

討15

熱間圧延法におけるクラッド鋼板の変形挙動

日本鋼管（株）中央研究所 ・ 升田 貞和 中研 福山 中内 一郎
福山製鉄所 多賀 根章 山脇 満 八子 一了

1. 緒 言

熱間圧延法によるクラッド鋼板製造における変形挙動に関しては、異変形抵抗材の合わせ板圧延でかつ圧着という金属学的現象を伴うため、厳密な解析的取り扱いが困難であり、公表された研究はほとんど見られない。しかしながら、実機圧延においては、変形抵抗の違いによる合わせ材と母材の伸び差に起因するクラッド比率（合わせ材厚）変動による板厚精度や圧延歩留りの問題が生じている。

そこで、それらの問題点に対し、力学的解析やモデル実験により、合わせ材鋼種、スラブ寸法、初期クラッド比、圧延条件等の影響を明らかにし、実機現象の解析を行い、更に、歩留り向上策としての、スラブ端部予成形法を紹介する。

2. クラッド鋼板圧延の変形に関する問題点

クラッド鋼板圧延は、Fig.1に示すように、組立て方式によりサンドイッチ型とオープンサンド型に大別される。Table 1に各方式における、圧延後のクラッド比（＝合わせ材厚／クラッド材厚）変動の模式図を示す。クラッド比変動の問題は、定常部における組立て時クラッド比からの変化と四周端部におけるクラッド比変動域の2つに分けられる。定常部クラッド比の変化は製品クラッド比（合わせ材厚）精度に関するものであり、四周端部のクラッド比変動は低変形抵抗材のまくれ込みと合わせ、圧延歩留りの大きな問題となる。

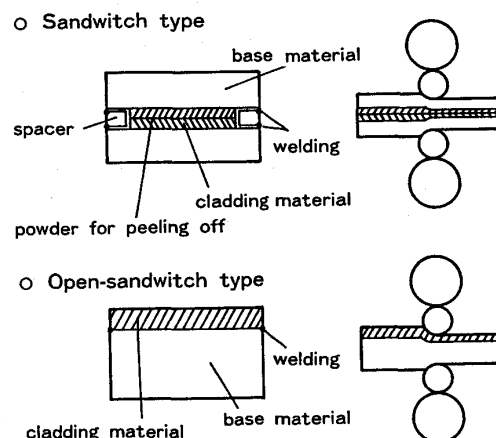


Fig.1 Compositions for rolling of clad plates.

Table 1 Change of cladding ratio in bonding.

	(A)	(B)	(C)	(D)
composition	Sandwich	Open-sandwich	Sandwich	Open-sandwich
cladding material	hard material	hard material	soft material	soft material
longitudinal or transverse distribution of cladding ratio after roll bonding	$x_{Ac} > x_0$ $x_{Ae} > x_{Ac}$ 	$x_{Bc} > x_0$ $x_{Be} > x_{Bc}$ $x_{Be} > x_{Ac}$ $x_{Bc} < x_{Ac}$ 	$x_{Cc} < x_0$ $x_{Ce} < x_{Cc}$ 	$x_{Dc} < x_0$ $x_{De} < x_{Dc}$ $x_{De} < x_{Cc}$ $x_{Dc} < x_{Cc}$

x_0 : cladding ratio of slab

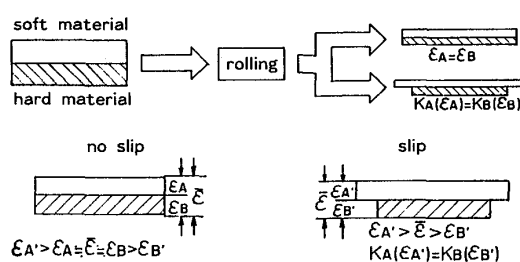


Fig.2 Conception on the deformation in clad rolling.

