

© 1990 ISIJ

 ///////////////  
 論 文  
 ///////////////

# 冷間圧延における板表面光沢の制御 システムの提案

 小豆島 明\*・野呂 和也\*<sup>2</sup>・井柳 好貴\*<sup>3</sup>・出川 浩樹\*<sup>4</sup>

## Proposal of Control System of Surface Brightness of Rolled Sheet in Cold Rolling

Akira AZUSHIMA, Kazuya NORO, Yoshitaka IYANAGI and Hiroki DEGAWA

### Synopsis :

The purposes of this study are to examine systematically the effect of tribological factors on surface qualities of rolled sheet, and to propose a system for estimating and controlling the surface qualities of rolled sheet before rolling. The rolling experiments were carried out, changing the rolling speed, the reduction, the viscosity of lubricant and the surface roughnesses of roll and sheet. The surface roughness and the surface brightness of rolled sheet were measured and the surface photographs were taken. From these experimental data, when the surface roughnesses of roll and sheet are smooth, the surface brightness decreases with increasing the rolling speed and the viscosity of lubricant, and conversely the surface roughness increases. On the other hand, when the surface roughnesses of roll and sheet are rough, they have a great influence upon the surface qualities of rolled sheet. In the former case, the dependence of the rolling speed, the viscosity and the surface roughnesses of roll and sheet before rolling on the surface brightness is equal to that on the oil film thickness. Consequently, the surface brightness is expressed as a function of the oil film thickness. In the latter case, the surface brightness is expressed as three functions of the oil film thickness and the surface roughnesses of roll and sheet before rolling. By using the relations, a system for estimating and controlling the surface brightness before rolling can be constructed.

**Key words :** cold sheet rolling ; surface qualities ; surface brightness ; surface roughness ; surface control system.

## 1. 緒 言

現在、ステンレス鋼薄板、アルミニウム箔の冷間圧延においては、優れた表面光沢を得るために低粘度鉱油ベースのニート油を用いて小径ロールあるいは低圧延速度で圧延が行われている。しかし、生産性向上のために圧延速度を高くしたり、ロール径の大きな圧延機を使用することが試みられているが、その場合表面光沢が低下する問題に直面している。そのため現場において圧延後の材料の表面性状を定量的に把握し、圧下率、圧延速度、圧延油粘度及びロール・材料の表面粗さなどのトライボロジー因子により表面性状を精度良く、厳重に制御することが望まれている。

この観点から従来の圧延後の表面性状に関する研究をみると、表面性状に及ぼすトライボロジー因子の影響について多くの実験データが報告されているものの<sup>1)~5)</sup>、これらの結果を利用して圧延後の材料の表面性状を定量的に制御しうるということが可能となる状況にあるとは言にくい。そのため、圧延後の表面性状に及ぼすトライボロジー因子について定量的に把握するための研究をもう一度行い表面制御のためのデータベースを集めることは意義のあることであろう。

本研究は、最初に低炭素鋼板の冷間圧延後の表面性状に及ぼすトライボロジー因子の影響を定量的に調べるため、圧下率、圧延速度、圧延油粘度、ロール・材料の表面粗さを広範囲、系統的に変化させて圧延を行い、圧延

平成元年 4 月本会講演大会にて発表 平成元年 7 月 17 日受付 (Received July 17, 1989)

\* 横浜国立大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Yokohama National University, 156 Tokiwadai Hodogaya-ku Yokohama 240)

\*<sup>2</sup> 大同化学工業(株)技術研究所 (Technical Research Laboratory, Daido Chemical Industry Co., Ltd.)

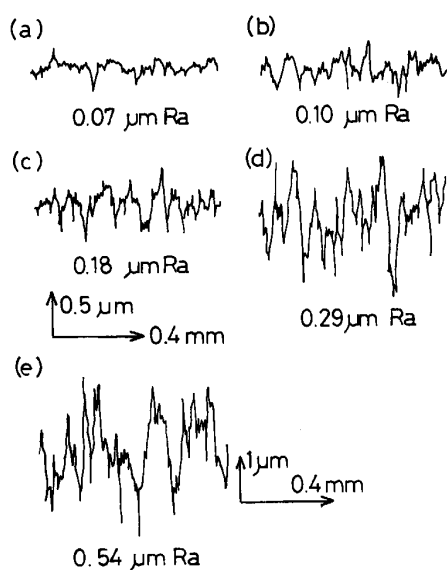
\*<sup>3</sup> 横浜国立大学工学部 (現: いすゞ自動車(株)) (Faculty of Engineering, Yokohama National University, Now Isuzu Motors Ltd.)

\*<sup>4</sup> 横浜国立大学工学部 (Faculty of Engineering, Yokohama National University)

後の表面性状（表面光沢，表面粗さ，金属顕微鏡写真）を調査し，表面制御のための系統的なデータ収集を行った。つづいて，これらのデータベースの中の表面光沢とレイノルズ方程式より計算した入口油膜厚みとの関係を求め<sup>6)7)</sup>，その関係を用いて圧延後の材料の表面光沢を推定・制御しうる新たな制御システムの提案を行ったので報告する。

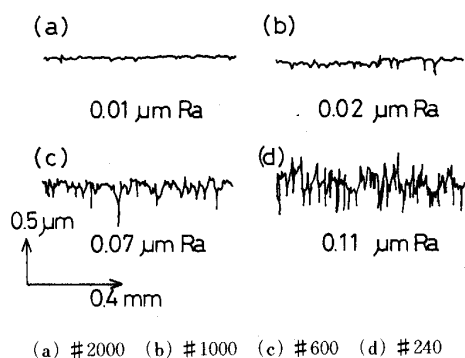
## 2. 実験方法

実験には広範囲速度可変型冷間圧延機を使用した<sup>8)</sup>。圧延機は2段で，上下ロールは直径76φmm，胴長60mmのSUJ-2製である。供試材料には，表面がブライト面（表面粗さ：0.07μmRa，表面光沢：500Gs（20°））の板厚0.4mm，板幅30mmの低炭素アルミニウムキルド鋼焼なまし調質コイル材を用いた。圧延試験片としては，そのコイル材から長さ250mmまたは300mmに切



(a) 0.0 (b) 0.02 (c) 0.06 (d) 0.11 (e) 0.22

Fig. 1. Surface roughness curves of material deformed by tensile test before rolling.



