

# 新たに開発した熱間圧延型潤滑性評価試験機による 圧延油の潤滑性評価

青木 孝史朗\*・佐藤 智彦\*<sup>2</sup>・小豆島 明\*

Evaluation for Lubricity of Lubricant by Simulation Testing Machine Developed Newly in Hot Rolling

Koshiro AOKI, Tomohiko SATO and Akira AZUSHIMA

**Synopsis** : Recently, rolls made of high speed steel (HSS) which are superior to wear and abrasion resistance are used in many hot rolling mills. However, some troubles are occurred due to by the use of the HSS roll. To solve these problems, new lubricants are developed and the lubricities of them are estimated by using the two-disk testing machine or the pin-on-disk testing machine. But the evaluation obtained by these testing machines are different from one of the actual rolling processing. In order to evaluate the lubricity of lubricant in hot rolling, the simulation testing machine in the laboratory is modified from one for cold rolling. The evaluation performance of the simulation testing machine is investigated into using the SPHC workpiece strip having dimensions of a width of 20 mm and a thickness of 2 mm at a hot rolling temperature of 1030°C. From the experimental results, the lubricity of lubricant in hot rolling can be evaluated by the coefficient of friction measured. The effect of the additive on the coefficient of friction can be also confirmed. The obtained results are as follows; (1) When the mineral oil and one with oiliness additives are used as lubricants, the coefficient of friction increases rapidly with increasing rolling distance. (2) When the oils with the extreme-pressure additives are used, the coefficient of friction is steady over a rolling distance of 1000 mm.

**Key words** : hot rolling; roll; steel; friction coefficient; lubricant.

## 1. 緒言

鋼板の熱間圧延では生産性の向上のために、より苛酷な使用条件に耐えうるロールの開発および潤滑油の開発が行われている。その開発されたロールに関しては耐摩耗性、潤滑油に関しては潤滑性の評価が行われている。耐摩耗性の評価はほぼ定量的に行われている<sup>1)</sup>のに対し、潤滑性の評価はチムケン試験機のような基礎的な試験機による方法、加工状態を模擬的に再現した試験機による方法などにより行われている。しかし基礎的な試験機による方法では塑性変形による新生面の露出、大きな接触面を伴う界面での潤滑油挙動の評価が難しく、また模擬的な試験機による方法では、塑性変形させた接触面で単に相対すべりが生じているだけで、実機相当の相対すべり量などの再現が難しい。この様に実機に対応した定量的な評価は今のところ困難であるため、実機において潤滑性の評価を行わざるを得ないが、その評価結果を他の実機に適用することは難しく、さらにコスト的にも限界があるので、現実的には容易ではない状況にある。

近年、耐摩耗性に優れたハイスロールが広く使用される状況<sup>2)</sup>の中で、圧延荷重が高い、鋼板表面にスケール疵が発生しやすいなどの、ハイスロール特有のトライボロジー問題が生じている。これらの問題を解決するため、二、三

の潤滑油が開発されており<sup>3-5)</sup>、それらの潤滑性の評価が従来の方法で行われている<sup>6)</sup>。その方法では定量的に精度良く評価することは難しく、実験室用小型圧延機による潤滑性評価<sup>7,8)</sup>も行われているが、実機相当の潤滑状態が再現されているか注意しなければならない。この様に実機相当の潤滑状態を再現可能にし、より容易に潤滑性の評価可能な評価試験機の開発が必要であろうと考えられる。

そこで、著者らは実験室レベルで熱間圧延のシミュレーションすることを目的に、熱間圧延型潤滑性評価試験機を開発した。その試験機の開発過程、ならびに本試験機を用いて鉱油および各種添加剤を加えた圧延油の潤滑性の評価を行い、評価試験機の特性を調べた。

## 2. 評価試験機の概要

今回開発した熱間圧延型潤滑性評価試験機は著者らの一人が開発した冷間圧延型潤滑性評価試験機<sup>9)</sup>を改造したものである。この試験機は小型ながら実機と同等の相対すべり速度が得られ、加工中の摩擦係数も容易に求められるという特徴を有している。評価試験機の基本的な仕様はFig. 1に示すように、メインとサブの2つのスタンドからなる2タンデム圧延機である。この試験機にコイル試験材を加熱するため、メインスタンドとサブスタンドの間(820 mm)に

平成10年7月31日受付 平成11年3月15日受理 (Received on July 31, 1998; Accepted on Mar. 15, 1999)

\* 横浜国立大学工学部 (Faculty of Engineering, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai Hodogaya-ku Yokohama 240-8501)

\*<sup>2</sup> 横浜国立大学工学部 (現:トヨタ自動車(株)) (Faculty of Engineering, Yokohama National University, now Toyota Motor Corp.)

