー除去後圧延開始までの空冷時間を適正にとることにより、上板と下板の板厚を同一にすることができる。

Fig. 3 は、必要な空冷時間とコンポジット厚との関係を一次元熱伝導解析により推定した結果を示す。必要な空冷時間は、コンポジット厚の増大にともなって長くなる。

Fig. 4 は、これらの対策を講じてサンドイッチ圧延法により製造したステンレスクラッド鋼板の無研磨状態での板厚分布を示す。上板と下板の板厚はほぼ同一になっており、搬送工程における保温カバーの採用および保温カバー除去後の空冷時間制御が有効であることが明らかである。

Table 3. Rolling conditions of composites for 90/10cupronickel clad steel plate

Composite		Heating temp. °C	Use of cover	Time of air cooling after cover was removed sec			Draft mm per pass	Rolling speed m/min	Rolling ratio
SS 41	90/10 CN								
90 mm ^t	20 mm ^t	1000	With use of cover	50			10	94	7.0
				75					
				135	135	135			
			Without use of cover	—	—	—			

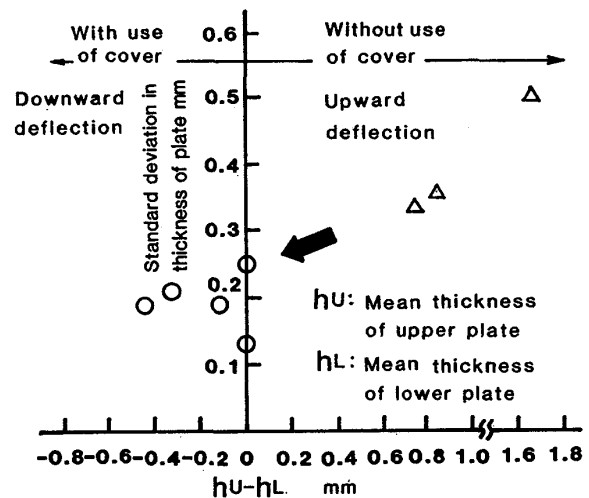


Fig. 1. Effect of use of cover on variation of thickness of 90/10cupronickel clad steel plate

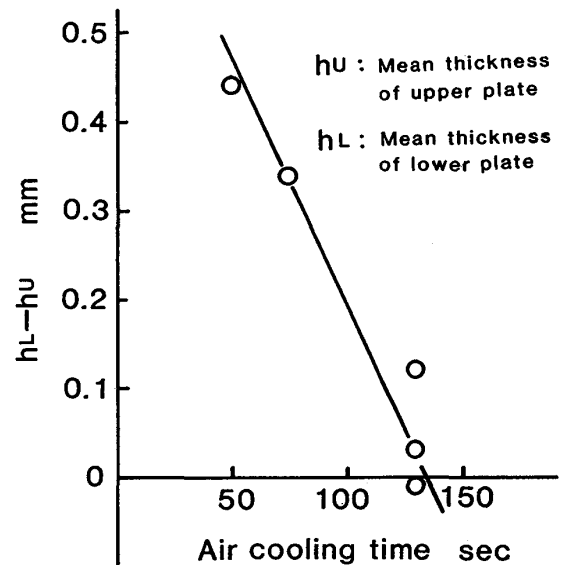


Fig. 2. Effect of time of air cooling after cover was removed from composite on difference between upper and lower plates thickness