(a) #2000 (b) #1000 (c) #600 (d) #240

Fig. 2. Surface roughness curves of roll grinded by Emery paper before rolling.

Table 1. Viscosity of lubricants used.

	Viscosity at 20°C (cSt)
No. 1	2.8
No. 2	17.0
No. 3	23.5
No. 4	37.3
No. 5	97.4

断したものを用いた。

圧延後の材料の表面性状に及ぼす圧下率，圧延速度及び圧延油粘度の影響を調べる実験では，各圧延ごとにロール表面を2000番研磨紙で研磨して，0.01μmRaのほぼ鏡面に管理して圧延を行った。ロールの表面粗さの影響を調べる実験では，ロール表面を研磨紙により，0.01，0.02，0.07及び0.11μmRaの4段階に変化させた。圧延材料の表面粗さの影響を調べる実験では，あらかじめ試験片に所定の引張りひずみを与え，試験片表面を自由変形させ表面粗さを0.07，0.10，0.18，0.29及び0.54μmRaの5段階に変化させた。そのときのロールの表面粗さは0.01μmRaと一定にした。それぞれの粗さの試験片及びロール表面の幅方向のプロフィールをFig. 1とFig. 2に示す。

使用した5種類の圧延油の組成及び粘度をTable 1に示す。圧延油は，パラフィン系鉱油で，粘度を2.8～97.4cSt（20°C）の間に5種類変化させたものである。圧延油はニートでロール全面に塗付し，圧延試験片にはどぶ付けにし全面に十分量附着させた。圧延速度は，2.4～121m/minの広範囲の間の8段階，圧下率は10及び20%の2段階変化させた。圧延は，室温（20±2°C）で各条件3回以上行った。圧延後の材料表面に関しては，光沢計により上下面の板幅方向のGs（20°）を各5点，触針式表面粗さ計により上面の板幅方向の表面粗さ（Ra）を各2点，金属顕微鏡により上面の表面写真をそれぞれ測定及び撮影した。各実験条件での表面光沢及び表面粗さの測定値には，全点の平均値を採用した。

## 3. 実験結果

### 3.1 圧下率，圧延速度及び圧延油粘度の影響

Fig. 3に粘度の異なる圧延油No. 1～No. 5を用いて，圧下率20%で圧延後の表面光沢と圧延速度の関係を示す。いずれの圧延油においても表面光沢は圧延速度10m/minまではほぼ一定であるが，圧延速度の増加に伴って低下し，圧延油の粘度の高いほど低下の割合が大きくなる。次に，Fig. 4に同じ条件での表面粗さRaと圧延速度の関係を示す。表面光沢と圧延速度の関係とは逆に圧延速度の増加に伴って表面粗さは大きくなり，粘度が高いほど増加の割合が大きくなる。また，圧延速度10

m/min まではほぼ一定の表面粗さであり、圧延油間には大きな差は認められない。圧下率 10% においても、表面光沢と表面粗さに及ぼす粘度と圧延速度の影響は圧下率 20% の場合とほぼ同じであった。

これら表面性状の粘度と圧延速度に伴う変化の金属顕微鏡写真を Photo. 1 に示す。これらは、圧延油が No. 1,

No. 3 及び No. 5 の 3 種類、圧延速度が 1.2, 6.0, 40 及び 121 m/min の 4 種類、圧下率が 20% で圧延されたものである。No. 1 圧延油では、圧延速度が高くなっても低速の場合と同様に圧延方向のロール研磨模様が観察

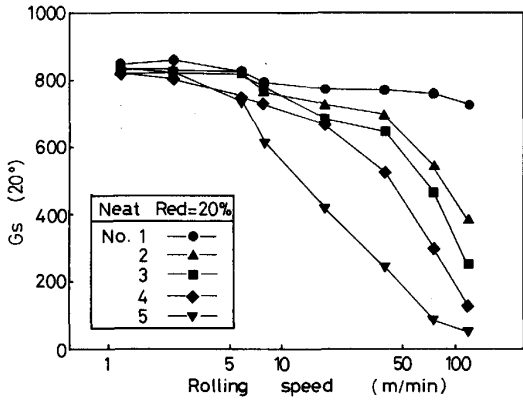


Fig. 3. Relation between surface brightness  $G_s$  ( $20^\circ$ ) and rolling speed at a rolling reduction of 20% using lubricants of No. 1 to No. 5 when the surface roughnesses of roll and material were 0.01 and  $0.07 \mu mRa$ .

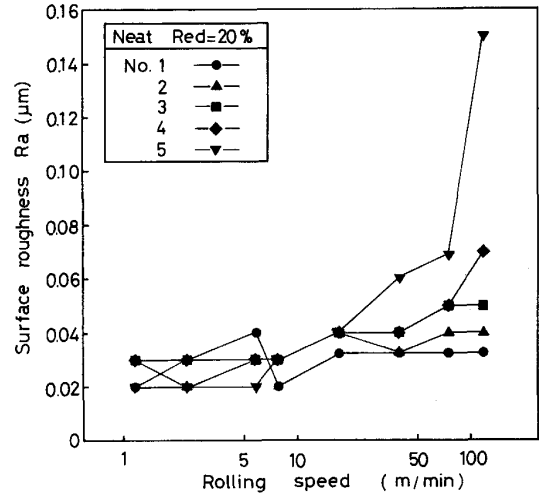


Fig. 4. Relation between surface roughness  $R_a$  and rolling speed at a rolling reduction of 20% using lubricants of No. 1 to No. 5 when the surface roughnesses of roll and material were 0.01 and  $0.07 \mu mRa$ .