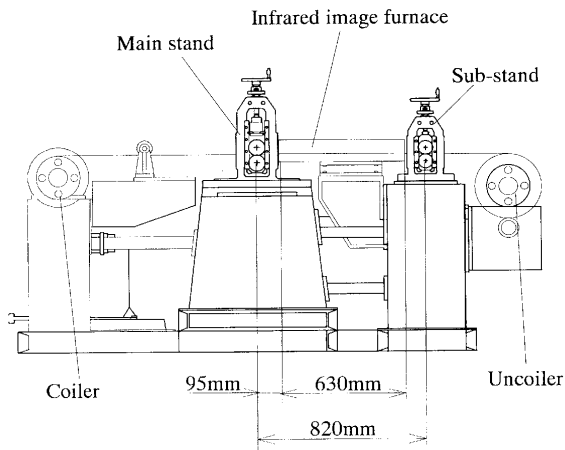


Fig. 1. Side view of the simulation testing machine.

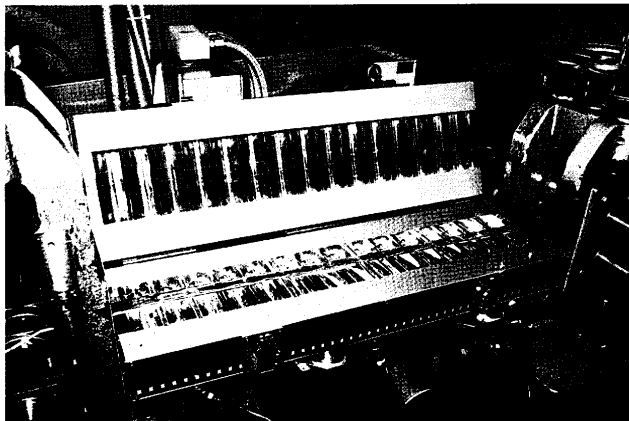


Fig. 2. Photograph of infrared image furnace (opened).

赤外線瞬間加熱炉(630 mm)を新たに設置した。Fig. 2に示すように、この瞬間加熱炉は赤外線ランプを上下に15本ずつ計30本配置している。ランプ1本の仕様は100 V、1000 Wであり、炉全体としての定格は200 V、30 kWである。30本のランプは10本ずつ入側、中央、出側の3つの部分に分割して結線されており、炉内温度の制御は、それぞれの部分に通電する電流を手動で設定して行うことができる。炉内には雰囲気ガスであるアルゴンガスを導入し、赤外線ランプを保護すると同時に供試材の酸化を防止している。また炉出口には、供試材を囲むように断熱材を配置した固定ハウジングを有する遮蔽板を設置し、供試材の空冷による温度低下と、潤滑油が炉内へ侵入することを防止している。さらに圧延後の供試材を空冷による冷却を行うためにメインスタンドとコイラー間に送風機を設置した。

メインスタンドに装着される評価ロールには、種々のロール材質を評価できるように、Fig. 3に示すように取外し可能なリングロールを用いた。リングロールの寸法は外径76 mm、内径48 mm、幅35 mmである。サブスタンドのロールは外径70 mm、幅60 mmの軸付きロールである。

潤滑性の評価は、すべり圧延により測定された圧延荷重とトルクにより求められる摩擦係数によって行う。この圧

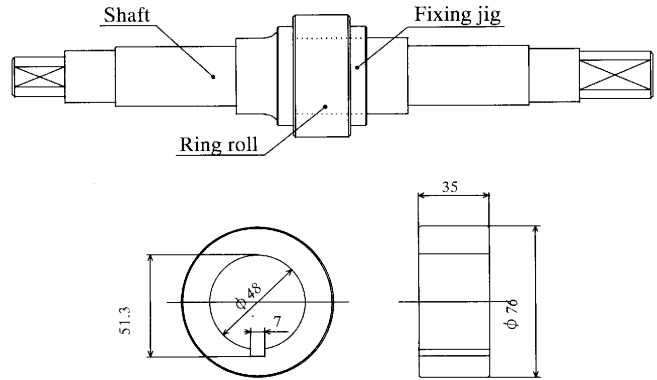


Fig. 3. Schematic of ring roll.

