

# 軸方向等の研磨ロールで冷間圧延した ステンレス鋼板の表面性状

山本 普康\*・生田 宏\*・生地 文也\*

Surface Characteristics of Stainless Steel Sheets Cold-rolled with Rolls Polished  
in Axial and Other Directions

Hiroyasu YAMAMOTO, Hiroshi IKUTA and Fumiya SHOJI

**Synopsis :** The experiments for cold rolling of stainless steel sheets were made in order to clarify the effect of methods of roll polishing and surface roughness of rolls on the surface characteristics of rolled sheets such as surface gloss, ratio of flat area and so on. Then, the surfaces of rolled sheets were observed with a microscope and a scanning electron microscope. As a result, it has been found that the surface of sheets rolled with the rolls polished in the axial direction with #800 polishing paper, which shows the largest gloss in the present experiments, is considerably flat in spite of having thin uneven linear defects in the normal direction to the rolling one.

**Key words :** plastic forming; cold rolling; tribology; stainless steel; surface gloss; ratio of flat area; surface roughness; surface defects; oil pits.

## 1. 緒言

良好な表面光沢度が要求されるステンレス鋼板は、ゼンジミア圧延機のような小径ロールを用いたクラスター型圧延機<sup>1)</sup>によって比較的低速で冷間圧延される<sup>2)</sup>。このようなステンレス圧延鋼板の表面光沢度と圧延条件や潤滑条件等との関係としては、ロール径<sup>3)</sup>や圧延速度<sup>4)</sup>、潤滑油粘度<sup>5)</sup>、圧延材料(圧延前の材料)の表面粗さ<sup>6)</sup>、ロールコーティング<sup>7)</sup>、軸方向研磨等のロール研磨方法<sup>8)</sup>等が取り上げられて研究されている。また、表面光沢度の形成機構の研究としても、マイクロ欠陥<sup>9)</sup>や平坦率<sup>10)</sup>、ロールバイト内に導入される油膜厚さ<sup>11,12)</sup>等が報告されている。

ここでは、ステンレス鋼の冷間圧延を対象にして、表面粗さの小さい圧延材料と軸方向研磨ロールや従来の円周方向研磨ロール、表面粗さの小さいロールとを用いて冷間圧延実験を行う。次に、冷間圧延したステンレス鋼板の表面の光沢度や平坦率を測定し、表面を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡(SEM)によって観察する。そして、各研磨ロールにおける圧延鋼板表面のオイルピット<sup>6,13)</sup>や疵等の欠陥の発生状況の差異を明らかにして、冷間圧延ステンレス鋼板の表面光沢度に及ぼす軸方向研磨ロールの効果を考察する。

## 2. 実験方法

実験に用いた圧延機は2段式圧延機で、ロールは直径が

100 mm、胴長が70 mmの合金鋼(SKD11)である。圧延材料は、厚さが0.92 mm、幅が20 mm、長さが300 mmのステンレス鋼板(SUS430)である。圧下率は約15, 25, 35, 45%で、圧延速度は37.0 mm/sである。潤滑油には鉱油系潤滑油(40°C粘度: 181.0 mPa·s, ロールバイトに導入される油膜厚さが実機と同程度になるように高粘度潤滑油を使用)をニート(100%濃度)の状態で使用し、室温で実験を行う。圧延材料の表面粗さ(Ra, 算術平均粗さ)は、圧延方向が0.072 μm Ra, 板幅方向が0.077 μm Raで、平均値が0.075 μm Raである。ロールには3種類の研磨紙(#800, #1200, #2000)を用いて、Fig. 1に示すように、軸方向研磨、円周方向研磨およびランダム研磨を行う。Table 1に各研磨ロールの表面粗さ(Ra)を示す。なお、#2000研磨の場合には、ロール表面は軸方向研磨、円周方向研磨、ランダム研磨のいずれもほぼ同程度の表面粗さの鏡面状態になるため、ここではランダム研磨のみを用いた。

