

# SUS430鋼板の冷間圧延における オイルピットの生成におよぼす冷延素材粗さの影響

剣持 一仁\*・鎌田 征雄\*・河澄 英輔\*<sup>2</sup>・小堀 克浩\*<sup>2</sup>・清野 芳一\*<sup>2</sup>

Effect of Surface Roughness of Mother Sheet on Occurrence of Oil-pit in Cold Rolling for SUS430 Sheet

Kazuhito KENMOCHI, Ikuo YARITA, Eisuke KAWAZUMI, Katsuhiko KOBORI and Yoshikazu SEINO

**Synopsis :** To produce cold rolled stainless steel sheets efficiently in high speed rolling, surface brightness must be improved. The surface brightness of the sheets is strongly affected by oil-pits which occur on the surface of the sheets in cold rolling. As the number of oil-pits decreases, the surface brightness of the sheets is improved.

In this study, the morphology of oil-pits in actual cold rolling is observed by a microscope and SEM (Scanning Electron Microscopy). The effect of the surface roughness of the mother sheet on the occurrence of oil-pits in cold rolled sheet is examined with a laboratory-scale rolling mill.

The results obtained are as follows :

(1) Oil-pits occur at the bottom of micro-pits on the surface of the mother sheet, at the bottom of scratches which are marks due to the surface roughness of rolls and in the flat surface around the micro-pits and the scratches.

(2) It can be explained that oil pits in the flat surfaces around micro-pits are formed by the squeezing of rolling oil from the micro-pits.

(3) It can be explained that oil-pits at the bottom of the micro-pits and the scratches are caused by enclosure of rolling oil in the micro-pits and the scratches.

**Key words :** stainless steel ; cold rolling ; surface brightness ; surface roughness ; lubrication ; rolling oil ; micro-pit ; oil-pit ; scratch.

## 1. 緒言

ステンレス冷延鋼板は、従来からゼンジミアミル等の小径ロールを用いたクラスター型可逆圧延機により圧延されてきた。近年、これらの生産能率の向上のために高速圧延が図られている。さらに能率を向上させる目的で、大径ロールを用いた冷間タンデム圧延機による圧延も検討されている<sup>1)</sup>。

高速で圧延し、大径ロールを用いて圧延すると、ロールバイトの油膜厚みが増加してロールと鋼板とが油膜を介するために直接的に接触しにくくなり、ステンレス冷延鋼板の重要な品質の一つである表面光沢が低下する。したがって、ステンレス鋼板を高能率に圧延するには、高速圧延または大径ロールを用いた圧延における鋼板の表面光沢について、低速圧延または小径ロールを用いた圧延における良好な光沢と同等に向上する技術を開発することが重要な課題となる。

従来、製造された鋼板の表面光沢に冷延直後の鋼板の表面性状が影響することが知られている<sup>2)</sup>。著者らは、冷延後

の鋼板の表面性状や粗さを支配する主因子が鋼板表面に生成した微小な表面欠陥であり、これらにより平滑な表面が損なわれて光沢が低下することを見出した<sup>1)</sup>。さらに、これら欠陥を大別すると、素材表面の大きな粗さの凹部が冷延後に残留したもの（以下、母板表面凹部と称する）、オイルピット、ロール粗さが鋼板表面へ転写した圧延方向に長い線状痕（以下、スクラッチと称する）、熱延鋼板を酸洗した後に生成した粒界浸食溝が冷延後に残留したものの4種類があることを把握した<sup>1)</sup>。

微小欠陥の一つであるオイルピットは、しわ状または陥没状の形態をとる<sup>3)4)</sup>。アルミニウム板の圧延では圧延板の表面観察から、しわ状の形態をとるオイルピットは結晶粒内部のすべり帯が鋼板表面に現れたものであることが知られている<sup>4)</sup>。陥没状の形態をとるオイルピットは、圧延方向に変形しやすい鋼板表層の結晶粒が圧延にともなって生じた凹部である<sup>3)</sup>。

普通鋼板およびステンレス鋼板の表面に生成するオイルピットについて、ロール径および圧延油の粘度等の圧延条件の影響が種々の実験により検討されている<sup>2)5)~11)</sup>。また、

平成7年4月6日受付 平成7年5月26日受理 (Received on Apr. 6, 1995; Accepted on May 26, 1995)

\* 川崎製鉄(株)技術研究所 (Technical Research Labs., Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chuo-ku Chiba 260)

\* 2 (株)川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp.)

