

軸方向研磨ロール圧延による ステンレス鋼板の表面光沢向上効果

山本 秀男*・松平 行彦*・芝原 隆*・益居 健*

Surface Brightness of Stainless Steel Strip by Axially Ground Rolls in Cold Rolling

Hideo YAMAMOTO, Yukihiko MATSUDAIRA, Takashi SHIBAHARA and Takeshi MASUI

Synopsis : Recently, to improve productivity of stainless steel strip, development of cold rolling technology in tandem mill is required.

Previous research works, however, show that a surface brightness of strip decreases due to increase of micro-defects such as oil pits caused by high speed rolling with large diameter work rolls. In this paper, to obtain high brightness surface in cold rolling, a new method for decreasing micro-defects by "Axially ground rolls", which are finished by grinding to axial direction instead of conventional grinding to circumferential direction, is proposed.

Main results are as follows :

- (1) The surface brightness of stainless steel strip is significantly improved by rolling with axially ground rolls.
- (2) This new rolling method has an effect to decrease the oil pits and the imprint of roll asperity on strip surface due to relative slip between roll and strip.
- (3) Although a rolling friction is increased by this method, an occurrence of seizure is restrained.

Key words : stainless steel ; cold rolling ; surface brightness ; surface roughness ; lubrication ; roll grinding.

1. 緒言

ステンレス鋼板の冷間圧延は、従来からロール径が小さいセンジミアミルにより、低速で行われていたが、近年、生産能率を向上させるため、クラスターミルでの高速圧延、および大径ロールを用いるタンデムミルでの高能率圧延が試みられている^{1,2)}。

しかし、高速圧延を行うと、ステンレスの重要な品質である表面光沢の低下、および焼付きの発生が問題となる。さらに、大径ロールを用いた圧延では著しく光沢が低下する。したがって、高能率圧延の実現にはこれらの条件下での光沢改善技術の確立が不可欠である。

そこで、まず光沢低下因子の検討が多くの研究者により進められ、圧延時の材料表面粗さの変化の解析および圧延後の鋼板表面のマイクロ解析によりオイルピット等の表面マイクロ欠陥の影響が著しいことが論じられた²⁻⁵⁾。また、光沢向上技術の開発を目的として、オイルピット発生に及ぼす圧延母材およびロール粗さの影響、圧下率等の圧延条件の影響、圧延油粘度およびエマルジョン粒径等の潤滑条件の影響等の種々の検討が進められている⁶⁻¹²⁾。

本論文では表面光沢低下の主原因であるロール肌の転写

を増大させオイルピットを減少させる方法として、冷間圧延時のロールと圧延材の相対滑りに注目し、研磨目の方向を軸方向としたロール(以下、軸方向研磨ロール: Axially ground rollと呼称)を用いた圧延による新たな高光沢圧延技術を見出した。すなわち、研磨目の山部が圧延材の表面を滑ることによる平滑化作用について述べる。また、このロールを用いた際の油膜厚、耐焼付き性についても述べる。

2. 実験方法

ロールの研磨目の方向が圧延材の表面性状に及ぼす影響を明らかにするため、ロールの直径が100mmの2 Hiモデル冷間圧延機を用いてTable 1に示す条件で板厚3.2mmのSUS430酸洗済み熱延鋼板(Ra2.5 μ m)を圧延した。ロールはFig. 1に示すような回転砥石でロール周および軸方向に研磨して、研磨筋と直角方向の平均粗さ(Ra)で0.05, 0.15, 0.3 μ mに調整した。なお、圧延速度が18m/minと実機圧延に比べ小さいため、油膜厚を実機圧延条件に近づけるべく圧延油の粘度を150mm²/sと大きくした。圧延後の鋼板は、光沢度計により上面の圧延方向と板幅方向のGs(45°)を3点、触針式の粗さ計により光沢度を測定した面について圧延方向

平成8年1月10日受付 平成8年4月12日受理 (Received on Jan. 10, 1996; Accepted on Apr. 12, 1996)

* 住友金属工業(株)総合技術研究所 (Corporate Research & Development Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 3 Oaza-Hikari Kashima 314)

Table 1. Cold rolling conditions on experimental mill.

