

熱間圧延における摩擦係数に及ぼす ロール表面粗さの影響

小豆島 明*・薛 衛東*²・吉田 良明*³

Effect of Surface Roughness of Roll on Coefficient of Friction in Hot Rolling

Akira AZUSHIMA, WeiDong XUE and Yoshiaki YOSHIDA

Synopsis : In order to understand the tribological behavior at the interface between roll and workpiece in hot steel rolling, it is important to measure the coefficient of friction and examine the effect of the tribological factors on the coefficient of friction. In this paper, the effects of the surface roughness of roll on the coefficient of friction are investigated by using the tribo-simulation testing machine for hot rolling developed by the authors. The workpiece material used is SPHC. The roll material is SKD11 and the surface roughnesses are 0.1, 0.2, 0.4 and 0.8 $\mu\text{m Ra}$. The rolling tests are carried out at a temperature of 800°C during a rolling distance of 400 mm, changing the rolling speed from 50 to 70 m/min. The colza oil is used as a base oil and the emulsion concentrations are 0.1 and 3.0%. The coefficient of friction at an emulsion concentration of 3.0% dose not depend on the surface roughness of roll. However, the coefficient of friction at an emulsion concentration of 0.1% decreases with increasing surface roughness of roll up to a surface roughness of 0.3 $\mu\text{m Ra}$ and over 0.3 $\mu\text{m Ra}$ it increases with increasing surface roughness of roll.

Key words: hot rolling; coefficient of friction; surface roughness; lubrication; simulation testing; roll.

1. 緒言

最近、超微細粒鋼を大圧下熱間圧延によって創製するプロセスが開発されている^{1,2)}。そのプロセスを実現するためには熱間圧延におけるロールと材料界面の摩擦係数の挙動を明らかにする必要がある^{3,4)}。そのため、熱間圧延における潤滑メカニズムを理解することが望まれる。筆者らは熱間圧延潤滑評価試験機を開発し、実機の熱間圧延における摩擦係数を評価できることを示した^{5,6)}。更に、その試験機を用いた研究より熱間圧延におけるロールと材料界面の潤滑モデルを提案した⁷⁾。それらの研究成果をベースにし摩擦係数に及ぼす潤滑因子の影響を調べ、潤滑メカニズムの解明を行った⁸⁾。その際、潤滑メカニズムを理解するためには、摩擦係数に及ぼすロール表面粗さの影響を調べる必要があることが理解された。

本研究は熱間圧延潤滑評価試験機を用いて、摩擦係数に及ぼすロール表面粗さの影響を調べ、提案した潤滑モデルを用いてその影響の考察を行い、潤滑メカニズムの更なる解明を行った。

2. 試験方法

2.1 熱間圧延潤滑性評価試験機

本研究に用いた熱間圧延潤滑性評価試験機は、Fig.1に示すように主スタンド①、サブスタンド②、加熱炉③および出口側張力付加装置④より構成されている。この試験機の主な仕様はTable 1に示す。主スタンドの上ロールおよびサブスタンドの上ロールと下ロールは37kWのDCモータより駆動される。主スタンドの上ロール速度とサブスタンドの上下ロール速度の比率は、無段変速機によって調整

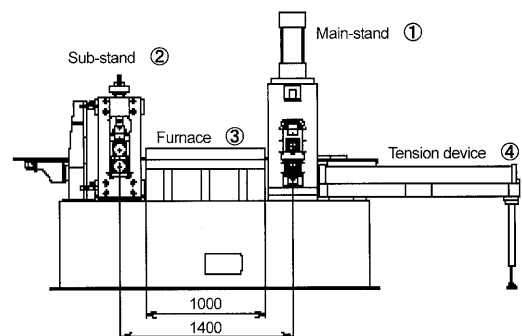


Fig. 1. Schematic representation of simulation testing machine for hot rolling.