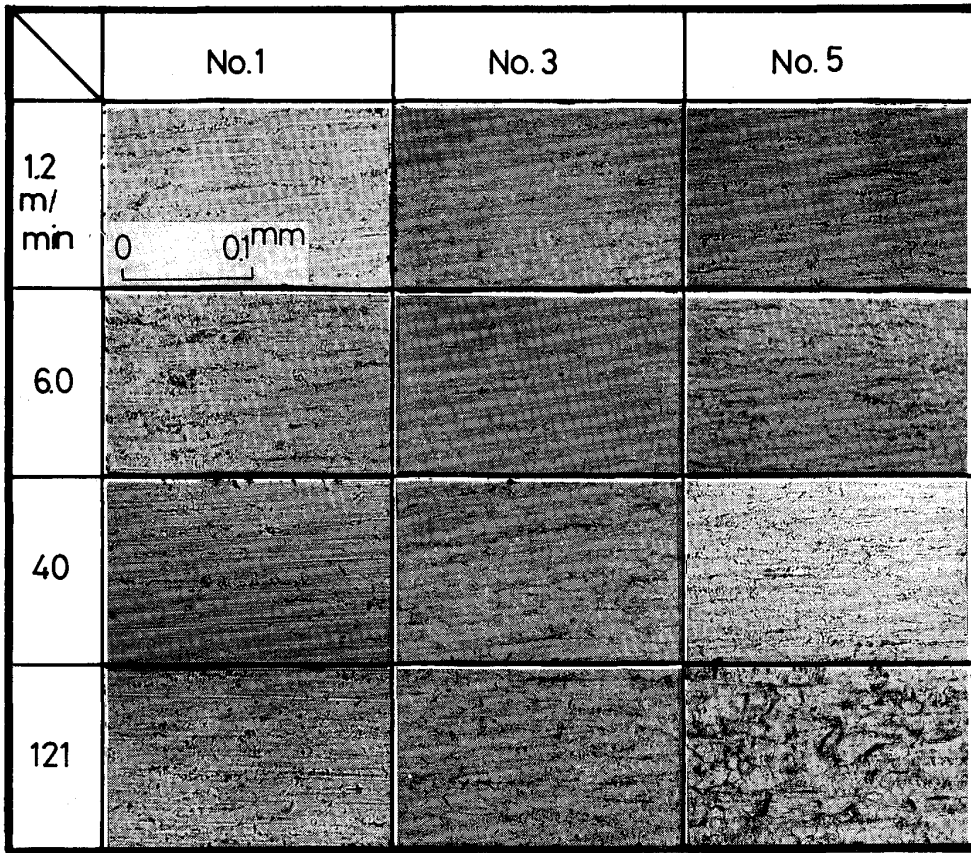


Photo. 1. Surface photographs of sheets rolled at rolling speeds of 1.2, 6.0, 40 and 121 m/min at a rolling reduction of 20% using lubricants of No. 1, No. 3 and No. 5.

され、表面性状にあまり大きな変化が認められず、界面がほぼ境界潤滑状態であったことがわかる。また、No. 5 圧延油では圧延速度が高くなるにつれて表面の荒れが増加し、最高速度の 121 m/min では表面がかなり自由変形したことが観察され、流体潤滑状態に近いことがわ

かる<sup>4)</sup>。No. 3 の圧延油では、No. 1 と No. 5 圧延油のほぼ中間の表面状況を呈していることがわかる。これらの結果から、従来に比べ境界潤滑状態から流体潤滑状態までの定量的な広範囲な系統的データが収集できた。

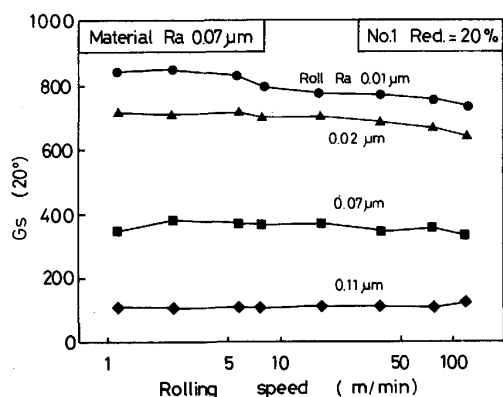


Fig. 5. Relation between surface brightness and rolling speed at a rolling reduction of 20% when changing the surface roughness of roll using a lubricant of No. 1.

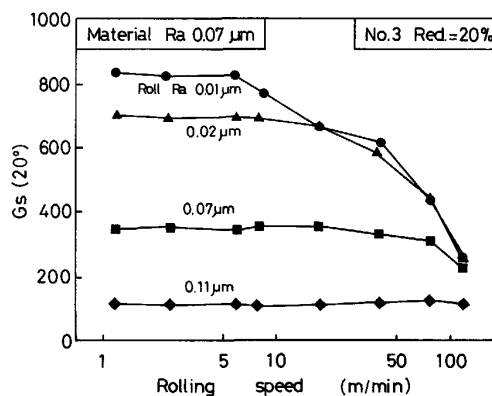


Fig. 6. Relation between surface brightness and rolling speed at a rolling reduction of 20% when changing the surface roughness of roll using a lubricant of No. 3.