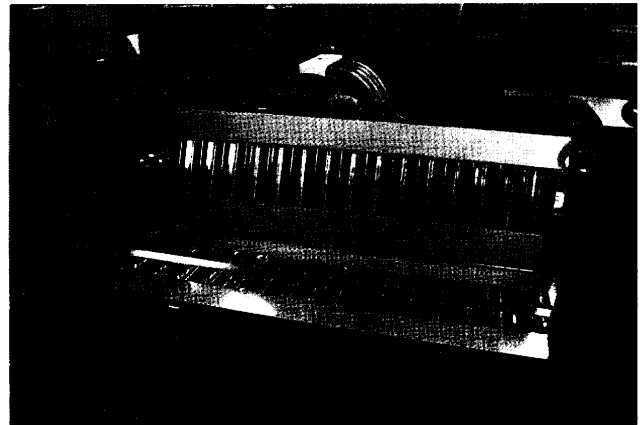


Fig. 4. Photograph of opened infrared image furnace in hot rolling.

延方法は、サブスタンドの圧延により供試材の速度を制御し、メインスタンドの上ロールが供試材の約10倍の周速で回転し、供試材上をすべりながら圧延するものである。この時の下ロールは従動状態である。実験中に測定される圧延荷重 $P$ 、上ロールのトルク $G$ によって摩擦係数 $\mu$ は次式によって導出される。

$$\mu = \frac{G}{PR}$$

ここで、 $R$ はロール扁平を考慮に入れたロール半径である。すべり圧延ではトルクと対応する後方張力が作用するので、その後方張力が大きければ供試材料は伸び、破断する。そのため、本試験機の供試材の断面積はハンドリング可能な限り、できるだけ大きくし、板幅20 mm、板厚2.0 mmとした。材質はSPHCである。

### 3. 評価試験機としての評価

#### 3.1 温度特性

供試材はサブスタンドで圧延され、炉に進入後、徐々に加熱され、炉出口で最高温度に達する。Fig. 4は昇温中に炉を開放した時の炉内の写真である。炉出口で最高温度に達した供試材はロール位置まで到達する間に、その温度は

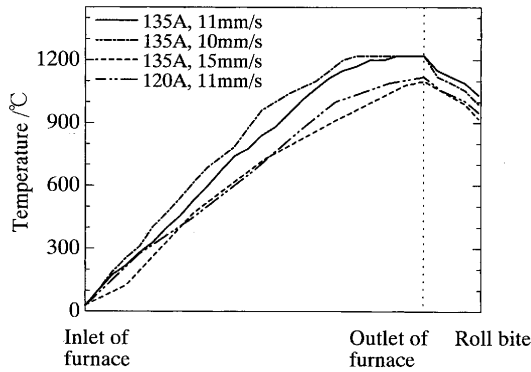


Fig. 5. Strip temperature curve during hot rolling.

Table 1. Strip temperature in hot rolling.

Furnace current	Strip speed			
	10 mm/s	11 mm/s	15 mm/s	18 mm/s
90A	—	800	—	—
	—	700	—	—
105A	1090	1070	—	—
	880	950	—	—
120A	1180	1120	—	—
	1000	950	—	—
135A	1220	1220	1100	840
	990	1030	920	820

Upper : at Outlet of furnace (°C)  
Lower : at Roll bite (°C)

炉出口最高温度から低下する。供試材の温度変化は、炉の通電電流および圧延速度により変化することになるので、瞬間加熱炉によって加熱される供試材の温度変化を測定した。

サブスタンドと炉入口間の位置にある供試材表面にアルメルクロメル熱電対をスポット溶接し、サブスタンドで0.2%圧下し、板速度を10 mm/sから18 mm/sと変化させた。炉へ通電する全電流は90から135Aと変化させて、供試材が炉内を通過させた際の熱起電力を測定した。その代表的な温度測定結果をFig. 5に示す。また全測定結果をTable 1に示す。圧延速度が遅い場合、供試材は十分に加熱されるが、炉出口からロール位置まで移動する間に空冷されロール位置での温度は低くなった。また圧延速度が速い場合は加熱時間が短いため十分に加熱されずロール位置での温度は低くなった。この結果から最も高温な加熱温度が得られる条件は通電電流135A、圧延速度11 mm/sであり、加熱炉を通過することによって1030°Cに達することが分かった。