平成 19 年 8 月 6 日 受付 平成 19 年 12 月 13 日 受理 (Received on Aug. 6, 2007; Accepted on Dec. 13, 2007)

* 横浜国立大学大学院工学研究院・環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術研究体 (Yokohama National University·Environment-Conscious Ultrafine-Grained Steel Consortium of JRCM (The Japan Research and Development Center of Metals), 79-5 Tokiwadai Hodogaya-ku Yokohama 240-8501)

* 2 環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術研究体・横浜国立大学大学院工学研究院 (Environment-Conscious Ultrafine-Grained Steel Consortium of JRCM (The Japan Research and Development Center of Metals)·Yokohama National University)

* 3 横浜国立大学大学院工学府 (Yokohama National University)

され、6.3~24の間に変化できる。主スタンドの上ロール速度は207 m/minまで連続的に変化できる。主スタンドの油圧シリンダーにより負荷される圧延荷重の最大値は200 kNで、圧延トルクの許容値は800 Nmである。加熱炉としては、加熱長さ960 mmの赤外線イメージ加熱炉を使用し、その中には赤外線ランプを上下24本ずつ合計48本配置し、その定格は200 V, 48 kWである。加熱温度は、デジタル調節計によって制御され、1100°Cまで設定することができる。炉内には雰囲気ガスであるアルゴンガスを導入し、加熱された試験片の酸化を制御させることができる。出口側張力はエアシリンダにより負荷され、その最大値は3.5 kNである。トルクメータにより検出された圧延トルク、ロードセルにより検出された圧延荷重および同時に算出された摩擦係数の結果は、試験温度、主ロール速度および試験片の送り速度の試験条件とともにコンピューターに記録

される。

2・2 使用した試験ロール、試験片および圧延油

試験ロールと試験片として、ロール材質がSKD61で、直径100 mm、幅60 mmの寸法を有するロールおよび試験片材質がSPHCで、幅22 mm、厚さ9 mm、長さ2750 mmの寸法を有する試験片を使用した。試験ロールは、表面粗さ0.8 μm Ra, 0.4 μm Ra, 0.2 μm Raおよび0.1 μm Raの4種類を使用し、それらの3次元プロファイルの測定結果をFig. 2に示す。圧延後の材料表面観察のための実験には0.8 μm Ra, 0.2 μm Raおよび0.05 μm Raの3種類のロールを使用した。試験する前に、ロールの表面と試験片の表面をヘキサソで清浄した。圧延油としては、市販圧延油のベース油として用いられているなたね油を使用した。

2・3 試験方法

Fig. 1に示す熱間圧延潤滑性評価試験機を用いた摩擦係数の測定試験においては、まず試験片を主スタンド①とサブスタンド②のロールの間にセットし、つづいてサブスタンドのロールが試験片を圧下し、試験片の移動速度を制御して滑り圧延を可能とする。それと同時に、試験片先端に出口側張力付加装置④のチャック部を取り付け、すべり圧延時に前方張力を付加することにより試験片が真つぐ移動させるようにする。つづいて、赤外線イメージ加熱炉③にアルゴンガスを供給しながら試験片を所定温度まで上昇させ、一定時間保持させた後、前方張力を付加させながら、サブスタンドを圧延することにより試験片を主スタンドへ移動させる。主スタンドのロールの直下の試験片は炉中で

Table 1. Specification of simulation testing machine for hot rolling.

Velocity of main roll	U	\leq	207 m/min
Ratio of velocity	r_v		6.3~24
Velocity of sub roll	v	\leq	8~32 m/min
Rolling load	P	\leq	200 kN
Rolling torque	G	\leq	800 Nm
Temperature of furnace	T_f	\leq	1100 °C
Forward tension	T_F	\leq	3.5 N