圧延鋼板は2次元粗さ計で表面粗さ $\sigma_s$ (Ra)を、鏡面光沢度計(入射角度: 20°)で表面光沢度 $G_s$ を、光学顕微鏡にCCDカメラを取り付けてその画像を解析する画像解析装置で圧延鋼板表面の平坦率 $\alpha_0$ <sup>10)</sup>を測定する。ここで平坦率は、画像解析した表面において、全面積に対する平坦な領域の割合である。なお、ロールおよび圧延材料、圧延鋼板の表面粗さならびに圧延鋼板表面の光沢度は、それぞれの表面の任意5ヶ所においてロールの円周方向と軸方向、あるいは板の圧延方向と板幅方向で測定し、それぞれの方向で平均した値をロールの円周方向と軸方向、あるいは

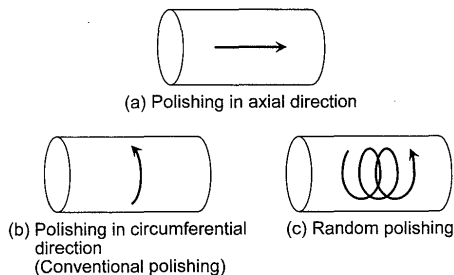


Fig. 1. Methods of roll polishing.

Table 1. Surface roughness of rolls.

Roll conditions		Surface roughness ( $\mu$ mRa)		
		Circum. direction	Axial direction	Average
#800	Axial	0.091	0.077	0.084
	Circum.	0.071	0.091	0.085
	Random	0.081	0.080	0.081
#1200	Axial	0.069	0.059	0.064
	Circum.	0.056	0.070	0.063
	Random	0.065	0.063	0.064
#2000	Random	0.039	0.056	0.048

は板の圧延方向と板幅方向の値とする。圧延鋼板の表面の平坦率も任意 5ヶ所の測定値の平均値である。さらに、圧延鋼板は光学顕微鏡（倍率： $\times 100$ ）と走査型電子顕微鏡（SEM, 倍率： $\times 500, \times 2000$ ）で表面状況や表面欠陥を観察する。

### 3. 実験結果

Fig. 2 は圧延鋼板の表面粗さ  $\sigma_s$  と圧下率  $r$  の関係である。表面粗さは、圧延方向と板幅方向がほぼ同じ傾向を示すため<sup>10)</sup>、圧延方向と板幅方向の平均値である。表面粗さは、#800 研磨ロールおよび #1200 研磨ロールのそれぞれにおいて、軸方向研磨、円周方向研磨およびランダム研磨がほぼ同程度の大きさである。また、表面粗さは #800 研磨ロール、#1200 研磨ロール、#2000 研磨ロールの順に小さくなる。

Fig. 3 は圧延鋼板表面の光沢度  $G_s$  と圧下率  $r$  の関係である。光沢度も、圧延方向と板幅方向でほぼ同じ傾向を示すため<sup>10)</sup>、圧延方向と板幅方向の平均値である。#800 研磨ロールの場合には、光沢度は軸方向研磨が最も大きく、次いでランダム研磨、円周方向研磨の順に小さくなる。#1200 研磨ロールの場合には、光沢度は軸方向研磨、円周方向研磨およびランダム研磨がほぼ同程度の大きさであり、いずれも #800 研磨ロールに比べると小さい。#2000 ランダム研磨の光沢度は、圧下率 25% 以上では #800 軸方向研磨に次いで大きい。なお、#2000 ランダム研磨の圧下率約 42% の光沢度が低下したのは、焼付きが発生したためである。以上から、今回の実験では #800 軸方向研磨の光沢度が最も大きく、ロール粗さの小さい #2000 ランダム研磨よりも良好であることが分かる。

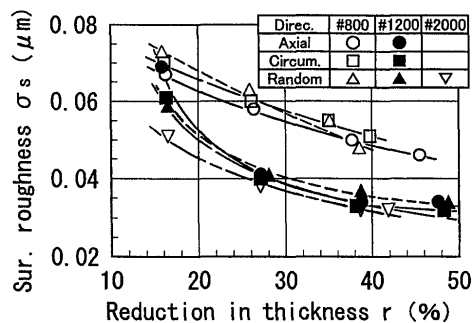


Fig. 2. Relation between surface roughness  $\sigma_s$  and reduction in thickness  $r$  ( $\sigma_s$ : average of rolling and width directions).