つぎにメインスタンドにおいて圧延される供試材のロールバイト位置での温度を、移動する供試材表面に熱電対を接触させて測定した。昇温条件は最高温度が得られる通電電流135A、圧延速度11 mm/sとした。Fig. 6に結果を示す。供試材の温度は圧延開始後から圧延距離500 mmの間に600°Cまで加熱され、500 mm以降では600°Cから緩やかに上昇し、1000 mm以降750°Cで安定している。熱電対をス

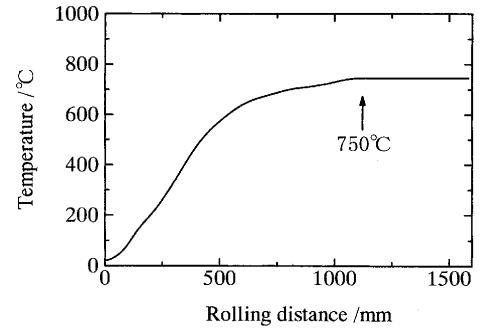


Fig. 6. Surface temperature curve of strip at roll bite.

Table 2. Chemical composition of roll material and hardness.

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	W	Fe	Hardness HRC
High Speed Steel	1.75	1.0	0.6	-	4.0	1.8	3.0	3.8	bal.	57.5
High-Cr Cast	2.7	0.6	0.8	1.0	17	1.5	0.2	-	bal.	51

(wt%)

ポット溶接して測定した場合よりも測定値が低くなったが、これは供試材表面に酸化被膜が生成し、加えて熱電対を供試材の表面上を滑らせたため、熱電対と供試材表面との接触が不十分だったためと考えられる。

Fig. 5において供試材の移動距離は約800 mmであり、これをFig. 6に当てはめると熱電対をスポット溶接して測定した温度は、到達温度の約9割程度ということになる。温度測定の精度を考慮すると、実際の供試材温度は熱電対をスポット溶接して測定した結果よりも、100°C程度上昇することはあっても下がることはなく、この温度値を本評価方法の加工温度としてみなせると考えられる。

以上の温度測定結果から、通電電流135A、圧延速度11 mm/s、すべり圧延距離1000 mm以上という条件で熱間圧延可能な供試材をロールバイトに噛み込ませることが可能となった。

### 3・2 潤滑性評価試験としての評価

潤滑性評価試験機としての性能を評価するため、すべり圧延時の摩擦係数測定の再現性の確認を行った。すべり圧延の速度比（評価ロール周速：サブスタンドロール周速）は10:1とした。評価ロール材質にはハイスを使用した。化学組成および硬度をTable 2に示す。ロールは実験毎に400番のエメリー紙によって研磨し、表面粗さRaを0.1 μmに整えた。供試材には板幅20 mm、板厚2 mmのSPHCのコイル材を用い、圧延温度を1030°Cとした。潤滑油には市販の熱間圧延油を用い、ニートで評価ロールに直接滴下給油した。圧延条件は圧延速度11 mm/s、圧延距離1600 mm、目標圧下率を3.5%とし同一条件下で摩擦係数の測定を行った。

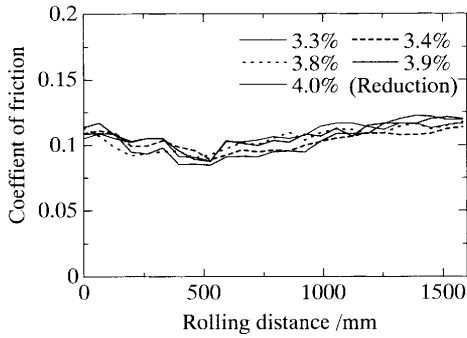


Fig. 7. Friction coefficient curve in hot rolling for reproducibility tests.

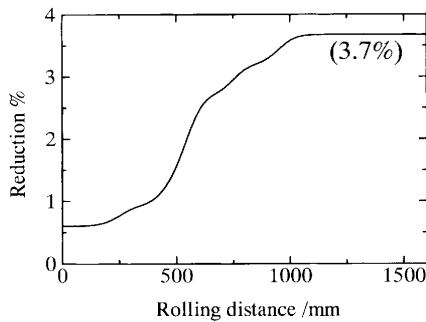


Fig. 8. Changing of strip reduction in hot rolling.