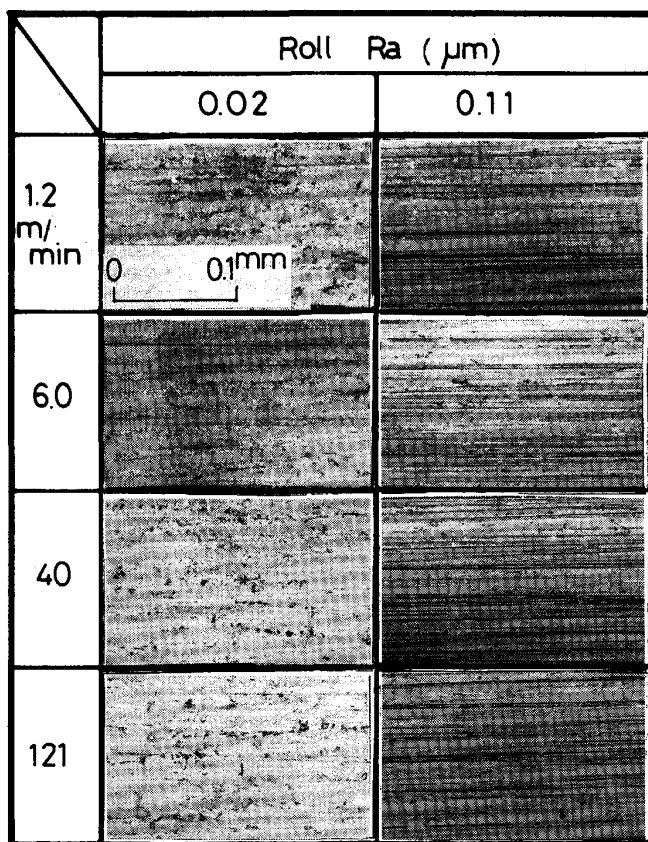


Photo. 2. Surface photographs of sheets rolled at rolling speeds of 1.2, 6.0, 40 and 121 m/min at a rolling reduction of 20% when the roll surface roughness was 0.02 and 0.11 μm Ra using a lubricant of No. 1.

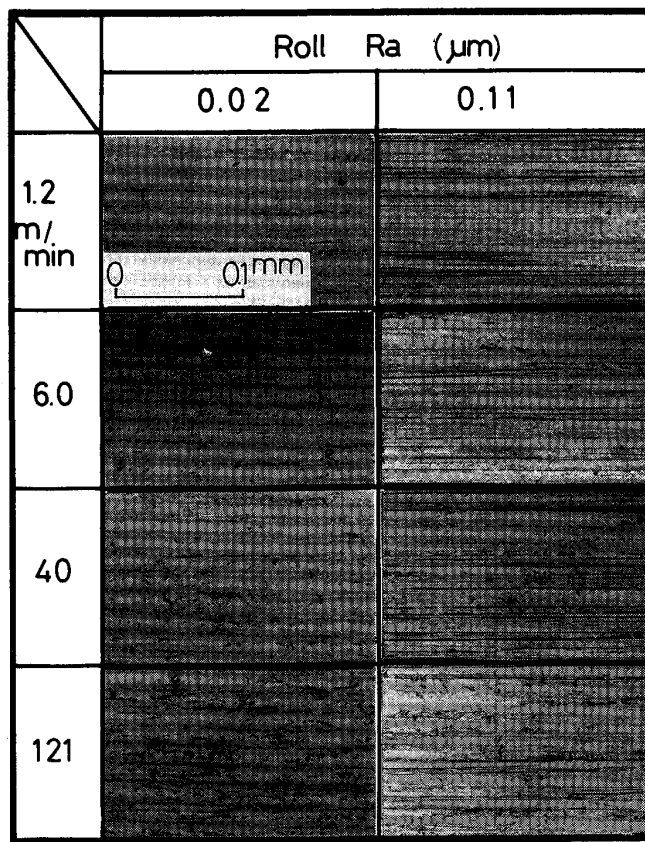


Photo. 3. Surface photographs of sheets rolled at rolling speeds of 1.2, 6.0, 40 and 121 m/min at a rolling reduction of 20% when the roll surface roughness was 0.02 and 0.11 μm Ra using a lubricant of No. 3.

### 3.2 ロールの表面粗さの影響

Fig. 5 及び Fig. 6 にロールの表面粗さを変化させたときの表面光沢と圧延速度の関係を示す。圧延油にはそれぞれ No. 1 と No. 3 を使用し、圧下率は 20% であった。いずれの圧延油においても、ロールの表面粗さの大きい方が表面光沢は低下している。

Photo. 2 及び Photo. 3 にロールの表面粗さを変化させたときの金属顕微鏡写真を示す。これらの圧延条件は、Photo. 2 が No. 1 圧延油で Photo. 3 が No. 3 圧延油であり、いずれもロールの表面粗さが 0.02, 0.11  $\mu\text{mRa}$  の 2 条件、圧延速度が 1.2, 6.0, 40 及び 121 m/min の 4 条件、圧下率が 20% であった。ロール表面が荒い場合、圧延速度及び圧延油粘度による影響は少なく、全体にロール研磨すじがはっきりと転写されている様子がわかる。しかし、ロール表面が滑らかな場合には、圧延速度あるいは圧延油粘度の増加とともにロール研磨すじの模様が少なくなっていく。

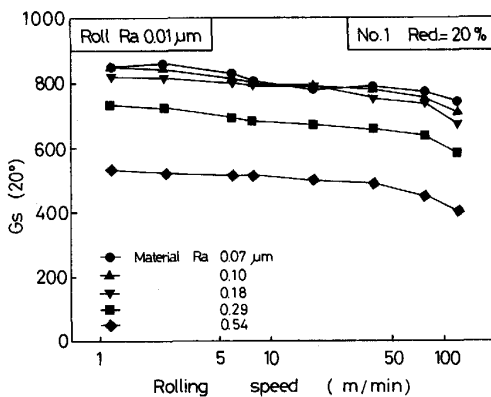


Fig. 7. Relation between surface brightness and rolling speed at a rolling reduction of 20% when changing the surface roughness of material using a lubricant of No. 1.