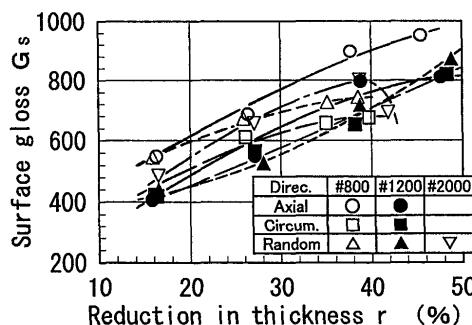


Fig. 3. Relation between surface gloss  $G_s$  and reduction in thickness  $r$  ( $G_s$ : average of rolling and width directions).

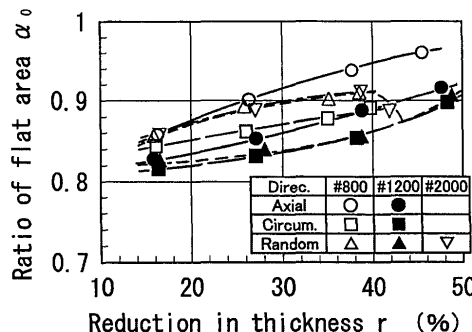


Fig. 4. Relation between ratio of flat area  $\alpha_0$  and reduction in thickness  $r$ .

Fig. 4 は圧延鋼板表面の平坦率  $\alpha_0$  と圧下率  $r$  の関係である。#800 研磨ロールの場合には、平坦率は軸方向研磨が最も大きく、次いでランダム研磨、円周方向研磨の順に小さくなる。#1200 研磨ロールの場合には、平坦率は軸方向研磨が円周方向研磨およびランダム研磨よりも大きい、いずれも #800 研磨ロールに比べると小さい。#2000 ランダム研磨の平坦率は、#800 軸方向研磨に次いで大きく、#800 ランダム研磨とほぼ同程度の大きさである。なお、#2000 ランダム研磨の圧下率約 42% の平坦率が低下したのも、焼付きが発生したためである。このように平坦率と光沢度は、測定のパラッキによって #2000 ランダム研磨と #800 ランダム研磨の大小関係が一部異なる所もあるが、大半が同じ傾向にある。また、Fig. 2 に示した表面粗さの

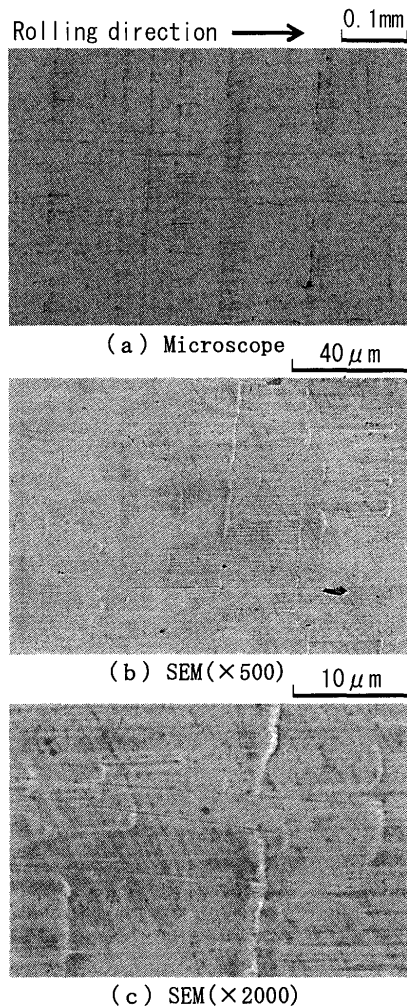


Fig. 5. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #800 polished in axial direction ( $r=37.7\%$ ).