すべり圧延時における摩擦係数の変化の内、5例をFig. 7に、圧延後の供試材板厚から測定した圧下率の変化の1例をFig. 8に示す。

圧下率は圧延距離500 mmまではわずかに増加、その後、徐々に増加し、1000 mm以降で目標圧下率に達し、ほぼ一定となった。Fig. 6の温度変化と併せて考えると、圧延距離500 mmまでは供試材の温度が低いために加工硬化が生じ、そのため圧下率も目標としていた圧下率よりも低い値となったと考えられる。今回の評価方法では、圧延距離1000 mm以降で得られる圧下率を実験により得られた圧下率とした。同一条件下で実験を行った場合の圧下率のばらつきは±0.5%であった。

摩擦係数の変化は圧延開始直後から圧延距離500 mmまでは徐々に減少し、500 mm以降ではわずかに増加、温度が定常となる圧延距離1000 mm以降ではほぼ一定となるという傾向を示した。1000 mmまでは温度、圧下率ともに変化していたため不安定な圧延状態だったが、1000 mm以降では定常状態となり摩擦係数も一定値が得られるようになったと考えられる。同一条件下における摩擦係数のばらつきは±0.007の範囲内であり、摩擦係数測定の再現性は確認できたと判断した。

また、本圧延条件において、圧延後のロール表面に黒皮が発生するといった変化は認められなかった。

以上の結果から新たに開発した熱間圧延型潤滑性評価試験機において、幅20 mm、厚さ2 mmのSPHCを用い、通

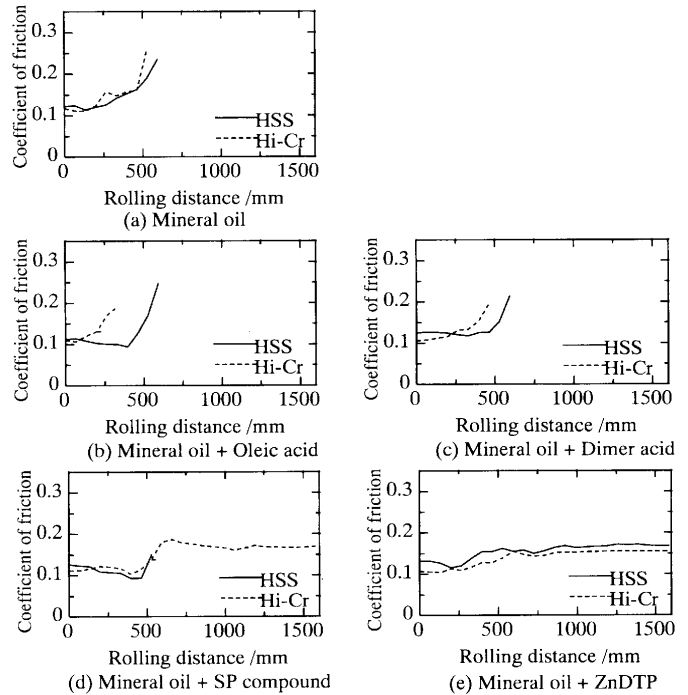


Fig. 9. Friction coefficient curve in hot rolling with various lubricants.

電電流135 A、圧延速度11 mm/s、圧延距離1000 mm以上という条件下で、温度1030°Cにおける圧延油の潤滑性を、熱間すべり圧延による摩擦係数測定によって評価可能であることがわかった。

## 4. 圧延油の潤滑性評価

### 4.1 実験条件

この評価試験機を用い、各種圧延油の潤滑性を摩擦係数により評価可能か、検証実験を行った。用いた圧延油は基油としたパラフィン系鉱油(40cSt: 40°C)単体(a)、基油にオレイン酸(b)、基油にダイマー酸(c)、基油にS-P系化合物(d)および基油にジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZnDTP)(e)をそれぞれ5 wt%添加した5種類である。潤滑方法はニートで行った。評価ロールにはハイスロールおよび高クロム鋳鉄ロールを用いた。Table 2にロール材質の化学組成を示す。ロール表面粗さRaは各試験毎に0.1 mに整えた。供試材には板幅20 mm、板厚2 mmのSPHCのコイル材を用い、圧延温度を1030°C、圧延速度11 mm/s、圧延距離1600 mm、目標圧下率を3.5%とした。同条件で試験を3回以上行い、結果の再現性を確認した。

### 4.2 結果および考察

ハイスおよび高クロム鋳鉄ロールを用いた時の摩擦係数変化の代表的な結果を圧延油別にFig. 9(a)~(e)に示す。

基油(a)および油性向上剤を添加した圧延油(b, c)を用いた場合、ハイスロール、高クロム鋳鉄ロールともに圧延距離1000 mm以降の熱間域に到達する前に摩擦係数が急激に