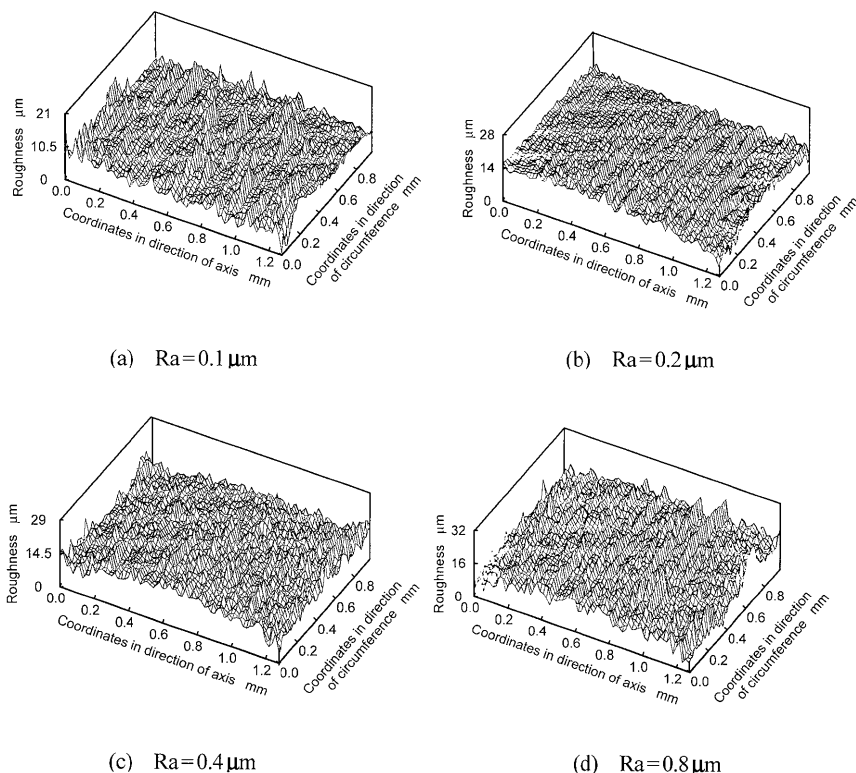


Fig. 2. Three dimensional surface profiles of roll with average surface roughnesses of 0.1, 0.2, 0.4 and 0.8 μm .

所定温度に到達した部分が移動してきた後、主スタンドの上ロールの表面に圧延油をスプレーし、主スタンドの上ロールを所定の圧下量ですべり圧延できるまで圧下させる。そのとき、試験片は一定の速度 V で移動しており、上ロールには速度 U ですべり状態になっている。また下ロールは従動状態で回転している。主スタンドの上ロールを圧下した後、一定の圧下量で一定距離にすべり圧延される。すべり圧延中、主スタンドの圧延荷重 P 、上ロールのトルク G が測定され、摩擦係数 μ は、

$$\mu = \frac{G}{PR} \dots\dots\dots (1)$$

より求められる。ここで、 R は主スタンドの上ロールの半径である。

本研究に用いた試験条件を Table 2 に示す。加熱炉の設定温度 T_f は 800°C とし、出口側張力 T_F を 0.9 kN とした。主ロール速度とサブロール速度の比率 r_v を 20 と一定にし、主ロール速度 U を 30, 50 および 70 m/min 並びにサブロール速度 v を 1.5, 2.5 および 3.5 m/min 、圧下量 Δt_s を 0.1, 0.3 および 0.5 に変化させ、すべり圧延を行った。圧延油のエマルジョン濃度 c は 3% と 0.1% の 2 種類とし、エマルジョンの供給温度は 40°C で、供給量は 1400 mL/min とした。

Fig. 3 に主ロール速度 50 m/min 、サブロール速度 2.5 m/min および圧下量 0.2 mm のすべり圧延条件で、市販圧延油のベース油のなたね油を濃度 3% のエマルジョンで供給した場合の圧延荷重 P と圧延トルク G の測定結果を示す。図の横軸に圧延距離 L を示す。Fig. 3 より圧延荷重と圧延トルクの両方とも圧延距離が 200 mm を越えると安定

Table 2. Testing conditions.

Temperature of furnace	T_f	800°C
Forward tension	T_F	0.9 kN
Ratio of velocity	r_v	20
Velocity of main roll	U	30, 50, 70 m/min
Velocity of sub roll	v	1.5, 2.5, 3.5 m/min
Rolling reduction	Δt_s	0.1, 0.3, 0.5 mm

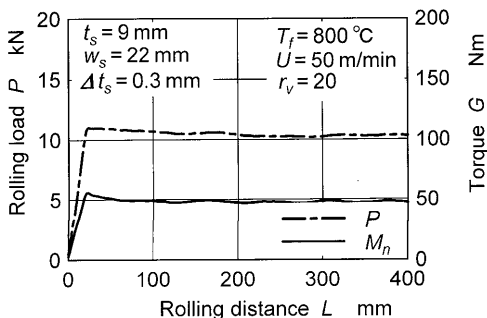


Fig. 3. Relationships between rolling force, torque and rolling distance.