3. クラッド比変動

3.1 クラッド鋼板圧延の変形概念

製品クラッド比精度を高めるには、圧延中の両材料の伸び差を定量的に評価する必要がある。クラッド鋼板圧延の変形概念をFig.2に示す。完全圧着材の定常部では両材料の伸びは等しくなり両材料の圧下歪は合わせ板としての全圧下歪に等しくなる。一方、合わせ面にすべりが生じるとすると（未圧着）低変形抵抗材は多く伸び、クラッド比は変化する。即ち、圧着するまでの初期パスにおいて両材料の伸

びに差が生じ製品クラッド比はスラブ組立て時クラッド比から変化する。ただし、四周端部は材料拘束がないため、合わせ面が圧着した後も低変形抵抗材のまくれ込み等により両材料の変形は合わせ面拘束なしの状態に近く、クラッド比変化は圧着後も生じると考えられる。

3.2 影響因子の検討

圧延時のクラッド比変化について、合わせ板圧延に関する力学的解析及びプラスチック圧延実験により各影響因子の定量評価を行った。プラスチックはワセリンを混入させることにより、Fig. 3に示すごとく変形抵抗調整が可能であると共に、圧延により擬圧着状態となるためクラッド鋼板圧延のモデル材料として適している。Fig. 4にプラスチック実験による圧延後の長手方向クラッド比分布を示す。端部でクラッド比は大きく変動しており、定常部ではほぼ一定の値を示している。Fig. 5に合わせ材変形抵抗比の圧延後の端部及び定常部のクラッド比変化に及ぼす影響を示す。合わせ材が低変形抵抗材の場合にはクラッド比は、スラブ時クラッド比より減少し、高変形抵抗材の場合には増加する。両材の変形抵抗比が大きいほどその傾向は顕著になる。また、端部でのクラッド比変化は定常部に比べて大きくなっている。この結果は、前節で述べたクラッド鋼板圧延の変形概念の正当性を示している。

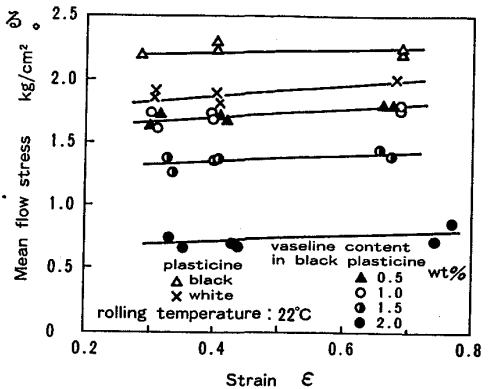


Fig. 3 Effect of vaseline content on flow stress of plasticine.

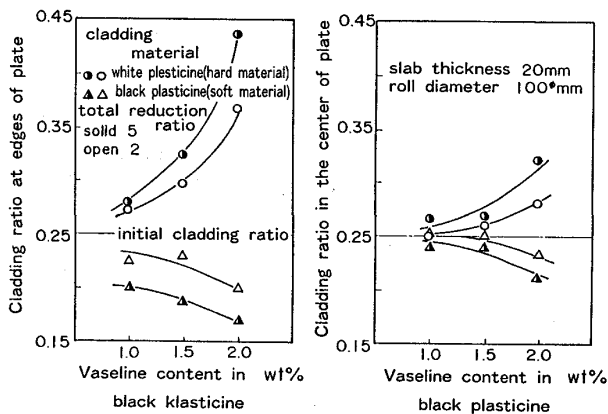


Fig. 5 Change of cladding ratio by rolling (experiments).

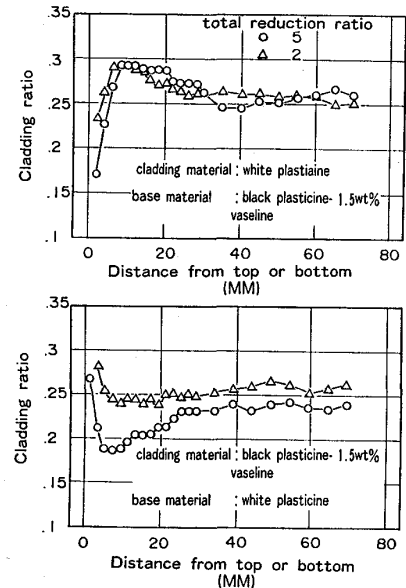


Fig. 4 Longitudinal distribution of cladding ratio after rolling.