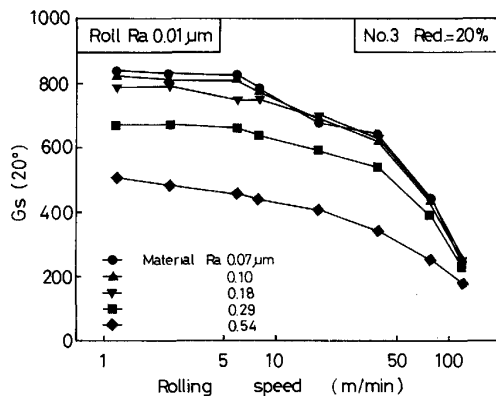


Fig. 8. Relation between surface brightness and rolling speed at a rolling reduction of 20% when changing the surface roughness of material using a lubricant of No. 3.

これらの結果から、ロールの表面粗さが滑らかな場合、潤滑状態が圧延速度とともに境界潤滑状態から流体潤滑状態に変化していくのに対して、表面粗さが荒い場合、その粗さに比べて導入油量が小さいのでロール表面の拘束が大きく、ほぼ境界潤滑状態が支配的であると考えられる。

### 3.3 圧延前の材料の表面粗さの影響

Fig. 7 及び Fig. 8 に圧延試験片の表面粗さを変化させたときの表面光沢と圧延速度の関係を示す。圧延油には No. 1 及び No. 3 を使用し、圧下率は 20% であった。圧延試験片の表面が荒いほど圧延後の表面光沢が低下している。また、粘度が大きい No. 3 圧延油では圧延速度の増加とともに表面光沢は低下している。

Photo. 4 及び Photo. 5 に圧延試験片の表面粗さを変化させたときの金属顕微鏡写真を示す。これらの圧延条件は、Photo. 4 が No. 1 圧延油及び Photo. 5 が No. 3 圧延油、圧延試験片の表面粗さが 0.18, 0.54  $\mu\text{mRa}$  の 2 条件、圧延速度が 1.2, 6.0, 40 及び 121 m/min の 4 条件、圧下率が 20% であった。圧延試験片の表面が荒

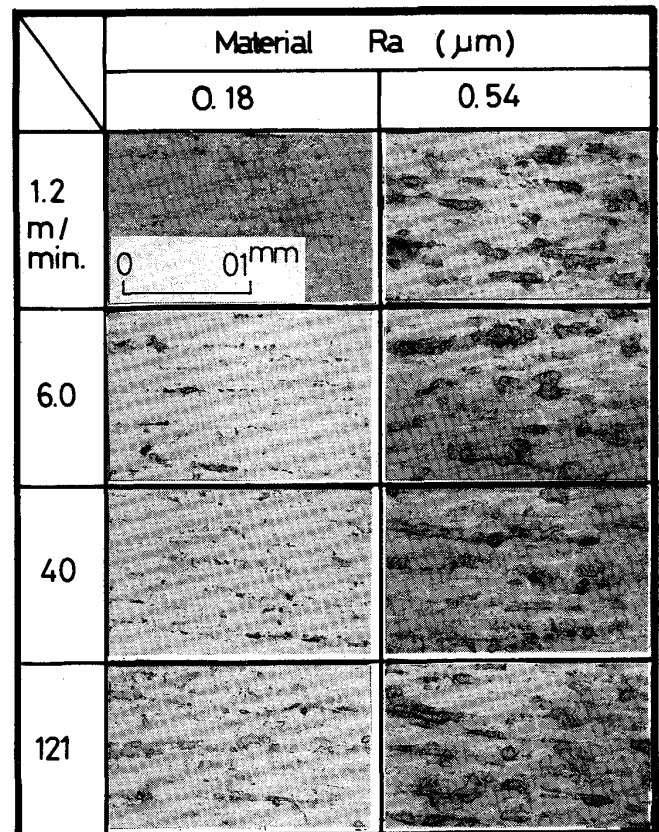


Photo. 4. Surface photographs of sheets rolled at rolling speeds of 1.2, 6.0, 40 and 121 m/min at a rolling reduction of 20% when the surface roughness of material was 0.18 and 0.54  $\mu\text{mRa}$  using a lubricant of No. 1.