な値になるので、それらの測定値としては圧延距離 200 から 400 mm の間の平均値を使用した。

3. 実験結果

3.1 圧下量の影響に対する結果

Fig. 4 に主ロール速度 U を 50 m/min 、サブロール速度 v を 2.5 m/min 、圧下量 Δt_s を 0.1, 0.3 および 0.5 mm に変化させ、濃度 3% および 0.1% のそれぞれのエマルジョンを供給し、表面粗さ $0.8\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。Fig. 4 より、表面粗さ $0.8\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールの摩擦係数は、エマルジョン濃度 3% と 0.1% の両方とも、圧下量にはほとんど依存せず、濃度 0.1% の場合の摩擦係数が濃度 3% の場合より約 0.03 大きいことを示している。

Fig. 5 に表面粗さ $0.4\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。他の試験条件は Fig. 4 と同一である。Fig. 5 より、表面粗さ $0.4\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールの摩擦係数はエマルジョン濃度 3% および 0.1% の両方とも、圧下量にはほとんど依存せず、ほぼ同じ 0.11 の値を示している。

Fig. 6 に表面粗さ $0.2\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。Fig. 6 より、表面粗さ $0.2\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールの摩擦係数は、表面粗さ $0.4\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールと同様にエマルジョン濃度 3% および 0.1% の両方とも、圧下量にはほとんど依存せず、ほぼ同じ 0.1 の値を示している。

Fig. 7 に表面粗さ $0.1\text{ }\mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。Fig. 7 より、表面粗さ $0.1\text{ }\mu\text{m Ra}$

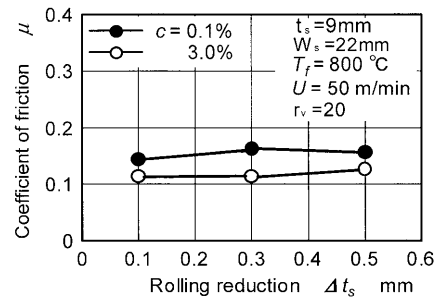


Fig. 4. Relationships between coefficient of friction and rolling reduction for surface roughness $0.8\text{ }\mu\text{m Ra}$ on roll.

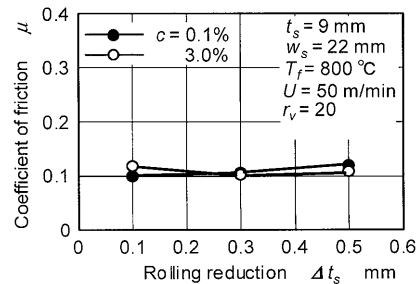


Fig. 5. Relationships between coefficient of friction and rolling reduction for surface roughness $0.4\text{ }\mu\text{m Ra}$ on roll.

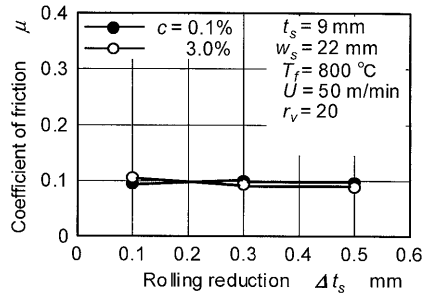


Fig. 6. Relationships between coefficient of friction and rolling reduction for surface roughness $0.2 \mu\text{m Ra}$ on roll.

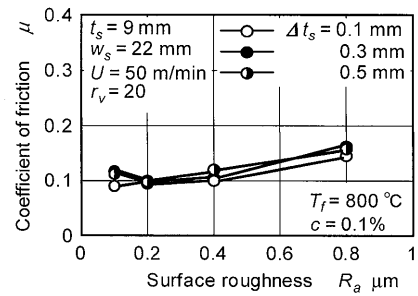


Fig. 9. Relationships between coefficient of friction and surface roughness at several rolling reductions for emulsion concentration of 0.1%.

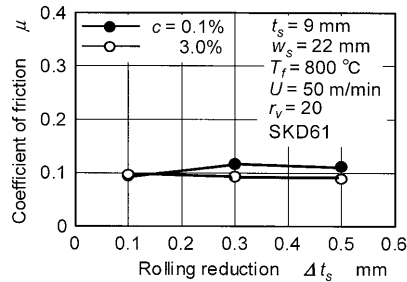


Fig. 7. Relationships between coefficient of friction and rolling reduction for surface roughness $0.1 \mu\text{m Ra}$ on roll.