3.3 実機現象の解析

Fig. 6にSUS304オープンサンドクラッド鋼板の実績圧下スケジュールよりの各パスでのクラッド比変化解析結果と圧延後のクラッド比実績を示す。本計算値は、すべてのパスにおいて合わせ面が未圧着状態として求めた値である。両者共T・B端部実績クラッド比は最終パス後計算クラッド比に近く、定常部実績クラッド比は1～2パス後計算クラッド比に近い値となっ

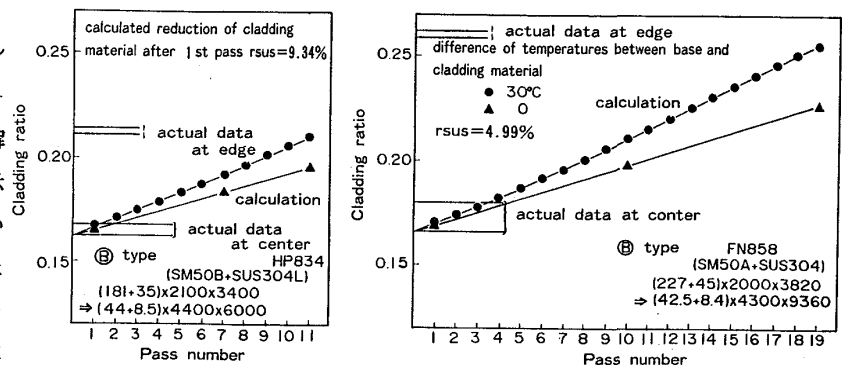


Fig. 6 Change of cladding ratio in open-sandwich type clad rolling.

ている。圧着の判定因子としては、温度、合わせ面圧、歪を考えれば良い。合わせ面圧は、極厚鋼板のザク圧着評価モデルである圧延圧縮応力比として評価し、歪は高変形抵抗材の圧下歪を用いる。オープンサンド型クラッド圧延では、クラッド比が大きくない限り合わせ面が比較的表層に近いため合わせ面に働く圧延圧縮応力比は圧着の律速とはならず、高変形抵抗材の圧下歪が判定因子となる。Fig.6の両者の1パス後のSUS材圧下率の計算値は、スラブ厚の薄い左側の材料で9.34%，右側が4.99%であり、右側の材料の方が圧着が遅いことを示しており、定常部実績クラッド比の結果と一致している。Fig.7にシミュレーション計算によるステンレスクラッド鋼板圧延におけるクラッド比変化に及ぼす合わせ材鋼種、初期クラッド比、スラブ寸法の影響を示す。端部でのクラッド比変化は全てのパスにおいて合わせ面が未圧着状態として計算した結果であり、定常部での値は圧着が起こるまでのクラッド比変化として高変形抵抗材の圧下率が5%以上になったパスでの値を示す。母材は低炭素鋼とした。合わせ材鋼種の影響は母材との変形抵抗比で整理できる。また、スラブ厚、初期クラッド比が大きいほど圧延後のクラッド比変化は大きくなる。ただし、本オープンサンド型では、SUS316の厚物を除き、定常部のクラッド比変化は小さい。Fig.8にオープンサンドとサンドウィッチ型の比較として、各パスでのクラッド比、SUS材圧下率、合わせ面の圧延応力比の計算結果を示す。合わせ材と母材の温度差は合わせ材が中心になるサンドウィッチ型では、オープンサンド型とは逆に、合わせ材の方が高温になると考えられる。サンドウィッチ型の圧着に関しては、SUS材圧下率よりも圧延応力比が律速となり、全スラブ厚が厚く合わせ面がスラブ厚中心に近くなるサンドウィッチクラッド鋼での圧着は遅くなり、定常部クラッド比の変化はオープンサンド型クラッド鋼よりも大きくなる。しかし、端部クラッド比変化は温度差条件よりオープンサンド型よりも小さくなる。これらの解析結果は、Table1に示すクラッド比変化の実体を説明し得る。