オイルピットの生成におよぼすロールバイト入口油膜厚みの影響も数多く論じられている<sup>3)12)~14)</sup>。これらの検討は、いずれも鋼板およびロールの表面粗さが著しく小さい場合に限定されていた。したがって、実機での冷間圧延のように、冷延素材の表面粗さが平均粗さ (Ra) で数 $\mu\text{m}$ と大きい場合<sup>15)</sup>、オイルピットの生成について必ずしも十分に説明できない場合があった。

本研究では、フェライト系ステンレス鋼板の代表的な鋼種であるSUS430鋼板について、実機での冷間圧延において生成したオイルピットの形態を詳細に観察した。また、鋼板表面に異なる粗さプロフィールを付与した素材を冷間圧延して、オイルピットの生成におよぼす素材粗さの影響を検討した。

## 2. 実験方法

熱延鋼板を焼鈍・酸洗したSUS430冷延素材を、Table 1に示すようにロール径530mmのタンデム圧延機により冷間圧延した。冷間圧延中に鋼板をかみ止めて、その表面に生成したオイルピットを観察した。

オイルピットの生成におよぼす冷延素材の表面粗さの影響を実験室規模の圧延で調査するため、Table 2に示す条件により粗さプロフィールの異なる2種類の素材を作成した。

Table 1. Rolling conditions in tandem cold mill.

Steel	SUS430
Work roll diameter	530mm
Thickness of mother/finished sheet	4.0/1.0mm
Number of stand	5
Maximun rolling speed	200mpm
Rolling oil	Synthetic oil
Viscosity of oil	13mm <sup>2</sup> /sec at 50 $^{\circ}\text{C}$
Condition of coolant	5%emulsion, 50 $^{\circ}\text{C}$

Table 2. Conditions for dressing surface on mother sheet.

Mother sheet	SUS430-BA	
Thickness of mother sheet	1.5mm	
Dressing Condition	A	B
Shot blasting on surface of sheet	○	—
Rolling without lubricant	○	○
Roughness of work roll, Ra	0.05 $\mu\text{m}$	0.40 $\mu\text{m}$
Reduction (%)	5	5
Profile of surface roughness after dressing	Separated micro-pits	Scratched mark
Surface roughness after dressing, Ra	1.13 $\mu\text{m}$	0.39 $\mu\text{m}$

Table 3. Rolling conditions in laboratory mill.

Rolling mill	2-high mill				
Work roll diameter	250mm				
Surface roughness of work roll, Ra	0.17 $\mu\text{m}$				
Maximun rolling speed	200mpm				
Rolling oil (Applied to surface of sheet)	Synthetic oil				
Viscosity of oil	13mm <sup>2</sup> /sec at 50 $^{\circ}\text{C}$				
Pass No.	1	2	3	4	5
Reduction (%)	20	15	15	10	10

すなわち、一方は素材をショットブラスト加工した後に、平均粗さRa0.05 $\mu\text{m}$ のロールで圧下率5%の圧延を行い、平滑な表面に凹部が独立して存在するような粗さプロフィールを有する素材 (以下、ショット母板と称する) を作成した。他方は砥石研磨により平均粗さRa0.4 $\mu\text{m}$ と比較的大きなスクラッチを付与したロールで圧延し、鋼板表面にこのスクラッチを転写した粗さプロフィールを有する素材 (以下、スクラッチ母板と称する) である。

これらをTable 3に示す条件により実験室規模の冷間圧延機で鏡面ロールを用いて圧延し、鋼板表面の同一位置を各パスごとに光学顕微鏡で観察した。また、走査型電子顕微鏡 (SEM) により、オイルピットの形態を詳細に調べた。さらに、画像解析装置<sup>16)</sup>により、オイルピットを抽出分離してその面積率を求めて定量化した。