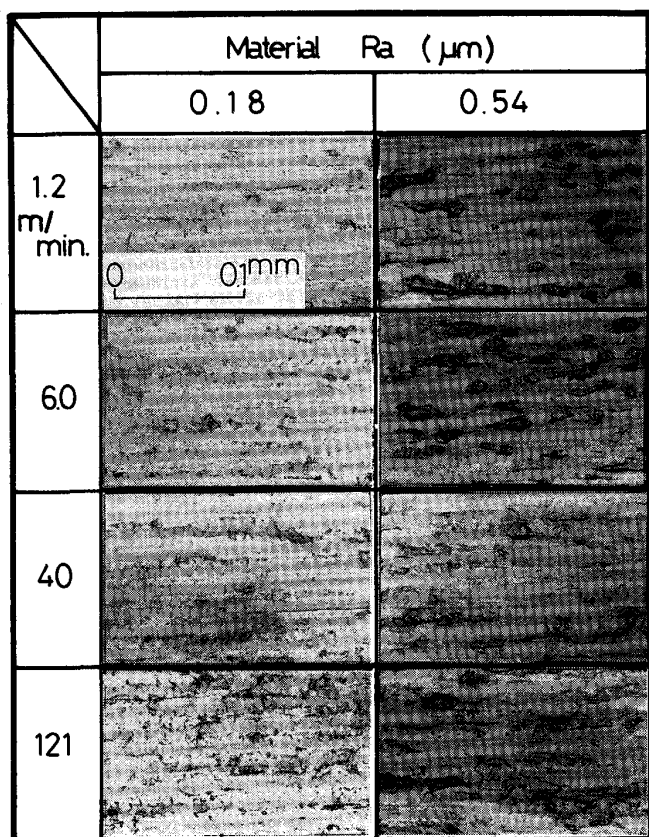
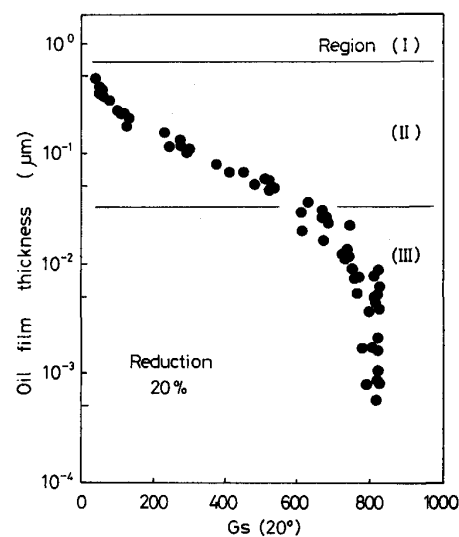


Photo. 5. Surface photographs of sheets rolled at rolling speeds of 1.2, 6.0, 40 and 121 m/min at a rolling reduction of 20% when the surface roughness of material was 0.18 and 0.54 μmRa using a lubricant of No. 3.

い場合、圧延速度の低い領域においても多くのオイルピットが観察され、それは圧延試験片の表面が滑らかな場合に比べて圧延後の表面状態に大きな影響を与えていることがわかる。これらの領域では、オイルピット凹部に発生する静圧流体潤滑やその凹部にトラップされた圧延油が周りの平坦部に滲出して生じるマイクロ塑性流体潤滑を新たに考慮した混合潤滑状態を考えなければならないであろう<sup>9)~11)</sup>。

#### 4. 考 察

本実験のようにニート潤滑を用いた冷間圧延の場合、圧延後の材料の表面光沢  $G_s$  や表面粗さ  $Ra$  は、加工因子（ロール速度  $V_r$ 、材料の入口速度  $V_1$ 、材料の入口板厚  $t_1$ 、圧下率  $r$ 、ロール半径  $R$ 、材料の変形抵抗  $Y$ ）、潤滑油因子（常圧、常温での粘度  $\eta_0$ 、粘度の圧力係数  $\alpha$ 、粘度の温度係数  $\beta$ ）及び圧延前のロールと材料の表面粗さ（ $Ra_0^{\text{ロール}}$ 、 $Ra_0^{\text{材料}}$ ）に影響を受けることが報告されている<sup>3)4)</sup>。そのうち、圧延前のロール及び材料表面をほぼ鏡面状態に管理した場合、圧延後の材料の表面光沢



Rolling speed : 1.2~121 m/min  
Viscosity of lubricant : 2.8~97.4 cSt

Fig. 9. Relationship between oil film thickness and surface brightness when the surface roughnesses of roll and material were 0.01 and 0.07 μmRa.

$G_s$  は加工因子、潤滑油因子を従属変数として

$$G_s = G_s(V_r, V_1, t_1, r, R, Y, \eta_0, \alpha, \beta) \dots\dots(1)$$

で表すことができる。3・1 で得られた実験結果から表面光沢は、圧延速度、粘度の増加につれて低下し、圧下率の増加につれてわずかに上昇することが示された。これらの実験から得られた表面光沢と従属変数の関係は、圧延油の粘度を一定としてレイノルズ方程式から求められたロール・材料間入口部における油膜厚み  $h_1$ <sup>12)</sup>

$$h_1 = \frac{3 \cdot \eta_0 \cdot (V_r + V_1)}{\sqrt{\frac{t_1 \cdot r}{R}} \cdot Y} \dots\dots(2)$$

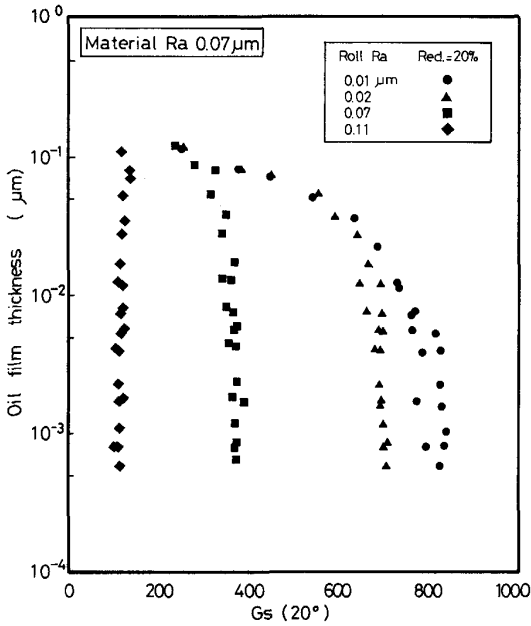
の従属変数と表面光沢の間の依存性と定性的に同じである。それゆえ、表面光沢  $G_s$  と入口油膜厚み  $h_1$  の間の関係を定量的に調べることは大切なことが理解できる。