Mother strip	Material	SUS430
	Thickness (mm)	3.2
	Surface roughness (μm)	Ra: 2.5
Work roll	Diameter (mm)	100
	Surface roughness (μm)	Ra: 0.05, 0.15, 0.30
Rolling schedule of strip (mm)		3.2 → 2.7 → 2.1
Rolling speed (m/min)		18
Viscosity of oil (mm ² /sec at 40°C)		150

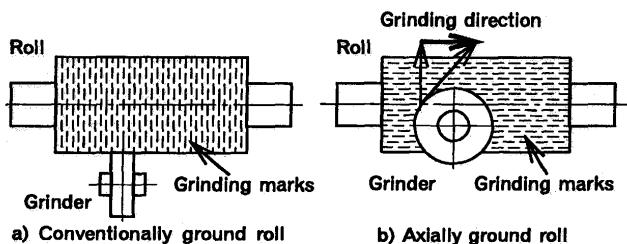


Fig. 1. Schematic view of roll grinding methods.

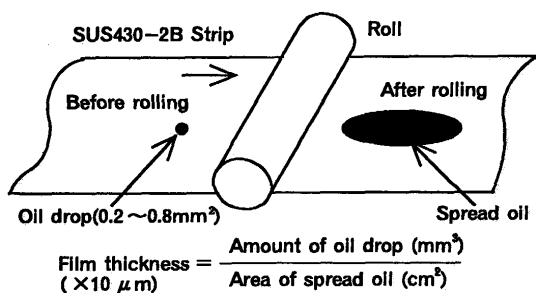


Fig. 2. Measuring method of oil film thickness in cold rolling.

Table 2. Cold rolling conditions on experimental mill.

Mother strip	Material	SUS430
	Thickness (mm)	0.7
	Surface roughness (μm)	Ra: 0.05
Work roll	Diameter (mm)	100
	Surface roughness (μm)	Ra: 0.13, 0.30
Reduction in thickness (%)		20
Rolling speed (m/min)		18
Viscosity of oil (mm ² /sec at 40°C)		15, 100, 460

と板幅方向の平均粗さ (Ra) を各 3 点測定し、平均値を採用した。さらに、光学顕微鏡と画像解析装置により、微小欠陥をオイルピット等の凹部マイクロ欠陥とロール肌の転写疵に分類し¹³⁾、それらの欠陥面積率を求めた。

圧延時の油膜厚を調べる実験は、前述の 2 Hiモデル冷間圧延機を用いて Fig. 2 に示す脱脂した鋼板上の一定体積の油滴が圧延後に広がった面積を測定して求める油滴圧延法¹⁴⁾により Table 2 に示す条件で行った。圧延に使用した鋼板は、流体力学的に引き込まれる油量を比較するため表面粗さが小さく、機械的捕捉効果の少ない板厚 0.7mm の SUS430-2B

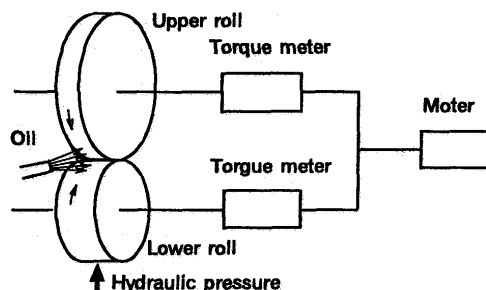


Fig. 3. Schematic view of two-roller tester.

Table 3. Rolling test conditions on two-roller tester.

Upper roll	Material	SUS430
	Diameter and width (mm)	216 φ × 20w
	Surface roughness (μm)	Ra: 0.6
Lower roll	Material	SKD11
	Diameter and width (mm)	180 φ × 40w
	Surface roughness (μm)	Ra: 0.4
Hertzian stress (MPa)		363, 441, 510
Rolling speed of lower roll (m/min)		136
Slipping ratio (%)		20
Viscosity of oil (mm ² /sec at 40°C)		10

材を使用した。潤滑油は油膜厚を広範囲に変化させるため粘度を 15, 100, 460mm²/s に変化させ、油滴の塗布量は圧延後の油滴の拡がり面積がほぼ一定になるように圧延条件、潤滑油粘度により 0.2~0.8mm³ に変えた。

潤滑性への影響を調べる実験は、Fig. 3 に示す異径同一回転の二円筒転動式摩擦試験機¹⁵⁾を用い、周および軸方向に研磨した直径 180mm、粗さ Ra0.4μm のロール (SKD11) と周方向に研磨した直径 216mm、粗さ Ra0.6μm のロール (SUS430: 圧延材想定) を組合わせて摩擦試験を行い、Table 3 に示す条件で摩擦係数を測定した。