## 3. 実験結果

### 3.1 実機冷延後の鋼板表面の観察

冷間タンデム圧延機でかみ止めたSUS430鋼板の表面を光学顕微鏡により観察した結果をFig. 1に示す。第1スタンド

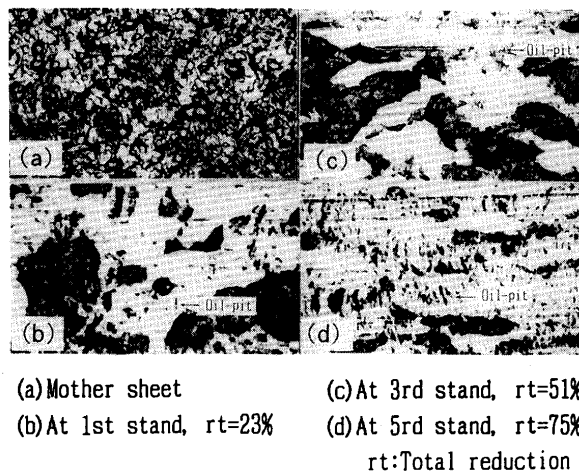
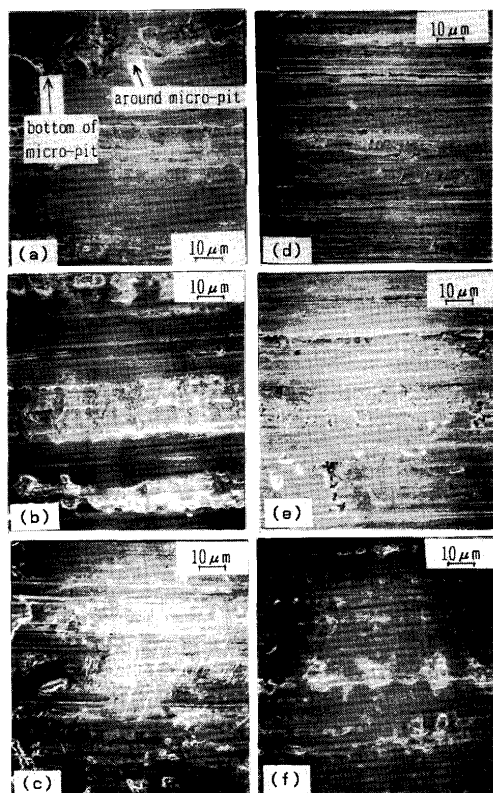


Fig. 1. Micrographs on surface of cold rolled SUS430 sheet at each stand in tandem cold mill.

圧延後の鋼板表面にはオイルピットが生成し、スタンド番号が増えるにしたがって増加する。タンデム圧延後の鋼板表面をSEMにより観察した結果をFig. 2に示す。オイルピットは、圧延後に残留した母板表面凹部の底およびその周辺、スクラッチの底、および平滑な部分に生成し、しわ状および陥没状の形態をとる。また、陥没状のオイルピットの底にしわ状のオイルピットが生成している。形態は類似するがオイルピットとは異なり、鋼板表面の割れ<sup>17)</sup>や、母板表面凹部が微細化した欠陥も生成する。



(a) Oil-pit in bottom of micro-pit and around micro-pit  
(b) Oil-pit in bottom of scratch  
(c) Oil-pit at flat area  
(d) Depressed oil-pit  
(e) Crack  
(f) Broken micro-pits

Fig. 2. SEM micrographs of oil-pits on surface of SUS430 sheet rolled in tandem cold mill.

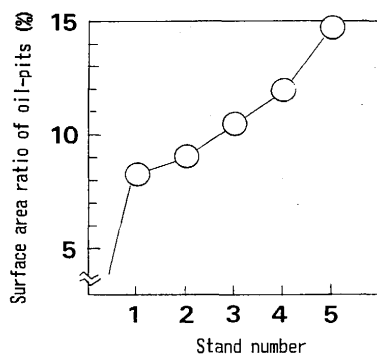


Fig. 3. Oil-pit area ratio on surface of cold rolled sheet at each stand in tandem cold mill.