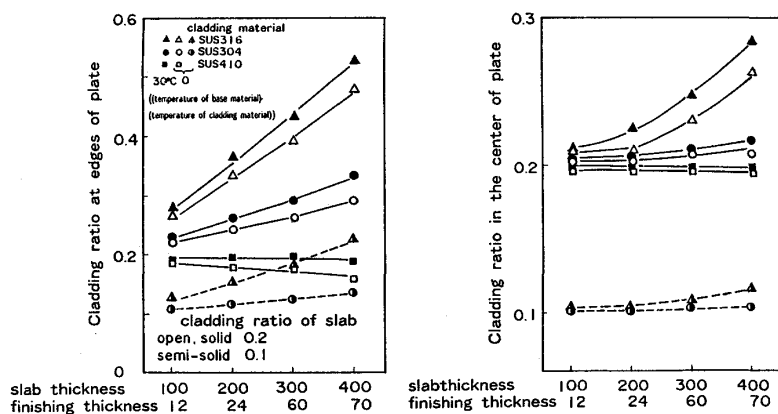


Fig.7 Change of cladding ratio by rolling (analyses).

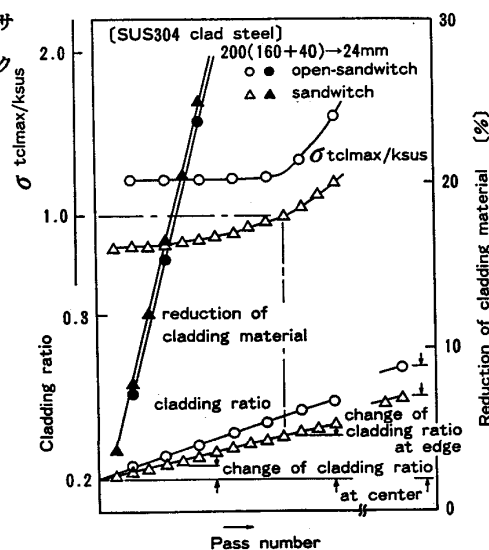


Fig.8 Effect of composition types on change of cladding ratio.

4. スラブ端部予成形及び予加工法による非定常域の低減

熱間圧延法によるクラッド鋼板製造においては、先後端及び幅端部に低変形抵抗材のまくれ込みが生じると共に、Fig.4に示すごとくクラッド比の変動域があるため、製品歩留りの低下を招いている。そこで、プラスチック実験により、スラブ先後端部予成形及び予加工法のこれらの非定常域低減効果を検討した。実験条件としては、オープンサンド型SUS304ステンレスクラッド鋼を対象とした。

Photo.1にスラブ先後端部予成形材の断面写真を示す。Fig.9に圧延後の長手方向クラッド比分布を示す。スラブ形状Aは通常スラブNと差はほとんど認められない。他のコーナーカットスラブの結果は、コーナーカットによる初期クラッド比の変化とコーナーカット部の総圧下量の違いとして説明できる。即ち

本SUS304クラッド相当では先後端部クラッド比は定常部より大きくなる傾向にあるため、Bの様な合わせ材コーナーカットやDの様な初期クラッド比は変わらないがスラブ厚が薄くなるものは、クラッド比の均一化に有効である。一方、まくれ込み量減少には母材のみカットしたCが有効である。いずれにせよ、コーナーカット法は作業の困難さやカットすることによる歩留りロスが生じる。そこで、テーバー型及びロールによる先後端プレス予加工の効果を検討した。Photo.2に予加工後の断面形状を、Fig.10に圧延後の長手方向クラッド比分布を示す。プレス条件の最適化により、クラッド比の非定常域の低減及びまくれ込み量の低減が可能であることが確認できた。

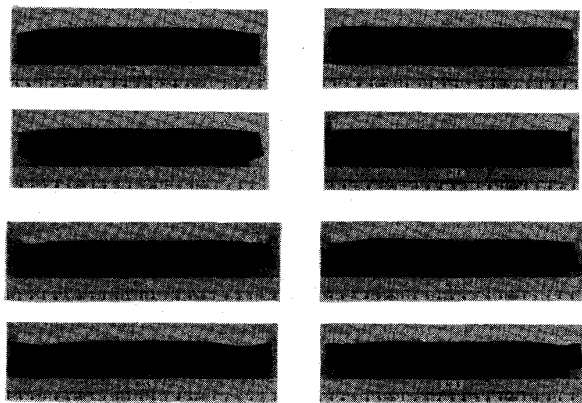


Photo.2 Sections of pre-formed slabs.