そこで、熱効果の影響を考慮に入れたレイノルズ方程式を用いて本実験のすべての実験点での入口油膜厚み  $h_1$  を計算した<sup>6)7)</sup>。この得られた入口油膜厚みと表面光沢の関係を Fig. 9 に示す。(1)式が適用できる入口油膜厚みの範囲では、表面光沢  $G_s$  は入口油膜厚み  $h_1$  と直線関係にあり、(1)式に代わって、

$$G_s \propto h_1 \dots\dots(3)$$

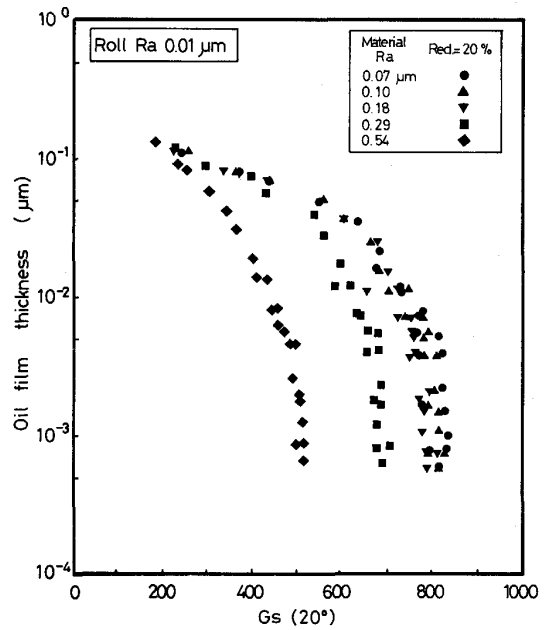
で表すことが可能なことを示している。更に、すべての入口油膜厚みの範囲においても圧下率を一定にすれば、表面光沢は入口油膜厚みとの関係において一つの曲線でまとめ、(1)式に代わって

$$G_s = G_s(h_1) \dots\dots(4)$$



Rolling speed : 1.2~121 m/min  
Viscosity of lubricant : 2.8~97.4 cSt

Fig. 10. Relationship between oil film thickness and surface brightness when changing the surface roughness of roll.



Rolling speed : 1.2~121 m/min  
Viscosity of lubricant : 2.8~97.4 cSt

Fig. 11. Relationship between oil film thickness and surface brightness when changing the surface roughness of material.

のように一つの入口油膜厚みの従属変数で表すことができる。

Fig. 9 から、(4)式は入口油膜厚みによって大きく三つの範囲に分けることができ、入口油膜厚みがある程度大きくなって表面光沢があまり変化しない範囲(Ⅰ)、入口油膜厚みが表面光沢と直線関係にある範囲(Ⅱ)及び入口油膜厚みが 0.04 μm 以下で表面光沢がなだらかに増加し、その後一定になる範囲(Ⅲ)である。最初の範囲(Ⅰ)においては、著者の一人らの報告<sup>6)</sup>から界面における材料表面の突起はロール表面に接触せず、材料表面は自由変形した状態であり、ロールと材料界面の潤滑は流体潤滑状態であり、2番目の範囲(Ⅱ)は流体潤滑と境界潤滑が混在している混合潤滑状態及び最後の範囲(Ⅲ)は境界潤滑が優勢な状態と考えられる。

この三つの範囲の境界の入口油膜厚み  $h_1$  は、(Ⅰ)/(Ⅱ)の境界において

$$h_1 = \frac{R_{max0}^{ロール} + R_{max0}^{材料}}{2} \dots\dots\dots (5)$$

(Ⅱ)/(Ⅲ)の境界において

$$h_1 = \frac{Ra_0^{ロール} + Ra_0^{材料}}{2} \dots\dots\dots (6)$$

とロールと材料の表面粗さ値で近似できる<sup>13)</sup>。

次に、ロールの表面粗さを変化させ、圧下率 20% で圧延した実験点での入口油膜厚みと表面光沢の関係を

Fig. 10 に示す。いずれのロール表面粗さにおいても入口油膜厚みと表面光沢の関係は一つの曲線でまとめ、表面光沢を(4)式に代わって

$$G_s = G_s(h_1, Ra_0^{ロール}) \dots\dots\dots (7)$$

として表すことができる。このとき、(Ⅱ)/(Ⅲ)の境界は(6)式からわかるようにロールの表面粗さに影響を受け、ロールの表面粗さが大きくなるにつれて(Ⅱ)の範囲が狭くなっている。

圧延試験片の表面粗さを変化させ、圧下率 20% で圧延した実験点での入口油膜厚みと表面光沢の関係を Fig. 11 に示す。この Fig. 11 においても各圧延試験片の表面粗さごとに入口油膜厚みと表面光沢の関係は一つの曲線で整理され、(4)式に代わって圧延後の表面光沢は

$$G_s = G_s(h_1, Ra_0^{材料}) \dots\dots\dots (8)$$

で表すことができる。このとき、(Ⅱ)/(Ⅲ)の境界の  $h_1$  は(6)式からわかるように圧延試験片の表面粗さとともに大きくなり、(Ⅱ)の範囲が狭くなっている。

この場合、Fig. 9 及び Fig. 10 に比べて範囲(Ⅲ)での表面光沢に及ぼす入口油膜厚み依存性がかなり異なっていることがわかる。圧延試験片の表面粗さが増加するにつれて範囲(Ⅲ)での表面光沢がなだらかに変化する領域が広がっている。このなだらかに変化する領域における Photo. 4 の表面写真を見ると、圧延前の試験片表面