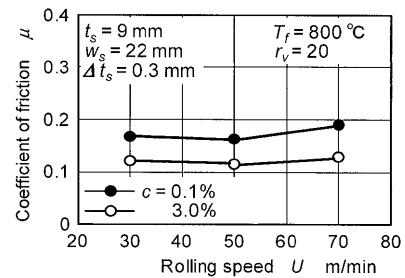


Fig. 10. Relationships between coefficient of friction and rolling speed for surface roughness $0.8 \mu\text{m Ra}$ on roll.

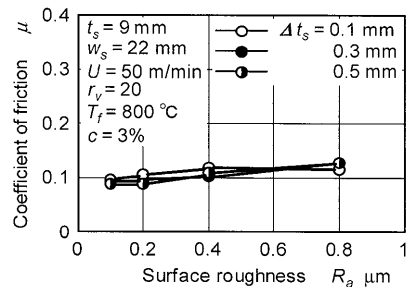


Fig. 8. Relationships between coefficient of friction and surface roughness at several rolling reductions for emulsion concentration of 3%.

のロールの摩擦係数は、エマルジョン濃度3%の場合には、表面粗さ $0.2 \mu\text{m Ra}$ のロールと同様に圧下量にはほとんど依存せず、ほぼ同じ 0.095 の値を示しているが、エマルジョン濃度0.1%の場合には圧下量の増加とともにやや増大する傾向を示している。

Fig. 8にFig. 4からFig. 7の結果より得られたエマルジョン濃度3%の場合の摩擦係数とロール表面粗さの関係を示す。Fig. 8よりエマルジョン濃度3%の場合の摩擦係数は、各ロール表面粗さにおいて圧下量にはほとんど依存せず一定の値を示しており、ロール表面粗さが $0.2 \mu\text{m Ra}$ より粗い場合にはロール表面粗さの増加とともにわずかに大きくなるが、ロール表面粗さをそれ以上小さくするとほとんど変わらないことがわかる。

Fig. 9にFig. 4から7の試験結果より得られたエマルジョン濃度0.1%の場合の摩擦係数とロール表面粗さの関係を

示す。Fig. 9よりエマルジョン濃度0.1%の場合の摩擦係数は、ロール表面粗さが $0.2 \mu\text{m Ra}$ より粗い場合にはエマルジョン濃度3%の場合と同様にロール表面粗さの減少とともに小さくなるが、ロール表面粗さがそれ以上小さくなると圧下量大きい場合、逆に増加することがわかる。

3.2 ロール速度の影響に対する結果

Fig.10に圧下量 Δt_s を 0.3 mm 、主ロール速度を $30, 50$ および 70 m/min に変化させ、濃度3および0.1%のエマルジョンを供給し、表面粗さ $0.8 \mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。Fig.10より表面粗さ $0.8 \mu\text{m Ra}$ のロールの摩擦係数は、エマルジョン濃度3%の場合にはロール速度の変化にもかかわらずほぼ一定の値を示しているが、エマルジョン濃度0.1%の場合には、主ロール速度 70 m/min のほうが 30 および 50 m/min の場合より大きくなることを示している。

Fig.11に表面粗さ $0.4 \mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。他の試験条件はFig.10と同一である。Fig.11より表面粗さ $0.4 \mu\text{m Ra}$ のロールの摩擦係数は、エマルジョン濃度3%の場合には表面粗さ $0.8 \mu\text{m Ra}$ のロールと同様にロール速度の変化にもかかわらず一定の値を示しているが、エマルジョン濃度0.1%の場合には、主ロール速度 50 m/min のほうが 30 および 70 m/min の場合より少し小さくなることを示している。

Fig.12に表面粗さ $0.2 \mu\text{m Ra}$ のロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。Fig.12より、表面粗さ $0.2 \mu\text{m Ra}$ のロールの摩擦係数は、エマルジョン濃度3%と0.1%

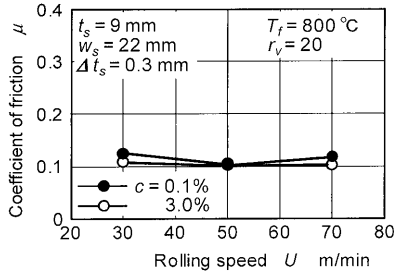


Fig. 11. Relationships between coefficient of friction and rolling speed for surface roughness 0.4 μm Ra on roll.