結果を考慮すると、光沢度は表面粗さよりも平坦率によって大きく影響されることが分かる。

#### 4. 表面観察と考察

Fig. 5 は #800 軸方向研磨ロールによって冷間圧延した圧下率  $r=37.7\%$  のステンレス鋼板の表面写真、Fig. 6 は #800 円周方向研磨ロールによる圧下率  $r=39.8\%$  の表面写真、Fig. 7 は #800 ランダム研磨ロールによる圧下率  $r=38.5\%$  の表面写真である。(a) は倍率 100 倍の光学顕微鏡写真、(b) は倍率 500 倍の SEM (走査型電子顕微鏡) 写真、(c) は (b) の疵部を拡大した倍率 2000 倍の SEM 写真であり、以下同様である。なお、(a) と (b) の写真の撮影位置は必ずしも同一ではない。圧延鋼板表面の光沢度と平坦率が最も大きい Fig. 5 の軸方向研磨の鋼板表面には、圧延方向にほぼ垂直な方向にロール研磨目の凸部によって生じたと推察される線状疵が存在するが、圧延方向の線状疵<sup>9)</sup> やオイルピット<sup>6,13)</sup> がほとんどなく、表面が比較的平坦であることが分かる。なお、Fig. 2 に示している圧延鋼板の表面

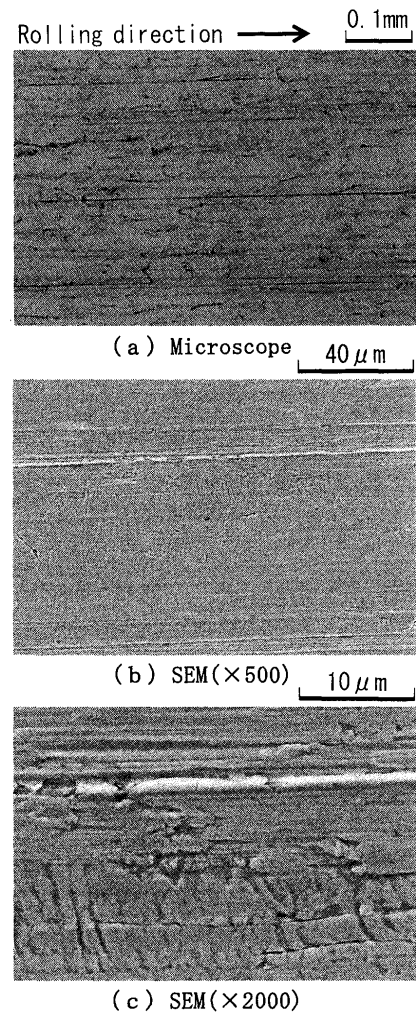


Fig. 6. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #800 polished in circumferential direction ( $r=39.8\%$ ).

粗さの測定結果を考慮すると、#800 研磨ロールにおいては軸方向研磨の表面粗さが他の研磨とほとんど同程度の大きさを示しているため、軸方向研磨の線状疵の凹凸は他の研磨で見られる疵 (Fig. 6, Fig. 7 参照) と余り変わらない大きさであると推察される。一方、Fig. 6 の円周方向研磨と Fig. 7 のランダム研磨の圧延鋼板表面には、ロール研磨目が圧延鋼板表面に転写して生じた比較的粗くて長い圧延方向の線状疵<sup>9)</sup> (Fig. 6, Fig. 7(c)) や斜め方向の線状疵 (Fig. 7(c)) が存在する。また、圧延材料表面の大きな粗さの凹部が圧延後に残留した疵<sup>6)</sup> (Fig. 6, Fig. 7(c)) や、ロール表面と圧延材料表面の凹部に捕捉された潤滑油がロールバイト内に封入されて生じたしわ状のオイルピット<sup>6,13)</sup> (Fig. 6(c)) も観察される。なお、ランダム研磨の Fig. 7(b), (c) には明瞭なオイルピットは観察されないが、Fig. 7(a) の光学顕微鏡写真からオイルピットの存在が認められ、その量は Fig. 6 の円周方向研磨に比べると少ない。これらの事から、#800 研磨ロールの場合には、ロール研磨目の凸部が大きいと、軸方向研磨ではこの研磨目が圧延材料表面を滑る時に圧延材料表面の凹凸 (粗さ) が平滑化され<sup>8)</sup>、圧延方