3. 実験結果

3.1 冷間圧延後の表面性状測定結果

2 Hiモデル冷間圧延機を用いて Table 1 に示す条件で圧延した鋼板の光沢度と表面粗さを Fig. 4 に示す。また、鋼板表面の顕微鏡写真を Fig. 5 に、表面の微小欠陥の面積率を画像解析装置により測定した結果を Fig. 6 に示す。

光沢度は圧延方向だけでなく、板幅方向においても軸方向研磨ロールを使用した方が高光沢が得られた。特に、2パス圧延後の鋼板表面の板幅方向の光沢向上効果が顕著で、かつロール粗さが大きいほど高い光沢を示した。しかし、表面粗さはロール肌の転写方向が変わるため、軸方向研磨ロール圧延材は通常研磨ロール圧延材に比べ板幅方向の粗さが小さくなるが、圧延方向の粗さが大きくなり、平均的には差が認められない。

2パス圧延後の鋼板表面は母材の酸洗ピットや新たに発

生じたオイルピット等の凹部マイクロ欠陥だけでなく、ロール肌の転写疵も減少することが判る。また、画像解析によるマイクロ欠陥面積の測定結果からもその状態が判る。凹部マイクロ欠陥は調質圧延後にも残り光沢を低下させるため、この圧延法は光沢向上に有効と考える。

3.2 平均油膜厚の測定

Table 2 に示す条件で一定体積の油滴を圧延し、圧延後の拡がり面積から計算により求めた平均油膜厚をFig. 7 に示す。

ロール粗さ、圧延油粘度にかかわらず、軸方向研磨ロールの方が通常ロールより平均油膜が1.5~2 倍厚い。

3.3 耐焼付き性の評価

二円筒転動式摩擦試験機を用いてTable 3 の条件で摩擦

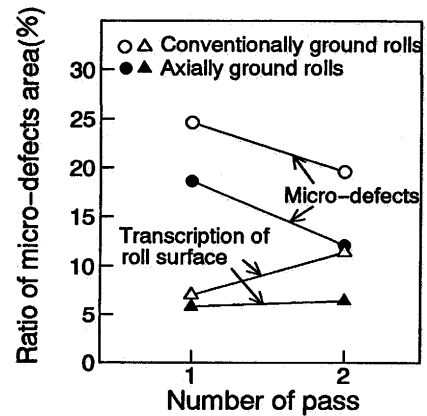


Fig. 6. Effect of roll grinding pattern on surface micro-defects of strips.

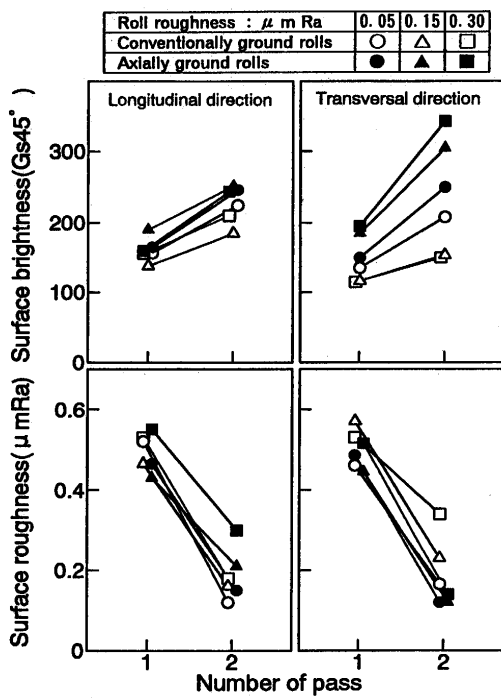


Fig. 4. Effect of roll grinding pattern on surface brightness and roughness of strips.

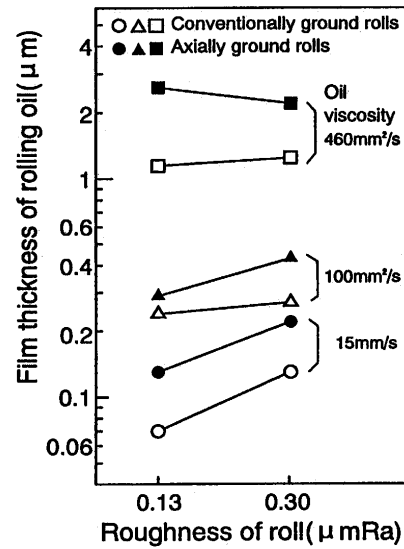


Fig. 7. Effect of roll roughness on film thickness of rolling oil.