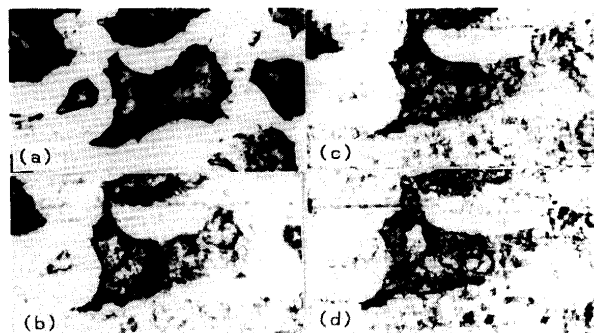
鋼板表面に生成したオイルピットの面積率を画像解析装置により定量化した結果をFig. 3に示す。オイルピットは第1スタンドで著しく増加して、スタンド番号が増すごとに漸増する。

### 3・2 実験室規模の冷間圧延における鋼板表面の観察

表面粗さプロファイルの異なる鋼板を冷間圧延し、鋼板表面の同じ位置を各パス毎に光学顕微鏡で観察した。

Table 2に示す条件で作成したショット母板を圧延した結果をFig. 4に示す。パス回数の増加とともに母板表面凹部の底にオイルピットが生成する。この凹部の底をSEMにより観察した結果をFig. 5に示す。凹部の底にはしわ状のオイルピットが多量に生成している。また、Fig. 4より、母板表面凹部の周辺で圧延前に平滑であった部分にもオイルピットが新たに生成して、パス回数が増加するとともに増加することがわかる。この凹部周辺のオイルピットをSEMにより観察した結果をFig. 6に示す。凹部の周辺にはしわ状のオイルピットが集合したのが見られる。

これらオイルピットの面積率を画像解析装置により各パスごとに求めた結果をFig. 7に示す。オイルピットは1パス目に多量に生成し、4パス目まで徐々に増加して5パス目でほぼ飽和する。また、画像解析装置を用いて凹部の底に生成するものと平滑な部分に生成するものとに分離して各々



(a) Mother sheet  
(b) 1st pass  
(c) 2nd pass  
(d) 3rd pass

Fig. 4. Micrographs on surface of SUS430 sheet having separate micro-pits at each pass in laboratory cold rolling.

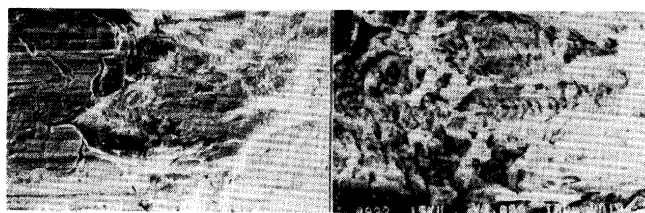


Fig. 5. SEM micrographs of oil-pit occurring in bottom of micro-pit on surface of cold rolled sheet.

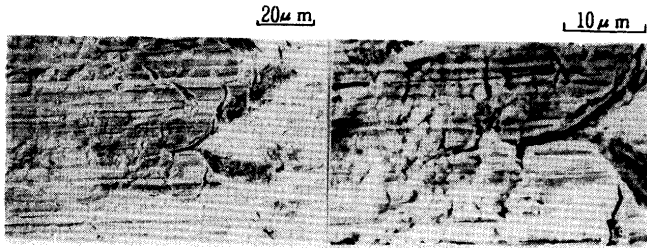


Fig. 6. SEM micrographs of oil-pit occurring around micro-pit on surface of cold rolled sheet.