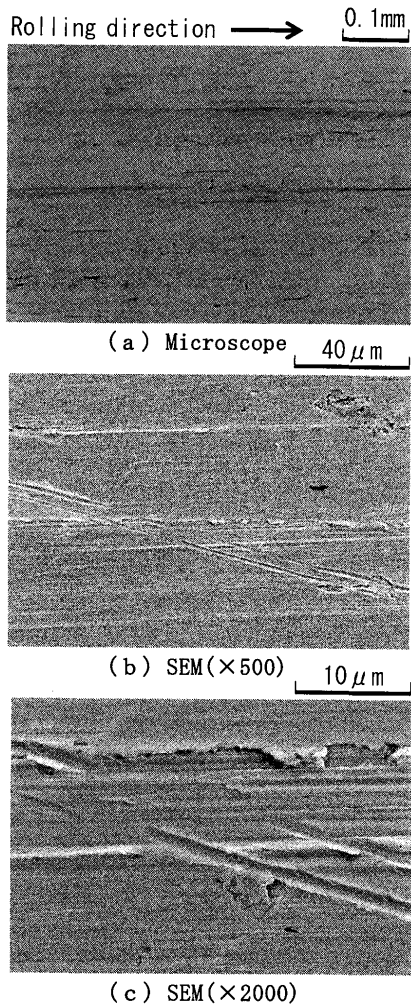


Fig. 7. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #800 polished in random direction ( $r=38.5\%$ ).

向の線状疵やオイルピットの少ない比較的平坦な表面が形成されたと考えられる。一方、円周方向研磨とランダム研磨では、大きいロール研磨目の凸部のため、円周方向研磨では圧延方向の線状疵が比較的大きく生じ、ランダム研磨では円周方向に加えて斜め方向にも研磨するために圧延方向や斜め方向の線状疵が比較的大きく生じて、オイルピットの形成も加わり、平坦率が軸方向研磨より小さくなったと推察される。

Fig. 8 は #1200 軸方向研磨ロールによる圧下率  $r=38.8\%$  の表面写真、Fig. 9 は #1200 円周方向研磨ロールによる圧下率  $r=38.2\%$  の表面写真、Fig.10 は #1200 ランダム研磨ロールによる圧下率  $r=38.7\%$  の表面写真である。#1200 研磨ロールのいずれの研磨も、圧延鋼板表面には圧延材料表面の凹部の残留疵<sup>6)</sup>や潤滑油がロール表面と圧延材料表面の凹部に捕捉されて生じたしわ状のオイルピット<sup>6,13)</sup>が存在している。この鋼板表面の残留疵やオイルピットの量は、円周方向研磨が最も多く、次いでランダム研磨、軸方向研磨の順に少なくなる傾向にあるが、いずれも #800 円周方向研磨 (Fig. 6) や #800 ランダム研磨 (Fig. 7)