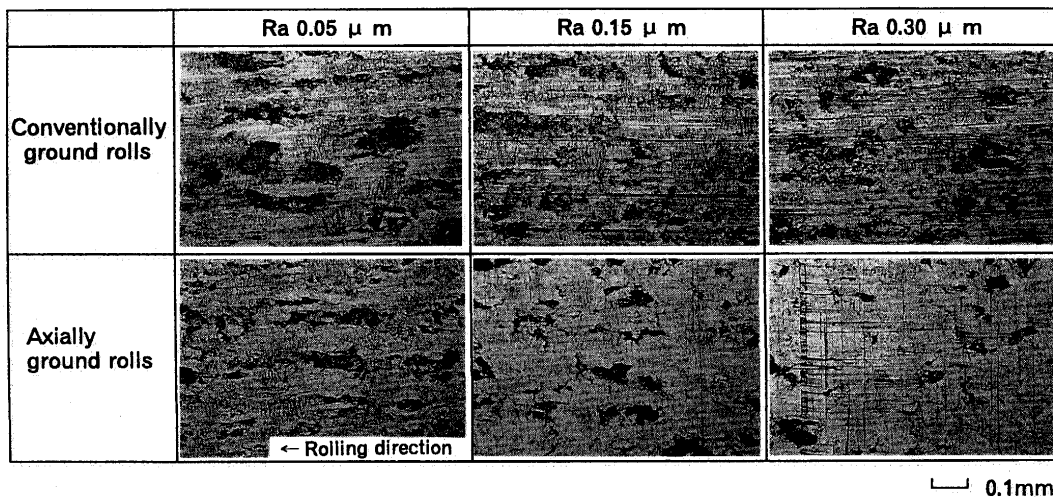


Fig. 5. Micrographs of strip surface after 2-pass rolling.

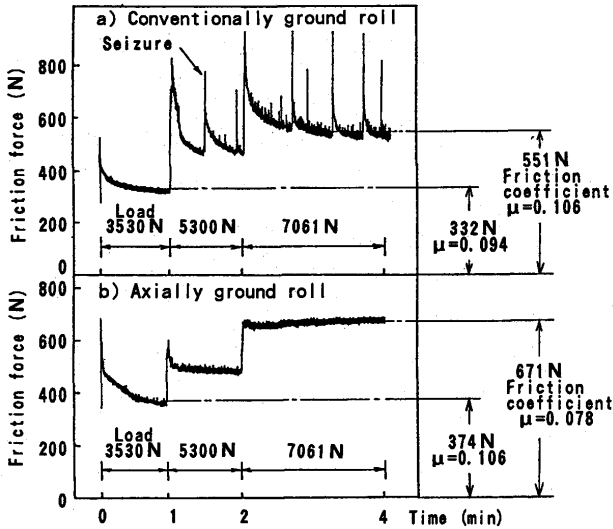


Fig. 8. Effect of roll grinding pattern on rolling friction.

係数を測定した結果をFig. 8に示す。

通常のロールでは高面圧になると定常時の摩擦係数は低いが、微小焼付きが発生する。しかし、研磨目を軸方向としたロールは摩擦係数は高いが微小焼付きは発生しない。

4. 考察

4・1 ロールと材料間の相対滑りによる平滑化

圧延時にはロールと圧延材の速度差から、両者間で圧延方向に相対滑りが発生する。Fig. 9に示すように通常のロールは研磨目の方向が周方向であり、圧延時の相対滑りの方向と研磨目の方向が一致している。そのため滑りによる軌跡はロール研磨目の転写として線状に表れる。それに対し研磨目の方向を軸方向とした場合はFig. 10に示すように研磨目の凸部と圧延材とが接触した部分がロール軸方向に幅があるためハッチングで示す広範囲な面積を持つ軌跡となる。