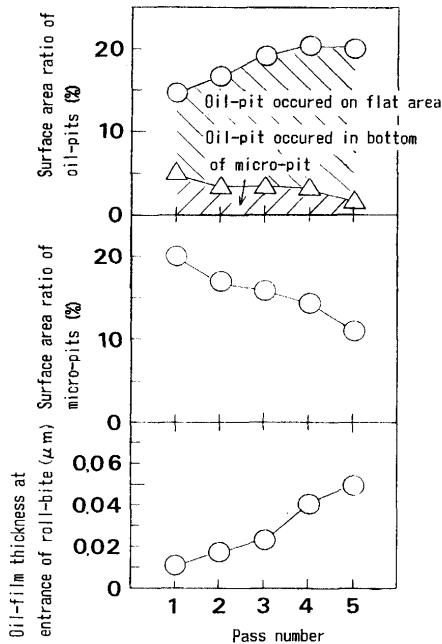
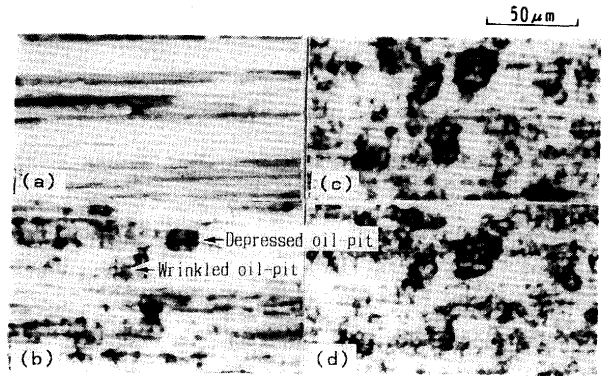


Fig. 7. Oil-pit area ratio on surface of sheet at each pass in laboratory rolling of the mother sheet having separative micro-pits.

の面積率を求めた結果や、各パス圧延後に残留した母板表面凹部の面積率も同図に示す。パス回数の増加とともに、母板表面凹部の面積率は減少し、これとともに凹部の底に生成するオイルピットの面積率も減少する。これに対して、平滑な部分に生成するオイルピットの面積率は、母板表面凹部の面積に反比例してパス回数の増加とともに増える。

一般に、平滑な鋼板を鏡面ロールで圧延した場合に生成するオイルピットは、ロールバイト入口での油膜厚みの影響を強く受けることが知られている<sup>18)</sup>。そこで、小豆島らの計算法<sup>19)</sup>により、本実験条件においてロールおよび鋼板表面が鏡面の場合の入口油膜厚みを求めて同図に示す。入口油膜厚みはパス回数の増加とともに一様に増加しており、凹部周辺の平滑な部分に生成するオイルピットの面積が1パス目に著しく増加して、パス回数の増加とともに飽和してくる傾向とは一致していない。したがって、ショット母板を圧延した場合に平滑な部分に生成するオイルピットには、入口油膜厚みの増減とは異なる原因が作用すると思われる。

Table 2 に示す条件で作成したスクラッチ母板を圧延した結果をFig. 8 に示す。1パス目から陥没状のピットが生成し



(a) Mother sheet (c) 2nd pass  
(b) 1st pass (d) 3rd pass

Fig. 8. Micrographs on surface of SUS430 sheet having scratched mark at each pass in laboratory rolling.

て、パス回数の増加とともにピットの面積が拡大しその数も増加する。また、しわ状のオイルピットも生成する。これらのオイルピットをSEMにより観察した結果をFig. 9およびFig.10に示す。Fig. 9は陥没状のピットであり、その底にはしわ状のオイルピットが生成している。Fig.10はスクラッチの底に生成したオイルピットであり、しわ状の形態をとる。これらオイルピットについて、画像解析装置でしわ状のものと陥没状のものに分離し、各パス毎の面積率を求めてFig. 11に示す。しわ状ピットは1パス目で著しく増加し、2パス目から飽和する。陥没状ピットは2パス目まで増加し、3パス目から飽和する。

ロールおよび鋼板表面が鏡面の場合のロールバイト入口油膜厚みを算出して同図に示す。入口油膜厚みはパス回数の増加とともに一様に増加しており、しわ状および陥没状

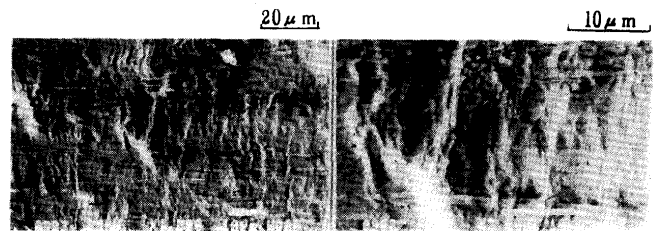


Fig. 9. SEM micrographs of depressed oil-pit.