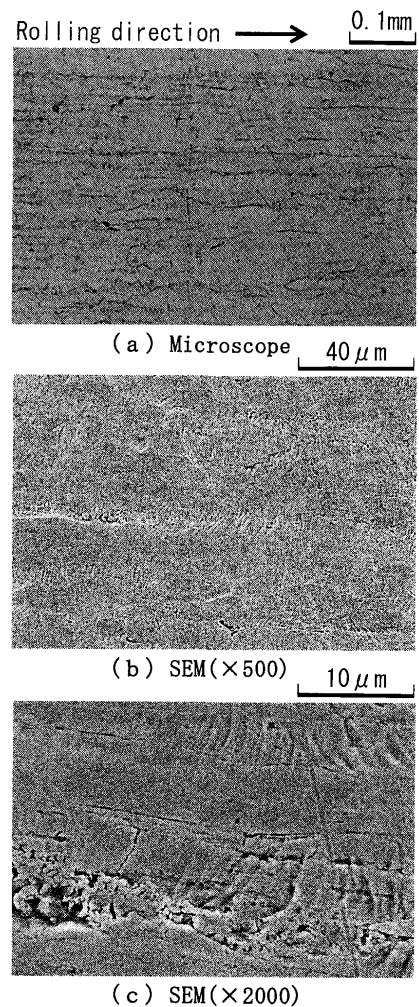


Fig. 8. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #1200 polished in axial direction ( $r=38.8\%$ ).

より多い。また、Fig. 8 の軸方向研磨の鋼板表面は、#800 軸方向研磨 (Fig. 5) の場合に見られる平坦さや圧延方向に垂直な方向の線状疵が観察されず、Fig. 9 の円周方向研磨や Fig.10 のランダム研磨に類似した表面を示す。さらに、Fig. 9 の円周方向研磨と Fig.10 のランダム研磨の鋼板表面には、#800 研磨ロールの円周方向研磨 (Fig. 6) とランダム研磨 (Fig. 7) に見られた圧延方向や斜め方向の線状疵はほとんど観察されない。これらの事は、#1200 研磨ロールの場合にはロール研磨目の凸部が、軸方向研磨では圧延材料表面の凹凸 (粗さ) を平滑化したり<sup>8)</sup>、円周方向研磨やランダム研磨では圧延鋼板表面に線状疵を作るには、#800 研磨ロールに比較すると大きくないことを示している。また、このために #1200 研磨ロールのいずれの研磨も、圧延鋼板の表面疵としては圧延材料表面の凹部の残留疵<sup>6)</sup>としわ状のオイルピット<sup>6,13)</sup>がほとんどを占め、その量は #800 研磨ロールに比べて多くなっている。これは、#1200 研磨ロールの場合、ロール表面の粗さ (凹凸) が小さいため、圧延材料表面とロール表面の凹部に捕捉されてロールバイトに導入された潤滑油がロールバイト内から外にしみ出に

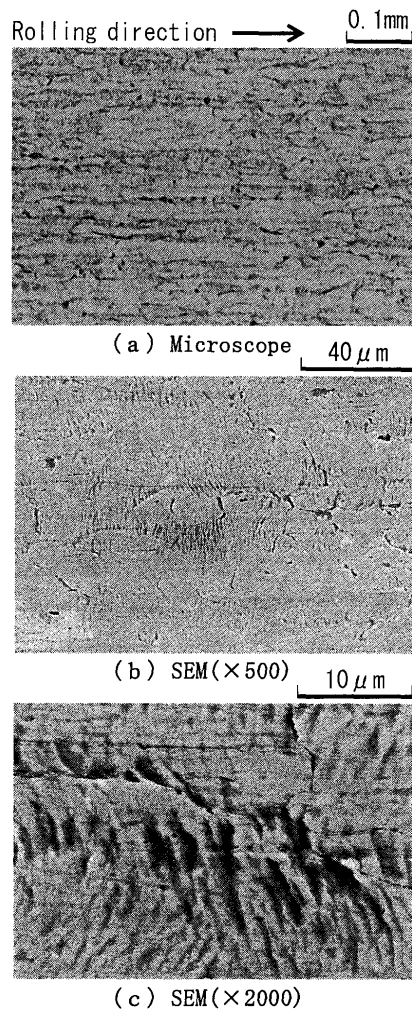


Fig. 9. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #1200 polished in circumferential direction ( $r=38.2\%$ ).