ここで、この際の滑り距離(L)をロール研磨目凸部の間隔(W)と比較する。ロールと圧延材との相対滑り長さはBland& Fordの理論により、中立点までの入側の領域で計算すると、Fig. 11に示すように直径100mmのロールで圧下率20%の場合は0.2~0.3mmとなる。一方、ロール研磨目のWは平均粗さ(Ra)が0.2μmの場合で30~50μmであり、圧延材の同一表面上を研磨目凸部が5~6個通過することになり、表面が平滑化する機会が多い。すなわち、Fig. 10の断面図に示したようにロール研磨目の凸部が圧延材表面を滑る際に広範囲にわたりオイルピットを押し潰し、更に、凸部の移動した後面には平滑面が形成され、光沢が向上すると考えられる。この場合、ロール研磨目の凸部が圧延材表面を滑る距離が長い場合、全ての凸部が圧延材表面に接することは必要としない。滑り距離の間に最低1個の凸部があれば平滑化は

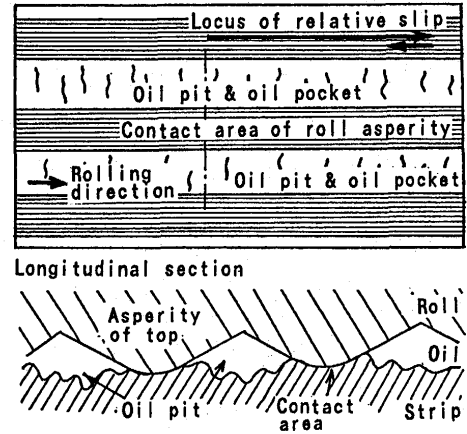


Fig. 9. Schematic view of contact between strip and conventionally ground roll in cold rolling.

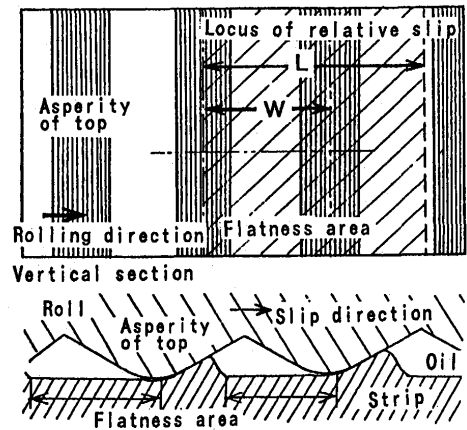


Fig. 10. Schematic view of contact between strip and axially ground roll in cold rolling.

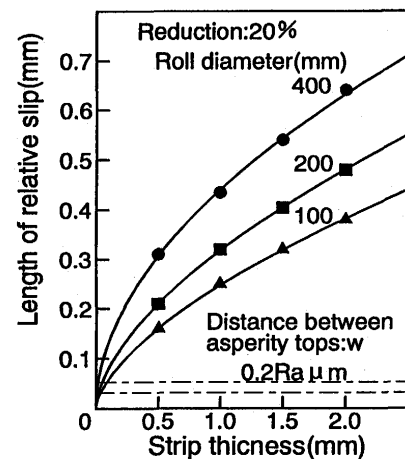


Fig. 11. Relation of the distance between asperity tops and the length of relative slip.

可能と推定される。そのため比較的油膜が厚く、凸部が接触し難い状態でも平滑化できる。また、ロール粗さが粗いほど凸部が圧延材表面に接し易く平滑化が進む。それに対し通常ロールは研磨目と滑りの方向とが一致しているため、

研磨目の凹凸がほとんどそのまま転写されて滑る形となり、平滑化の程度が少ない。そればかりかロール研磨目の谷間に相当する油膜が厚い部分は研磨目の凸部で油の流れが拘束されオイルピットとなり易い。したがって、通常ロールでは高光沢とするにはFig. 4に示したようにロール粗さを小さくし、かつ油膜を薄くし、いかに平滑なロール肌を圧延材に転写させるかであった。軸方向研磨ロールによる光沢向上は油膜が多少厚くても、ロール粗さが大きくても進行するため従来の光沢向上メカニズム⁷⁾とは異なる新たな現象である。

Fig.12およびFig.13はFig. 5で示した2 Hiモデル冷間圧延機で圧延した鋼板表面およびロール表面をレーザー式粗さ計により三次元粗さ測定した結果を示す。また、Fig.14は圧延材の表面粗さ曲線の等高線分析結果である。なお、ロール表面の粗さは圧延材表面と比較するためレプリカを取り、その面を測定した。ロールの粗さおよび研磨目の形状は同じであっても、研磨目の方向が異なると通常ロールで圧延