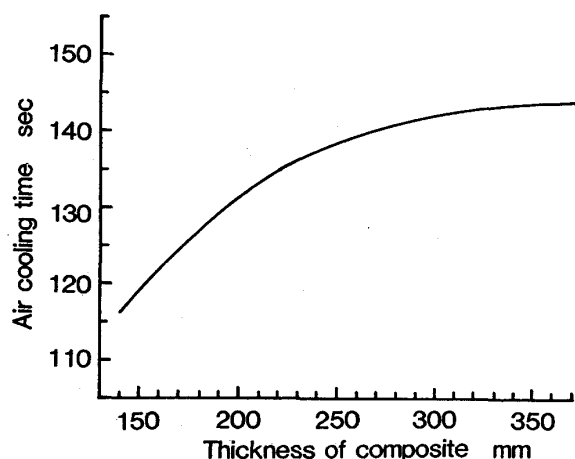


Fig. 3. Relation between thickness of composite and time of air cooling after cover was removed from composite for eqilizing temperatures at top and bottom surfaces of composite

4. 先後端部における合せ材厚の均一化

サンドイッチ圧延法によるクラッド鋼板の圧延過程において、合せ材および母材鋼の先後端部は、各材料の高温変形抵抗の相違あるいはコンポジットにおける合せ材原板の形状により、不均一に変形する。

photo. 1は、インコロイ 825クラッド鋼板、SUS 304クラッド鋼板および90/10 キュプロニッケルクラッド鋼板の延板における先端部の板厚断面を示している。

合せ材の高温変形抵抗が母材鋼よりも大きいインコロイ 825クラッド鋼板およびSUS 304クラッド鋼板は、先後端部において合せ材が厚肉化し、逆に、合せ材の高温変形抵抗が母材鋼よりも小さい90/10 キュプロニッケルクラッド鋼板においては、合せ材が薄肉化している。

先後端部において合せ材厚が不均一な領域は、合せ材の品種や圧延条件によって先後端から300～2000mmの範囲に変動して、歩留り低下の一因となる。このため、先後端部の合せ材厚の不均一を抑制する方法について検討を行った。圧延実験のためのコンポジットは各種の変形抵抗を有するプラスチックを使用して作製した。

Table 4は、合せ材が母材よりも高い変形抵抗を有するコンポジットについて、合せ材の先後端にお

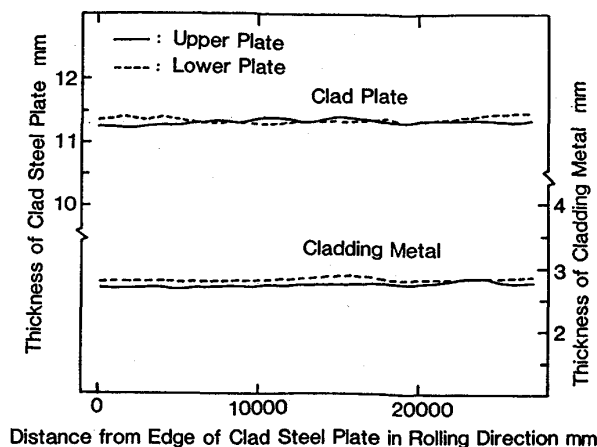


Fig. 4. Thickness distribution of sus 304 clad steel plate (ss 41+sus 304)

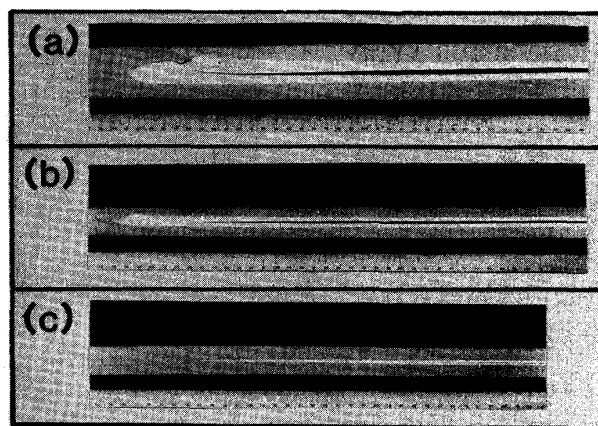


Photo. 1. Longitudinal cross section at head end of clad steel plates
(a) Incoloy 825 clad steel plate
(b) sus 304 clad steel plate
(c) 90/10 cupronickel clad steel plate