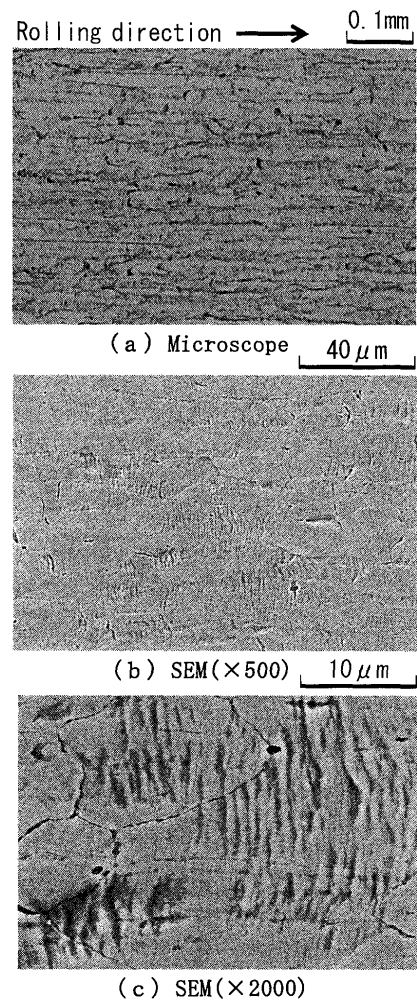


Fig. 10. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #1200 polished in random direction ( $r=38.7\%$ ).

くくなり、ロールバイト内により多く封入されて、オイルピットの量が#800研磨ロールよりも多くなったことに起因すると推察される。

Fig.11 は #2000 ランダム研磨ロールによる圧下率  $r=38.7\%$  の表面写真である。#2000 ランダム研磨の圧延鋼板表面にも、#1200 ランダム研磨 (Fig.10) と同様に、圧延材料表面の凹部の残留疵<sup>6)</sup> やしわ状のオイルピット<sup>6,13)</sup> が存在する。しかし、#2000 ランダム研磨のオイルピットは #1200 ランダム研磨に比較して凹凸が小さく、量も少ない。これは、#2000 ランダム研磨の場合には、ロールの表面粗さが #1200 ランダム研磨よりもさらに小さいため、圧延材料表面とロール表面の凹部に捕捉されてロールバイトに導入される潤滑油量が少なくなったためと推察される。しかし、Fig.11 の #2000 ランダム研磨の圧延鋼板表面の平坦さは、#800 軸方向研磨 (Fig. 5) には及ばない。従って、今回の実験においては、光学顕微鏡や SEM 観察からも #800 軸方向研磨の圧延鋼板表面は平坦率が最も大きいことが分かり、そのために光沢度が最も大きくなったと推察される。

## 5. 結言

表面光沢度が向上する軸方向研磨ロールや従来の円周方向研磨ロール、表面粗さの小さいロールで冷間圧延した鋼板の表面の光沢度や平坦率を測定し、表面を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡 (SEM) によって観察した。以下に主要な結果を要約する。

(1) 圧延鋼板表面の光沢度と平坦率は、今回の実験結果では、#800 軸方向研磨ロールの場合が他の #800 円周方向およびランダム研磨ロール、#1200 研磨ロール、#2000 研磨ロールの場合よりも大きい。

(2) #800 軸方向研磨の鋼板表面には、圧延方向にほぼ垂直な方向に線状疵が存在するが、圧延方向の線状疵やオイルピットがほとんどなく、表面が比較的平坦である。

(3) #800 の円周方向研磨とランダム研磨の圧延鋼板表面には、比較的粗くて長い圧延方向や斜め方向の線状疵が存在し、圧延材料表面凹部の残留疵やしわ状のオイルピットが観察される。