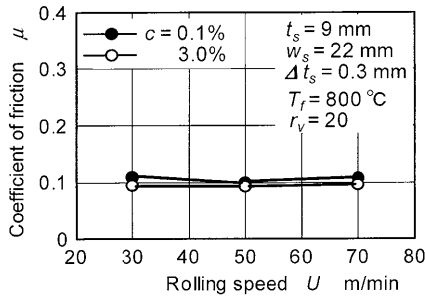


Fig. 12. Relationships between coefficient of friction and rolling speed for surface roughness 0.2 μm Ra on roll.

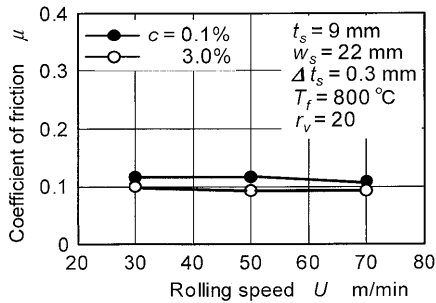


Fig. 13. Relationships between coefficient of friction and rolling speed for surface roughness 0.1 μm Ra on roll.

の両方とも、ロール速度の変化にもかかわらずほぼ一定で、ほぼ同じ値を示している。

Fig.13に表面粗さ0.1 μm Raのロールを使用した場合の摩擦係数の測定結果を示す。Fig.13より、表面粗さ0.1 μm Raのロールの摩擦係数は、エマルジョン濃度3%および0.1%の両方とも、ロール速度の変化にもかかわらずほぼ一定の値を示しているが、エマルジョン濃度0.1%の場合の摩擦係数が濃度3%の場合より大きくなることを示している。

Fig.14にFig.10からFig.13の結果より得られたエマルジョン濃度3%の場合の摩擦係数とロール表面粗さの関係を示す。Fig.14より、エマルジョン濃度3%の場合の摩擦係数は、ロール表面粗さが0.2 μm Raより大きい場合にはロール表面粗さの増加とともにわずかに大きくなるが、

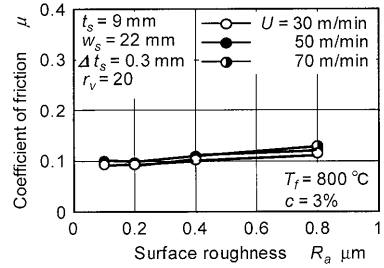


Fig. 14. Relationships between coefficient of friction and surface roughness at several rolling speeds for emulsion concentration of 3%.

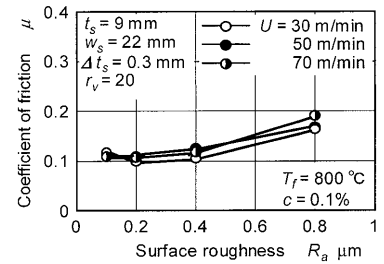


Fig. 15. Relationships between coefficient of friction and surface roughness at several rolling speeds for emulsion concentration of 0.1%.

ロール表面粗さがそれ以上小さくしてもほとんど変わらないことがわかる。この結果はFig. 8の結果と同様な傾向を示す。

Fig.15にFig.10からFig.13の結果より得られたエマルジョン濃度0.1%の場合の摩擦係数とロール表面粗さの関係を示す。Fig.15よりエマルジョン濃度c=0.1%の場合の摩擦係数は、ロール表面粗さが0.2 μm Raより大きい場合には、エマルジョン濃度3%の場合と同様にロール表面粗さの増加とともに大きくなるが、ロール表面粗さがそれ以上小さくなると逆に増加することがわかる。この結果はFig. 9の結果と同様な傾向を示す。

4. 考察

熱間圧延における摩擦係数に及ぼすロール表面粗さの影響を著者ら⁷⁾の提案したFig.16に示す潤滑モデルを用いて考察を行う。Fig.16に示す潤滑モデルにおける摩擦力Fは、接触界面の凝着によって生じる凝着摩擦力F_bと硬い材料の表面突起が軟らかい材料の中に押し込まれ、掘り起こし溝を形成するための掘り起こし摩擦力F_pの和によって、次式

$$F = F_b + F_p \dots \dots \dots (2)$$

のように表される⁹⁾。そのときの垂直荷重をPとするとアモン・クーロンの摩擦法則より、摩擦係数は

$$\mu = F/P = F_b/P + F_p/P = \mu_b + \mu_p \dots \dots \dots (3)$$

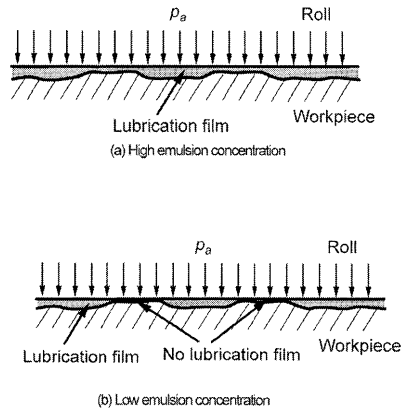


Fig. 16. Schematic representation of lubrication model.