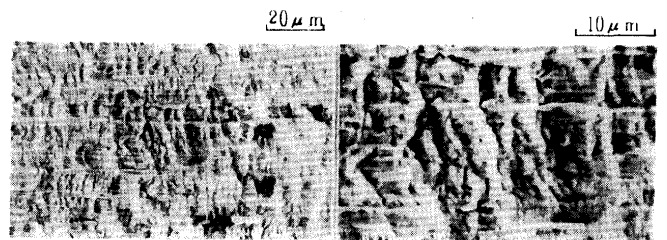


Fig. 10. SEM micrographs of oil-pit occurred in bottom of scratch.

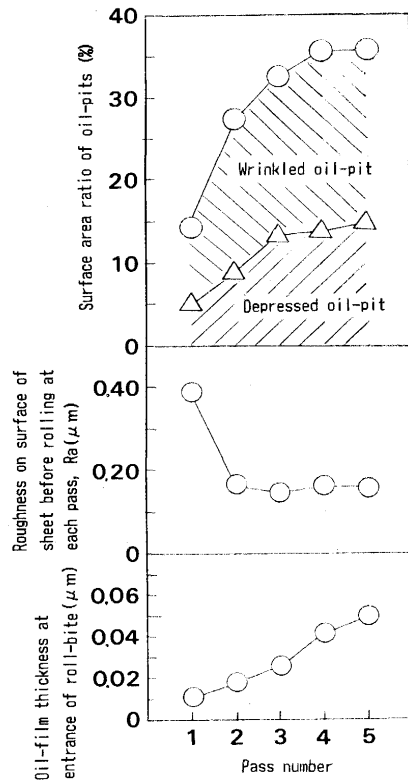


Fig. 11. Change of oil-pit area on surface of sheet at each pass in laboratory rolling of mother sheet having scratched mark.

のピットの面積率がパス回数の増加とともに飽和する傾向とは一致していない。

各パス入側の鋼板表面の平均粗さ (Ra) を同図に示す。1パス目入側の鋼板粗さは1パス圧延後に著しく減少し、2パス目以降飽和する。これは、各パスごとにオイルピットが生成する度合いと反比例した傾向を示している。したがって、オイルピットの生成には、入側の鋼板表面粗さが関係すると思われる。

#### 4. オイルピットの生成に関する考察

Fig. 5 に示すように、冷延後に残留した母板表面凹部の底にはしわ状のオイルピット同士が重なって生成していることがわかる。これは、鋼板表面の凹部の底が圧延中にロールに接触していないことを示唆しており、ロールバイトの中で凹部に圧延油が封入されていたことが推定される。

Fig. 6 に示すように、凹部の周辺にもしわ状のオイルピットの集合が観察される。オイルピットが生成するには、ロールと鋼板との間に油膜が介在する必要がある。本図より、このオイルピットは、凹み端部の鋭利な部分に沿って生成していることより、凹部から周辺の平滑部分に圧延油が噴き出すことによって油膜が形成されて生成したと推定される。

このオイルピット生成の模式図をFig.12に示す。ロールバイト内部では凹部に圧延油が封入されて、圧延の進行と

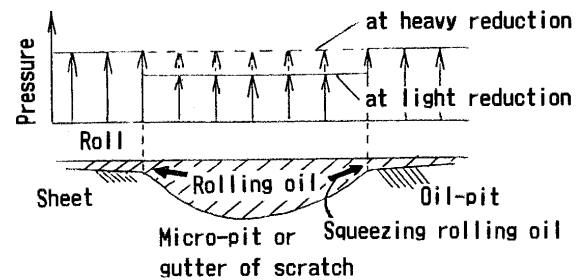


Fig. 12. Schematic diagram of condition on squeezing rolling oil from micro-pit.