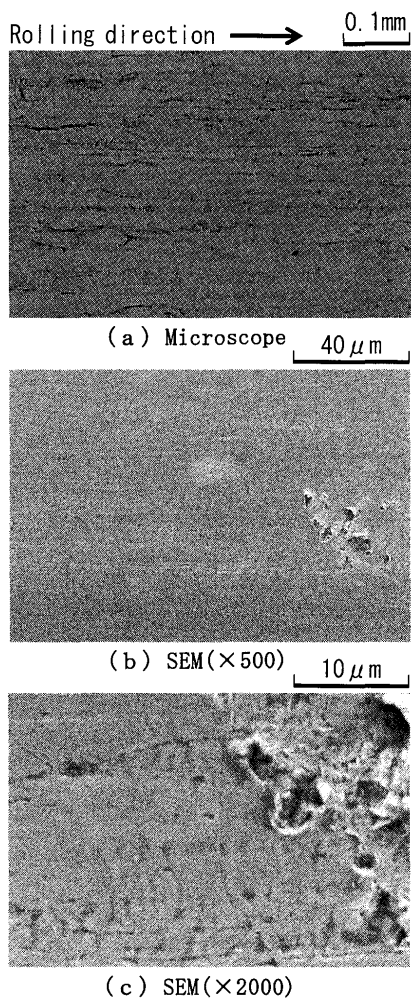


Fig. 11. Photographs of microscope and SEM of sheet surfaces rolled by #2000 polished in random direction ( $r=38.7\%$ ).

(4) #1200研磨ロールのいずれの研磨も、圧延鋼板表面には圧延材料表面凹部の残留疵やしわ状のオイルピットが存在し、その量は#800研磨ロールに比べて多い。

(5) #2000ランダム研磨の圧延鋼板表面には、#1200ランダム研磨と同様に、圧延材料表面凹部の残留疵やしわ状のオイルピットが存在するが、そのオイルピットは#1200ランダム研磨に比較して凹凸が小さく、量も少ない。

## 文 献

- 1) 最新塑性加工便覧，日本塑性加工学会編，コロナ社，東京，(2006)，16.
- 2) 第3版鉄鋼便覧III (1)，日本鉄鋼協会編，丸善，東京，(1980)，701.
- 3) 剣持一仁，鎗田征雄，阿部英夫：第140回塑性加工シンポジウム，日本塑性加工学会編，東京，(1992)，1.
- 4) A.Azushima, K.Noro and Y.Iyanagi: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **34** (1989), 879.
- 5) H.Yamamoto, M.Ataka and K.Nakajima: Proc. 4th Int. Conf. on Technology of Plasticity, Vol. II, Beijing, China, (1993), 853.
- 6) K.Kenmochi, I.Yarita, E.Kawazumi, K.Kobori and Y.Seino: *Tetsu-to-Hagané*, **81** (1995), 809.
- 7) K.Kenmochi, I.Yarita, A.Fukuhara and Y.Seino: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **40** (1999), 129.
- 8) H.Yamamoto, Y.Matsudaira, T.Shibahara and T.Masui: *Tetsu-to-Hagané*, **82** (1996), 677.
- 9) K.Kenmochi, I.Yarita, H.Abe, A.Fukuhara, T.Komatsu, H.Kaito and A.Kishida: *Tetsu-to-Hagané*, **78** (1992), 1546.
- 10) H.Ikuta, H.Yamamoto, H.Ohta and T.Ryuno: *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., C*, **70** (2004), 1516.
- 11) A.Azushima, K.Noro, Y.Iyanagi and H.Degawa: *Tetsu-to-Hagané*, **76** (1990), 576.
- 12) H.Yamamoto and H.Ikuta: *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., C*, **72** (2006), 1673.
- 13) A.Ohnuki, S.Yasutomi, H.Toyama, Y.Hashiguchi, Y.Tomari, H.Sonoda and S.Hironaka: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **35** (1990), 845.