		Emulsion concentration [%]	
		3	0.1
Surface roughness Ra[μm]	0.05		
	0.2		
	0.8		

Fig. 17. Surface photographs of rolled specimens at emulsion concentrations of 3% and 0.1% for roll surface roughness of 0.8 μm Ra.

で表すことができる。

Fig.17に主ロール速度を50m/min, サブロール速度を2.5m/min, 圧下量を0.3mmとしてエマルジョン濃度3%および0.1%でロール表面粗さを0.8 μm Ra, 0.2 μm Raおよび0.05 μm Raと変化させ, すべり圧延行った後の材料表面写真を示す。これらの表面写真からロールの表面粗さが大きくなるとエマルジョン濃度3%および0.1%の両方ともロール表面突起による圧延材料表面に掘り起こしによる溝が大きくなることが観察される。このことは式(2)及び式(3)が本研究の摩擦力および摩擦係数を考察するために妥当な式であることを示している。

最初に, Fig.16(a)の潤滑モデルのエマルジョン濃度が1.0%より高い範囲のロールと材料界面の全域が潤滑膜で覆われる領域での摩擦係数に及ぼすロール表面粗さの影響について考察する。

Fig.16(a)のように境界的潤滑膜が接触界面の全域を覆っているときの境界的摩擦係数を μ_b とし, ロール表面の表面突起による材料表面への押し込み後, 掘り起こしにより生じる摩擦係数を μ_p とすると, エマルジョン濃度が1.0%より高い範囲のロール表面粗さの影響を受けた摩擦係数 μ は式(3)と同様に

$$\mu = \mu_b + \mu_p \dots \dots \dots (3')$$

で表すことができる。このようなエマルジョン濃度が高い場合の摩擦係数は, ロール表面粗さの影響を考慮するとロール表面粗さの増加とともにロール表面突起の材料表面への掘り起こしの影響により増加することになる。

この式(3')よりエマルジョン濃度3%のFig. 8の圧下量を0.1から0.5mmに変化させたときの摩擦係数およびFig.14のロール速度を30から70m/minまで変化させたときの摩擦係数は圧下量およびロール速度にはほとんど影響を受けず, ロール表面粗さの影響を受け, ロール表面粗さの増加とともに増加していることが式(3')のロール表面の突起の材料表面の掘り起こしによる摩擦係数 μ_p の増加により説明することができる。

次に, Fig.16(b)の潤滑モデルのエマルジョン濃度が1.0%より低い範囲のロールと材料界面の全域が境界的潤滑膜で覆われなくなり, 一部が水潤滑と同等の領域存在する混合潤滑での摩擦係数のロール表面粗さの影響について考察する。

Fig.16(b)に示す潤滑モデルのように接触界面の全域が潤滑膜で覆われなくなり, 一部が水潤滑と同等の領域存在する場合, 摩擦係数 μ_m は

$$\mu_m = (1 - \alpha)\mu_b + \alpha\mu_w \dots \dots \dots (4)$$

で表すことができる⁷⁾。ここで, α は水潤滑領域の比率および μ_w は水潤滑のときの摩擦係数である。ロールの表面凹凸を考慮入れると, 表面凹凸をもったロール表面に覆われた潤滑膜のうち凹部にトラップされた潤滑膜がロールと材料界面に持ち込まれ, 水潤滑の領域を α' ($\alpha > \alpha'$)に減少させることが考えられる。そのときの摩擦係数 μ'_m は式(4)より