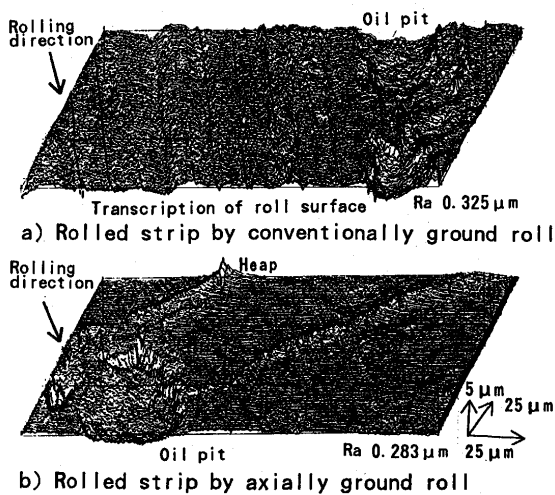


Fig. 12. Surface roughness of strips after rolling. (Roll roughness: $0.3\mu\text{mRa}$).

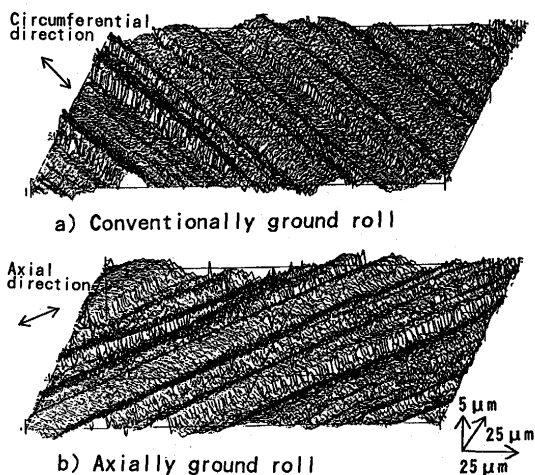


Fig. 13. Surface roughness of rolls.

した表面にはオイルピットやロール肌の転写が多いのに対し、軸方向研磨ロールで圧延した表面はロール肌の転写が少なく、平滑面が多いことが判る。この表面観察からも前述の平滑化メカニズムが裏付けられる。

4・2 平均油膜厚の増大

2円筒接触の弾性流体潤滑状態において摩擦面に微小な凹凸がある場合、凹凸の山並が滑り方向に直角な場合は並行な場合より2円筒間の発生する圧力が大きいことが知られている¹⁶⁾。圧延時のロールと材料との接触状態においても、ロールバイト入り口で同様の現象が発生していると推定され、入り口部での圧力差が油膜厚差となる。また、凸部が接触した混合潤滑状態の解析において、凹凸の山並が滑り方向に直角な場合は並行な場合より圧力流量係数が小さく、接触面間での潤滑油の流れが少ないことが知られている¹⁷⁻¹⁹⁾。圧延時のロールバイト内においても同様な現象が考えられ、これらの作用が相まって平均油膜厚が増大したと考察される。

4・3 摩擦係数の増大と耐焼付き性の向上

摩擦係数の増大は、研磨目の凸部による圧延材表面の平滑化作用によるためと推定される。また、耐焼付き性の向上はFig. 9に示すように、研磨目の凸部と凹部が交互に圧延

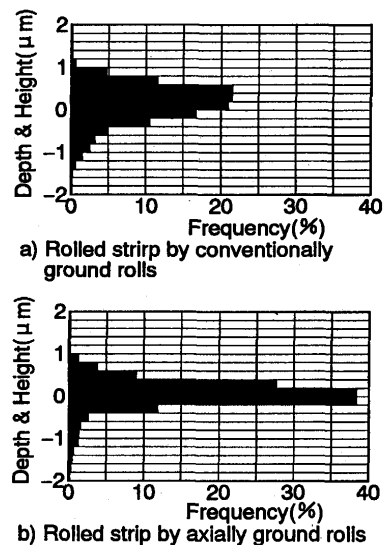


Fig. 14. Spectrum analysis of surface roughness of rolled strips.

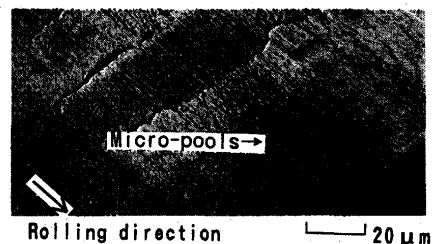


Fig. 15. Micro-pools on surface of rolled strip.