の凹部に圧延油がトラップされたオイルピットが多数観察される。このオイルピット部は静圧流体潤滑の役目をはたし、その凹部にトラップされた圧延油が周りの平坦部に滲出して生じるマイクロ塑性流体潤滑の役割も考えられるので<sup>9)~11)</sup>、このオイルピットの存在によって範囲(Ⅲ)での表面光沢の入口油膜厚み依存性が大きく異なったものと考えられる。この結果から、この範囲の潤滑状態は境界潤滑、静圧流体潤滑及びマイクロ塑性流体潤滑が混在する混合潤滑状態であり、入口油膜厚みが薄くなるにつれ境界潤滑領域が優勢となることがわかる。

これらの結果の(4)、(7)及び(8)式の表面光沢と入口油膜厚みとの関係式は、実際の圧延前のロール及び材料の表面粗さを  $Ra_0^{\text{ロール}}$  及び  $Ra_0^{\text{材料}}$  とすると次の(9)式  $G_s = G_s(h_1, Ra_0^{\text{ロール}}, Ra_0^{\text{材料}}) \dots\dots\dots (9)$  でまとめることができる。この(9)式を用いることにより、冷間圧延における各パスの圧延条件から圧延後の材料の表面光沢を定量的に推定しうるシステム並びに制御するためのシステムを構築することが可能となろう。そのシステムの内容は、以下のとおりである。

[1]各パスにおける圧延条件(入口板厚  $t_1$ 、ロール半径  $R$ 、ロール速度  $V_r$ 、材料の入口速度  $V_1$ 、圧下率  $r$ 、後方張力  $Tb$ 、材料の変形抵抗  $Y$ 、圧延油の常圧・常温での粘度  $\eta_0$ 、粘度の圧力係数及び温度係数  $\alpha, \beta$ 、ロールの表面粗さ  $Ra_0^{\text{ロール}}$ 、材料の表面粗さ  $Ra_0^{\text{材料}}$ )のデータを調べる。

[2]熱的効果の影響を考慮したレイノルズ方程式を用いて入口油膜厚み  $h_1$  を計算する。

[3]表面光沢推定式(9)式を用いて、計算した入口油膜厚みにより表面光沢を推定する。

[4]表面管理が必要な場合は圧延後の表面光沢をオンラインで計測し、推定した表面光沢との比較及びその経時変化の計測より、表面光沢が許容範囲内にあるかどうかを調べる。

[5]表面光沢が管理範囲内から外れた場合、表面光沢を制御しうるパラメーターである圧延速度、張力、圧延油温度などを変更し、[2]及び[3]の操作により表面光沢を目標範囲内に入れる。

ここで、このシステムにおいて最も大切な入口油膜厚み  $h_1$  の計算については著者の一人らの文献<sup>6)7)</sup>を参考にしたい。

実際の冷間圧延の現場において圧延後の表面光沢の推定を行う場合、提案したシステムに用いる入口油膜厚みから表面光沢を推定するための式としては、(9)式を実際の現場現象に良く合うように修正すべきであろう。更に、表面制御を行うためにはオンラインで表面光沢を計

測できる新しい測定装置の開発が期待される。

以上、新しい推定式を用いて圧延後の材料の表面光沢を推定・制御しうるシステムの提案を行ったが、今後このシステムの実際への適用について検討を進めるつもりである。

## 5. 結 言

圧延後の材料の表面性状に及ぼす圧延速度、圧下率、圧延油粘度、ロール・材料の表面粗さなどのトライボロジー因子の影響について調べ、表面光沢と入口油膜厚みの関係から次の結果が得られた。

(1)材料及びロール表面がほぼ鏡面の場合、表面光沢は圧延速度、粘度が増加するにつれて低下し、逆に表面粗さは大きくなった。

(2)ロールあるいは圧延前の材料の表面粗さは、圧延後の材料の表面性状に大きな影響を与えた。

(3)材料及びロール表面がほぼ鏡面の場合、圧延後の表面光沢は入口油膜厚みだけの従属変数によって表すことができる。材料あるいはロール表面の粗さの影響がある場合、表面光沢は入口油膜厚みとロールの表面粗さあるいは圧延前の材料の表面粗さの二つの従属変数で表すことができる。

(4)この表面光沢と入口油膜厚みの関係式を用いることにより、圧延前の条件から圧延後の材料の表面光沢を推定・制御しうるシステムの提案を行った。

本研究の一部は、日本鉄鋼協会特定基礎研究会より交付された研究費により行ったことを付記する。

## 文 献

- 1) 春日保男, 山口勝美: 日本機械学会論文集(第3部), **33** (1967), p. 1294
- 2) 水野高爾: 塑性と加工, **12** (1971), p. 369
- 3) 馬場敬志, 岩崎 守: 塑性と加工, **13** (1972), p. 609
- 4) 小豆島明, 木原諄二, 五弓勇雄: 塑性と加工, **18** (1977), p. 337
- 5) 左海哲夫, 齊藤好弘, 岡本昭治, 加藤健三: 塑性と加工, **19** (1978), p. 972
- 6) 小豆島明, 木原諄二, 五弓勇雄: 同上, p. 958
- 7) 小豆島明, 北村晃一: 昭和 61 年度塑性加工春季講演会講演論文集(1986), p. 151
- 8) 小豆島明: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 696
- 9) T. MIZUNO and M. OKAMOTO: Trans. ASME, Ser. F, **104** (1982), p. 53
- 10) 阮 鋒, 工藤英明, 坪内昌生, 堀 隆弘: 塑性と加工, **28** (1987), p. 41
- 11) 小豆島明, 坪内昌生, 古田憲明, 峯村 憲, 工藤英明: 塑性と加工, **30** (1989), p. 1631
- 12) 小豆島明: 鉄と鋼, **64** (1978), p. 317
- 13) 小豆島明, 野呂和也, 井柳好貴: 昭和 62 年度塑性加工春季講演会講演論文集(1987), p. 115