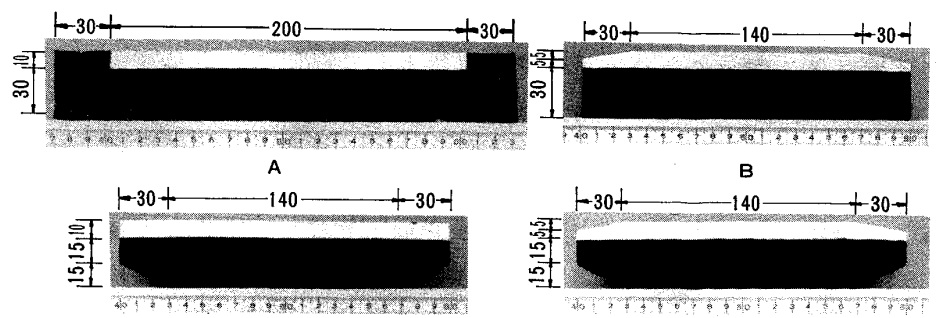


Photo.1 Sections of experimental slabs.

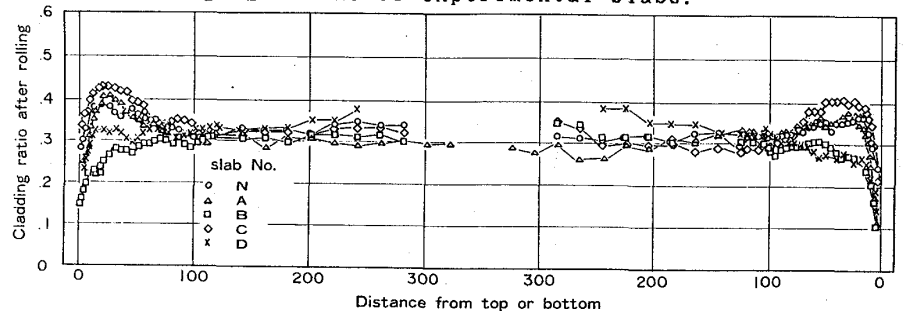


Fig.9 Effect of shapes of slabs on cladding ratio distribution after rolling.

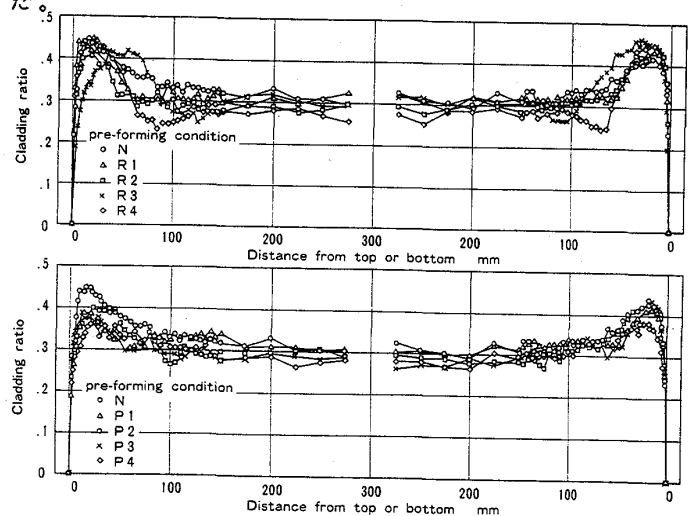


Fig.10 Effect of pre-forming conditions of slab on longitudinal cladding ratio distribution after rolling.

5. ま と め

シミュレーション計算、モデル実験により、熱間圧延法におけるクラッド鋼板の変形挙動を明らかにすることができた。その結果、製品クラッド比精度の向上およびスラブ予加工法による圧延歩留りの向上が期待できる。

〔参考文献〕

- 1) 鈴木ら；塑性と加工，15-166（1974）P. 429
- 2) 升田ら；鉄と鋼，71-6（1985）P. 712