材上を通過し、油膜の薄い境界潤滑状態にさらされる時間が短いことが第1に考えられる。また、モデルミル圧延試験後の表面には、Fig.15に示すような圧延方向に並んだマイクロプールの観察されることから、研磨目の谷部に閉じ込められた圧延油が静水圧効果により研磨目山部の接触部へ流出して潤滑するマイクロ塑性流体潤滑²⁰⁻²²⁾等の効果が推定される。これらについての検討が今後の課題である。

5. 結言

普通鋼ミルによるステンレスの鋼板の高光沢圧延を実現させることを目的として、軸方向に研磨したロールを用いた圧延を検討して次の結果を得た。

(1) 研磨目を軸方向としたロールを用いて圧延すると、ロールと圧延材間の相対滑りにより、ロール研磨筋の凸部が圧延材表面のオイルピットを減少させる。

(2) この作用はロール粗さが粗いほど顕著で、かつ従来ロールより厚膜状態で実現される。

(3) 摩擦係数は高くなるが、耐焼付き性は低下しない。

(4) 摩擦係数の上昇はオイルピットを平滑化するための摩擦・変形作用と考えられ、耐焼付き性の向上は平均油膜厚が大きくなったためと考えられる。

(5) したがって、軸方向研磨ロールはステンレス鋼板の高光沢圧延への適用が期待できる。

文 献

- 1) 狩野泰脩, 高橋順昭, 小嶋寿男, 江原圭介: 日本ステンレス技報, **26** (1991), 87.
- 2) 剣持一仁, 鎚田征雄, 阿部英夫, 福原明彦, 小松富夫, 垣内博之, 岸田 朗: 第42回塑性加工連合講演会講演論文集, (1991), 869.
- 3) 馬場敬志, 岩崎 守: 塑性と加工, **13** (1972), 609.
- 4) 澤谷 精, 南野 繁, 西村 弘, 水沼武久: 製鉄研究, **292** (1977), 100.
- 5) 宮嶋 明, 柳澤 満, 古君 修, 斉藤文夫: 川崎製鉄技報, **21** (1989), 362.
- 6) 小豆島明, 鈴木 肇: 平成2年度塑性加工春季講演会講演論文集, (1990), 265.
- 7) 小豆島明, 野呂和也, 井柳好貴, 出川浩樹: 鉄と鋼, **76** (1990), 576.
- 8) 升田貞和, 八木竜一, 村田宰一: 第42回塑性加工連合講演会講演論文集, (1991), 861.
- 9) 岩崎芳明, 水田次士, 梶間透, 梁井和樹: 第38回塑性加工連合講演会講演論文集, (1987), 113.
- 10) 山本普康, 阿高松男, 白石利幸, 中島浩衛, 井上 剛: 平成3年度塑性加工春季講演会講演論文集, (1991), 393.
- 11) 山本秀男, 富澤 淳, 松浦征浩, 益居 健, 松平行彦: 第42回塑性加工連合講演会講演論文集, (1991), 873.
- 12) 岡本昭治, 山本 昇: 第42回塑性加工連合講演会講演論文集, (1991), 877.
- 13) 山本秀男, 小川原毅彦: 材料とプロセス, **5** (1992), 1599.
- 14) 佐伯邦夫: 塑性と加工, **8** (1967), 34.
- 15) 山本秀男, 中津幹男: 材料とプロセス, **4** (1991), 490.
- 16) 三矢保永, 金子礼三, 小口重光: 日本機械学会講演論文集, **710-13** (1971), 61.
- 17) L.S.H.Chow and H.S.Cheng: Trans ASME **100**, Jan., (1976), 1172.
- 18) Nadir Patir and H.S.Cheng: Trans ASME **100**, Jan., (1978), 12.
- 19) A.Jacson and A.Cameron: ASLE Trans, **19-1** (1974), 50.
- 20) 片岡征二, 菅野恵介, 木原諄二: 塑性と加工, **29** (1988), 172.
- 21) 小豆島明, 坪内昌生, 工藤英明, 古田憲明, 峯村 憲: 塑性と加工, **30** (1989), 1631.
- 22) 片岡征二, 木原諄二, 相澤龍彦: 塑性と加工, **33** (1992), 556.