増加したため実験を中止した。これは評価ロールのトルク上昇に伴い、供試材が破断する可能性があったためである。油性向上剤は摩擦金属表面に吸着膜を形成し摩擦を低減させるものであるが、吸着膜を形成する吸着分子は摩擦面の温度上昇によって脱着されやすくなる<sup>10,11)</sup>。そのため本実験条件では油性向上剤の添加効果が見られず、潤滑性評価は不可能であったと考えられる。

極圧添加剤であるS-P系化合物を添加した圧延油(d)では、高クロム鋳鉄ロールを用いた場合、熱間域での評価が可能であったが、ハイスロールを用いた場合、圧延距離500 mm付近で評価ロールが供試材上で滑りにくくなり、回転トルクが急激に増加したため実験を中止した。Fig. 9(d)における摩擦係数変化では0.15までの値を示しているが、これ以降は上記の現象が生じ、測定データがばらついてしまったためグラフ上では表記していない。ZnDTPを添加した圧延油(e)では両ロールで、熱間域まで評価が可能であった。極圧添加剤は摩擦面の金属表面と添加剤が化学反応し、摩擦面に被膜を形成して摩擦を低減させる効果を有する<sup>11)</sup>。圧延距離1000 mm以降の熱間域で安定した摩擦係数が得られたのは、この効果が現れた結果であるが、ハイスロールと圧延油(d)を組み合わせた場合は、すべり圧延に耐えうる被膜形成に至らなかったと考えられる。

以上、本試験機によって得られた各圧延油の摩擦係数の変化には各種添加剤による効果が現れており、潤滑性の評価が可能であることを示している。

今回の実験で用いた加工条件は、圧延速度も遅く、実機の圧延状態再現には至っていないと考えられる。今後、ウォーター・インジェクション給油を可能にする等の改良を行うとともに実験手法の検討を試み、実機の潤滑状態により近づけて実験を行う必要がある。

## 5. おわりに

冷間圧延型潤滑性評価試験を改良し、実験室用の熱間圧延型潤滑性評価試験機を開発した。評価試験機としての性能を調べ、以下のような結果を得た。

1. この評価試験機では幅20 mm、厚さ2 mmのSPHCを用い、加工温度1030°Cの熱間圧延において摩擦係数による潤滑性が評価可能である。
2. 圧延油に加えた添加剤の効果が確認できた。すなわち圧延油として鋳油のみ、油性向上剤を添加した油を使用した場合、摩擦係数は急激に上昇し、熱間域での圧延は行えず、極圧添加剤を添加した油を用いた場合は潤滑性評価が可能であった。

最後に、本研究は天田金属加工機械技術振興財団の助成によって行われた。また評価ロールは関東特殊製鋼(株)、潤滑油は協同油脂(株)、供試材は川崎製鉄(株)にそれぞれ提供して頂いた。関係者各位に深く感謝致します。

## 文 献

- 1) 阿高松男, 加藤 治, 升田貞和, 後藤邦男, 栗田俊哉, 大畑拓己, 枝松邦明: ホットストリップミル用ロール材質に関する文献調査, 圧延ロール研究会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1993), 57.
- 2) T.Ito, N.Kanayama, Y.Masuda and T.Kawakami: *CAMP-ISIJ*, **9** (1996), 964.
- 3) K.Goto, K.Masui and T.Shibahara: *CAMP-ISIJ*, **7** (1994), 1365.
- 4) 日比 徹, 池田治朗: 熱延潤滑圧延の現状と今後の課題, 創形創質工学会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1997), 32.
- 5) 木原直樹, 伊原 肇: 熱延潤滑圧延の現状と今後の課題, 創形創質工学会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1997), 36.
- 6) M.Otsuka and T.Shimazaki: *J. Jpn. Soc. Tribol.*, **39** (1993), 345.
- 7) 佐々木 保: 熱延潤滑圧延の現状と今後の課題, 創形創質工学会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1997), 32.
- 8) 今井敏夫, 金城昌平: 熱延潤滑圧延の現状と今後の課題, 創形創質工学会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1997), 32.
- 9) A.Azushima: *Tetsu-to-Hagané*, **74** (1988), 696.
- 10) M.Hoshino: *J. Jpn. Soc. Lubr. Eng.*, **29** (1984), 91.
- 11) 改訂版潤滑ハンドブック, 日本潤滑学会編, 養賢堂, 東京, (1987), 278.