もに圧延油に加わる圧力が增加する。その圧力が周辺の圧力以上になると、凹部から圧延油が噴き出して凹部の周辺にオイルピットが生成すると推定される。

これに関連して、小豆島らによりビッカース圧痕を付与したアルミニウム板を引き抜く実験が行われて、凹部から潤滑油が噴き出す現象<sup>19)</sup>が報告されている。圧延においても同様の現象が起きているものと思われる。

Fig. 8 に示すスクラッチ状の表面を有する母板を圧延した場合において、ロールと鋼板表面を鏡面とした場合の本実験条件におけるロールバイト入口の油膜厚みはFig.11より $0.05\mu\text{m}$ 以下であり、Table 2 およびFig.13に示すロールおよび素材表面の粗さに比較して著しく小さい。

素材表面のスクラッチは、数 $\mu\text{m}$ の深さを有して数百 $\mu\text{m}$ の長さを持つ凹部であり、通常数mm以上あるロールバイトの接触弧長に比較して短い。したがって、ロールバイト内部ではスクラッチの凹部に圧延油が封入されやすくなり、封入された圧延油によって、凹部の底は自由表面となるためにオイルピットが生成したと推定される。さらに、各パスごとの入側鋼板表面の3次元粗さプロフィールをFig. 14に示す。本図より、スクラッチは3パス目まで存在する。本図とFig.11に示す各パスごとのオイルピットの生成状態とを比較すると、スクラッチが存在する3パス目まではオイルピットが増加し、スクラッチが不明瞭な4パス目以降ではオイルピットの生成の度合いは飽和する。したがって、オイルピットの生成には、ロールバイト入口の油膜厚みに比

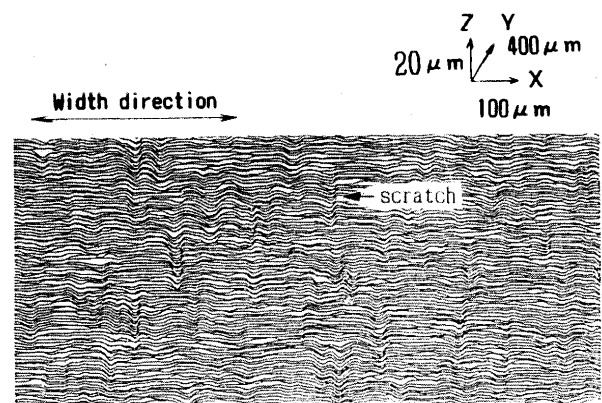
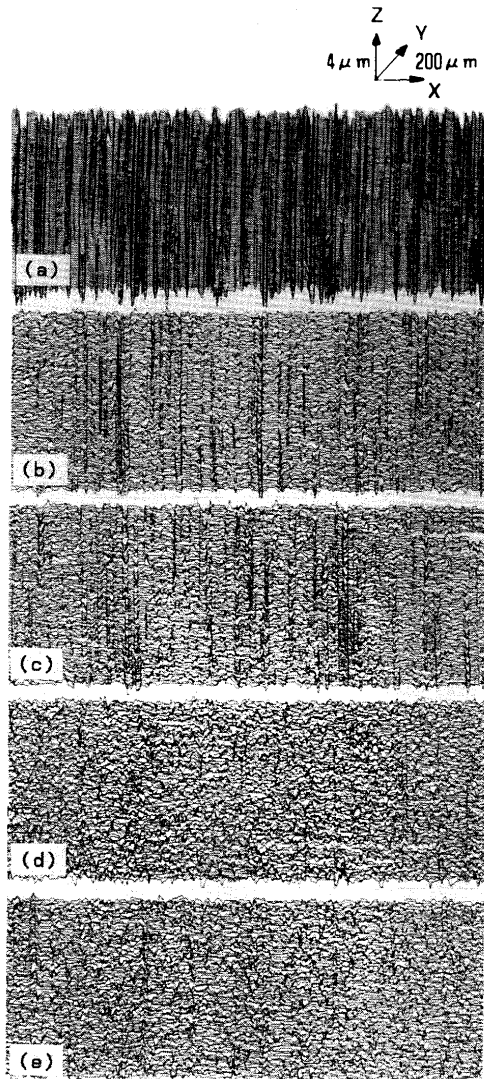


Fig. 13. Profile of surface roughness of mother sheet which has scratched mark.



(a) 1st pass,  $R_a=0.39 \mu\text{m}$ ,  $R_z=3.34 \mu\text{m}$   
 (b) 2st pass,  $R_a=0.16 \mu\text{m}$ ,  $R_z=2.40 \mu\text{m}$   
 (c) 3st pass,  $R_a=0.15 \mu\text{m}$ ,  $R_z=2.34 \mu\text{m}$   
 (d) 4st pass,  $R_a=0.16 \mu\text{m}$ ,  $R_z=2.16 \mu\text{m}$   
 (e) 5st pass,  $R_a=0.16 \mu\text{m}$ ,  $R_z=2.36 \mu\text{m}$

Fig. 14. Profile of surface roughness of sheet before rolling at each pass.