$$\mu'_m = (1 - \alpha')\mu_b + \alpha'\mu_w \dots \dots \dots (5)$$

で表すことができる。この条件では, 式(5)の μ'_m は式(3')の μ_m よりも低い摩擦係数となる。

一方, ロール表面の表面突起の掘り起こしによる摩擦係数を μ_p とすると, この条件での摩擦係数 μ' は

$$\mu' = \mu'_m + \mu_p \dots \dots \dots (6)$$

と表すことができる。

以上からエマルジョン濃度の低い場合のロール表面粗さを考慮したとき摩擦係数 μ' は式(3')および(4)より

$$\mu' = (1 - \alpha')\mu_b + \alpha'\mu_w + \mu_p \dots\dots\dots (7)$$

と表すことができる。

この式(7)よりエマルジョン濃度0.1%のFig. 9の圧下量を0.1から0.5 mmに変化させたときの摩擦係数およびFig.15のロール速度を30から70 m/minまで変化させたときの摩擦係数のロール表面粗さ依存性について次のように説明することができる。

式(7)の右辺の第1項および第2項よりロール表面粗さの増加とともに凹部にトラップされた潤滑油の接触域に持ち込まれる量が増加し、境界的潤滑膜の比率が増加することにより摩擦係数が低下する。しかし、ロール表面粗さが大きくなると式(7)の右辺の第3項よりロール表面突起の材料表面への掘り起こしにより摩擦係数が増加する。その両者の摩擦係数のロール表面粗さ依存性によりFig. 9およびFig.15の実験結果で示されるようにロール表面粗さが0.2 μmのあたりで摩擦係数が最も低くなることが考えられる。Fig.15においてロール表面粗さ0.8 μmのロール速度80 m/minの摩擦係数が高いのは、ロール表面粗さが大きくなり、ロール速度の増加により界面でのロール表面と材料表面との相対すべりが増加することによりトライボロジ的に苛酷な条件になり、水潤滑の領域の一部が金属同士の接触することが予想され、摩擦係数が高くなることが考えられる。

以上の結果から、実際の熱間圧延の実機においてエマルジョン濃度が1%以下の低濃度の範囲において使用する最適の実機のロール表面粗さについては次のように考えることができる。実機のロール表面粗さとしては、ロール表面の凹部にトラップされる境界的潤滑膜効果が期待でき、表面突起の掘り起こしの影響があまり大きくない0.2 μm Ra程度のロール表面粗さが実際操作において最も優れたトライボロジー特性を有していると考えられる。

5. 結言

(1) SKD61 ロールの摩擦係数は、ロール表面粗さが0.2 μm Raより粗い場合にはロール表面粗さの減少とともに小さくなるが、ロール表面粗さがそれ以上細かくしていくと、エマルジョン濃度3%の場合にはほとんど変わらないようになり、濃度0.1%の場合には逆に大きくなる。

(2) ロール表面粗さ0.2 μm Raの場合の摩擦係数は、圧下量が0.1~0.5 mmの間に、ロール速度が30~70 m/minの間に、エマルジョン濃度が3~0.1%の間に変化してもほとんど変わらず、また他のロール表面粗さに比べて低い値を示す。そのため、800°Cの熱間圧延用SKD61 ロールの最適表面粗さは0.2 μm Ra程度であると考えられる。

おわりに、本研究は財団法人金属系材料研究開発センター(JRCM)が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの業務委託により実施する「環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術研究体」の研究成果であることを記し、謝辞を表します。

文 献

- 1) K.Nagai: *Q. J. Jpn. Weld. Soc.*, **21** (2003), 142.
- 2) M.Kiuchi: *JRCM News*, **195** (2003), 2.
- 3) J.Ikeda: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **40** (1999), 1031.
- 4) T.Inoue, H.Yamamoto, K.Watanabe, K.Nishida and T.Sugiura: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **49** (2003), 266.
- 5) A.Azushima, W.D.Xue and Y.Yoshida: *Tetsu-to-Hagané*, **93** (2007), No. 5, 367.
- 6) A.Azushima, W.D.Xue and K.Aoki: *Pro. of 9th Int. Conf. on Steel Rolling*, (2006), 103.
- 7) A.Azushima, W.D.Xue and Y.Yoshida: *Ann. CIRP*, **56** (2007), No. 1, 297.
- 8) A.Azushima, W.D.Xue and Y.Yoshida: *Tetsu-to-Hagané*, **93**, (2007), No. 11, 681.
- 9) 山本雄二, 兼田 宏: トライボロジー, 理工学社, 東京, (1998), 41.