Table 4. Cross section of plasticine composites after rolling
(Deformation resistance of cladding metal > that of base steel)

No	Cross section of plasticine composite	Deformation resistance ratio ¹⁾	Longitudinal cross section after rolling ²⁾
1		2	
2		2	

1) Deformation resistance of cladding metal to base steel

2) Roll diameter : 250mm

けるテーパの有無の影響を調査した結果を示す。矩形断面を有する合せ材原板の場合は、合せ材の先後端部に顕著な厚肉化領域が認められるが、合せ材にテーパを付与すると厚肉化の程度は軽微となることが明らかである。

Fig.5は、先後端部における合せ材の厚肉化の程度におよぼす圧延条件および合せ材と母材の変形抵抗の比の影響を示す。先後端部における合せ材の厚肉化の度合いは圧下比および合せ材と母材の変形抵抗の比が大きくなるほど増大しており、合せ材厚の均一化を図るためのテーパ形状は、圧延条件および合せ材の品種に依存することがわかる。

また、Table 5は、合せ材の変形抵抗が母材よりも大きい場合について、各圧延段階の先後端部の変形状態を示している。合せ材の先後端部に付与したテーパが有効に機能して、先後端部において均一な板厚が得られることが明らかである。

Table 6は、合せ材の変形抵抗が母材よりも小さい場合について、母材にテーパを付与し、テーパの効果を調べた結果を示す。合せ材の先後端を含む領域まで長尺のテーパを形成させることにより、先後端部の合せ材厚を均一にすることが可能である。

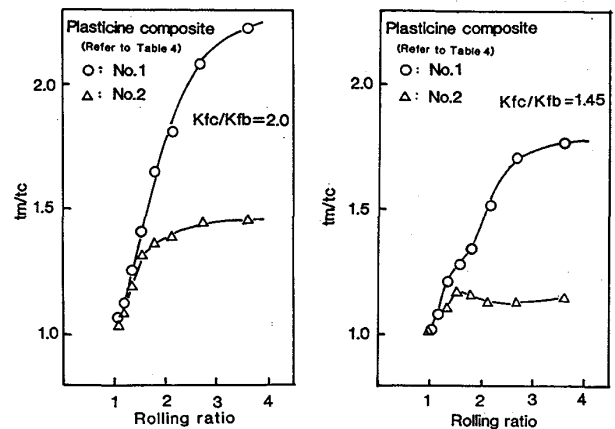


Fig. 5. Effect of rolling ratio and deformation resistance ratio of cladding metal to that of base steel (K_{fc}/K_{fb}) on ratio of maximum thickness of cladding metal at head and tail end to mean thickness at middle part (t_m/t_c)

Table 5. Metal flow of composites deformed by rolling 1) 2)

Rolling ratio	Cladding metal with taper	Cladding metal without taper
1.0		
1.8		
3.6		

1) Deformation resistance ratio of cladding metal to base steel is 2.0.

2) Deformation resistance ratio of white plasticine to black plasticine in base steel is 1.0.

Table 6. Cross section of plasticine composites after rolling (Deformation resistance of cladding metal < that of base steel)

No	Cross section of plasticine composite	Deformation resistance ratio 1)	Longitudinal cross section after rolling 2)
1		0.56	
2		0.56	

1) Deformation resistance of cladding metal to base steel

2) Roll diameter : 250 mm

5. 結言

サンドイッチ圧延法によって高品質のクラッド鋼板を高歩留りで製造する技術を確立するために、各種の検討を行い、下記の知見を得た。

(1)拘束溶接部の健全性の確保には、テーパ付きコンポジットの採用が有効である。(2)上板と下板の板厚の同一化は、保温カバーの採用と保温カバー除去後の空冷時間の制御で達成できる。(3)先後端部の合せ材厚の均一化には、テーパ付きの合せ材原板あるいは母材鋼の採用が有効である。