較して大きな粗さのスクラッチが関係していることがわかる。

## 5. 結論

SUS430冷延鋼板の表面に生成し、表面光沢に影響をおよ

ぼすオイルピットについて、実機冷間圧延で生成する形態を調査して、実験室規模の圧延により素材粗さの影響を検討した結果、下記1)から3)に示す結論を得た。これらより、素材表面の平滑化によるオイルピット抑制の可能性が期待される。

(1)実機冷延後の鋼板表面を観察すると、オイルピットは母板表面凹部の底、スクラッチの底、およびこれらの周辺の平滑部分に存在する。

(2)母板表面凹部の周辺にオイルピットが生成する原因は、ロールバイト内部における凹部周辺への圧延油の噴き出しとして説明される。

(3)ロールバイト入口の油膜厚みに比較して大きな粗さのスクラッチを有する素材を圧延した場合にオイルピットが生成する原因は、ロールバイト内部におけるスクラッチへの圧延油の封入として説明される。

## 文 献

- 1) 剣持一仁, 鎌田征雄, 阿部英夫, 福原昭彦, 小松富夫, 垣内博之, 岸田 朗: 鉄と鋼, **78** (1992), p.42
- 2) 澤谷 精, 南野 繁, 西村 弘, 水沼武久: 製鉄研究, **292** (1977), p.100
- 3) 剣持一仁, 鎌田征雄, 阿部英夫, 福原昭彦, 小松富夫, 垣内博之, 岸田 朗: 材料とプロセス, **4** (1991), p.493
- 4) 小豆島 明, 木原諄二, 五弓勇雄: 塑性と加工, **18** (1977), p.337
- 5) 小豆島 明, 野呂和也, 井柳好貴: 第37回塑性加工連合講演会講演論文集, **327** (1986), p.453
- 6) 梶間 透, 駒野忠明, 梁井和博, 岩崎芳明, 高畑繁則: 第38回塑性加工連合講演会講演論文集, **130** (1987), p.117
- 7) 小豆島 明, 野呂和也, 井柳好貴, 出川浩樹: 鉄と鋼, **76** (1990), p.576
- 8) 飯野光明, 志渡誠一, 泊 康則, 小野寺健次, 三反崎裕隆: 昭和61年度塑性加工春季講演会講演論文集, **215** (1986), p.159
- 9) 岩崎芳明, 水田次士, 梶間 透, 梁井和博: 第38回塑性加工連合講演会講演論文集, **129** (1987), p.113
- 10) 小豆島 明, 金子徳次郎: 第36回塑性加工連合講演会講演論文集, **109** (1985), p.33
- 11) 水野高爾: 塑性と加工, **12** (1971), p.369
- 12) 小豆島 明, 宮川松男: 潤滑, **24** (1979), p.94
- 13) 小豆島 明: 鉄と鋼, **76** (1990), p.576
- 14) 大貫 輝, 安富清治郎, 外山晴二, 橋口幸生, 泊 康則, 園田 栄, 広中清一郎: トライボロジスト, **35** (1990), p.845
- 15) 剣持一仁, 鎌田征雄, 阿部英夫, 福原昭彦, 小松富夫, 垣内博之, 岸田 朗: 材料とプロセス, **4** (1991), p.494
- 16) 宮崎 明, 柳澤 満, 古君 修, 斎藤文夫: 川崎製鉄技報, **21** (1989), p.362
- 17) 田中英八郎, 池田圭介, 福田次男, 徳能裕巳: 日本金属学会誌, **33** (1969), p.10
- 18) 小豆島 明, 坪内昌生, 工藤英明, 古田憲明, 峯村 憲: 塑性と加工, **32** (1989), p.1631
- 19) 小豆島 明, 木原諄二, 宮川松男: 昭和52年度塑性加工春季講演会講演論文集, **101** (1977), p.1