

621.791.016.3: 621.892: 532.1

討9 低炭素鋼の冷間圧延油の潤滑挙動の実験室的研究

東京大学 工学部 大学院 小豆島 明[○]
 東京大学 工学部 木原 諄 二
 ” 五 弓 勇 雄

1. はじめに

冷間圧延における潤滑は重要な問題の一つで、製品の表面性状、加工能率におよぼす影響は大きい。冷間圧延の潤滑性を把握する方法としては、まず冷間圧延理論式を用い圧下力から逆算して摩擦係数を求める方法、先進率より摩擦係数を求める方法、最大かみ込み角度から摩擦係数を求める方法などがあるが、¹⁾最近一般には圧下力から逆算して摩擦係数を求める方法が広く用いられている。しかし、その方法で逆算された摩擦係数にしても多くの圧延因子の影響を受けており、潤滑性を正確に測定することは困難なことを考えられている。その原因の一つとして、圧下力を与える圧延理論式が変形抵抗と摩擦係数の変数で与えられているため、摩擦係数を正確に算出するためには変数である変形抵抗を精度良く与える必要がある。そこで、筆者ら²⁾の変形抵抗を精度良く計算できる数式モデルを用いることにより、一方の変数の変形抵抗を既知として圧下力を実測して摩擦係数が精度良く算出できるようになった。更に、ロールの弾性変形、試料の弾性変形を考慮に入れ、スラブ法としての圧延理論式の不備を補うため、圧下力関数の幾何学因子の逆依存性を考慮に入れて形で摩擦係数を逆算する必要がある³⁾。筆者ら⁴⁾はその方法により実験室用高速圧延機を用いて圧下力を実測して摩擦係数を推定した。それにより、冷間圧延の潤滑におよぼす因子としての圧延速度、圧下率に対する摩擦係数の依存性を調べた。圧延速度に対して摩擦係数は依存するが、100 m/min以上ではほとんど一定になる。圧下率に対して摩擦係数はほとんど依存性を示さず一定であった。その結果から、摩擦係数と圧下率の関係を示すことにより、種々の因子に対して圧延の潤滑性を把握しうるパラメータに摩擦係数がなりうることがわかった。

そこで、本研究ではこのような方法を用いて摩擦係数を求めることにより、潤滑油の圧延の潤滑性におよぼす影響について調べてみた。潤滑油の性質としては、組成、粘度、粘度指数、圧縮率、表面張力、油性について考慮してみた。また、摩擦係数ばかりでなく、圧延後の試料の表面あらさも測定し潤滑油の影響について調べた。これらの実験結果を検討し、高速の冷間圧延の潤滑油の挙動について解明する。

2. 実験方法

圧延装置として実験室用高速圧延機を用いた。この圧延機のロール半径は50 mmで、駆動力は油圧制御による高圧空気エネルギーによるもので、ロール軸に巻いたワイヤロープを引張棒で引くことによりロールを回転させるものである。最高速度はロール周速で20 m/secまで出せる。圧延圧力の計算には試料の弾性変形を考慮に入れた式を用い、この時のロール半径はHitchcockの式に弾性変形を考慮した補正式を用いた⁵⁾。

摩擦係数の算出には圧下力関数の幾何学因子逆依存性を考慮に入れたBland & Fordの式⁶⁾を用い、この際の圧延試料の変形抵抗は次式

$$\sigma_f = \sigma_a + e^{0.5} \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{\frac{0.17}{0.14}} \quad \left(\begin{array}{l} \sigma_a : \text{温度, ひずみ速度に依存しない応力成分} \\ \sigma : \text{ボルツマン定数} \\ \dot{\epsilon}_0 : \text{前指数係数} \end{array} \right)$$

を用いた。実験試料としては低炭素アルミキルド鋼の板厚1.0 mmの焼鈍材を用いた。変形抵抗推算のための引張試験はインストロン型引張試験機で行なった。室温で単軸引張試験を二つの引張速度5 mm/min,

50 m/minで行ない。同一温度における二つのひずみ速度に対する変形抵抗を知り、 ϵ_a と ϵ_o のひずみに対する変化を求めた。平均変形抵抗の計算の結果と変形開始温度300°Kの場合について図. 1に示す。

圧延試験片の形状は板幅30 mm, 長さ300 mmの寸法を有している。圧延試験片は石油ベンジンで表面を脱脂後, 80°Cメタ酢酸ソーダ溶液で清浄し, 乾燥を行ない完全に試料表面の油やさびなどを除去した。ロールも圧延前に石油ベンジンで脱脂し, ロール研摩は圧延方向に一定とし, その表面あらさは約0.64 R_{max} である。

使用した潤滑油としては次の二種類である。まず成分と粘度の影響を調べるため、ナフテン系基油、パラフィン系基油、合成エステル系基油の三つの成分をもったもので、それぞれの成分の基油において粘度の異なるもの、潤滑油と試料表面との表面張力の影響を調べるためにグリセリン系基油で表面張力を変えたもの、更に、潤滑油での油性向上剤としての添加剤の影響を調べるため高粘度と低粘度の二つのパラフィン系基油の単味のものとそれぞれに5%オレイン酸を添加したものの計12種類を用意した。それぞれの潤滑油の性質を表. 1に示す。

潤滑油をストレータで圧延し、圧延中の潤滑油と試料の温度は38°Cと一定に制御するため、その一定温度に潤滑油を入れた容器を熱め、その中に試料を挿入した状態で圧延を行ない、温度の制御は±2°Cであった。圧延速度は50 m/minと800 m/minの二つの速度で行ない、圧下率は5~40%とした。

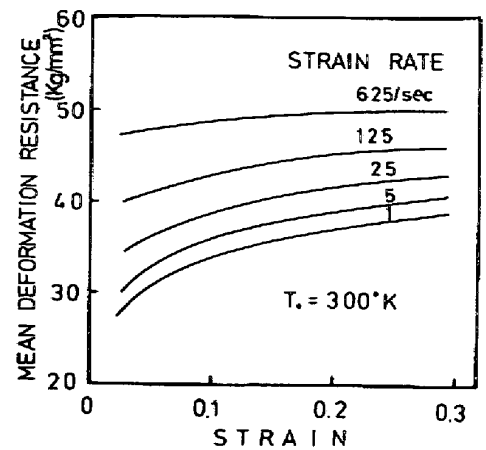


図. 1

表. 1

No.	潤滑油	動粘度 cSt		粘度指数	表面張力 dyn/cm
		38°C	99°C		
1	ナフテン系基油	29.5	4.2	1	38
2		80.0	7.1	20	38
3	パラフィン系基油	29.7	4.6	65	38
4		53.4	7.1	93	38
5	合成エステル系基油	29.4	7.1	233	38
6		15.0	3.6	139	37
7		31.0	3.7	(-)	68
8	グリセリン系基油	31.5	3.8	(-)	26
9		31.8	3.8	(-)	26
10	パラフィン系基油 + 5%オレイン酸	50.5	6.9	103	38
11	パラフィン系基油	4.0	1.5	115	37
12	+ 5%オレイン酸	4.3	1.6	118	37

3. 実験結果

潤滑油の粘度の影響を調べるため、ナフテン系基油の同一成分で二つの粘度(29.5, 80.0 cSt)の異なる潤滑油の摩擦係数と圧下率の関係を図. 2に示す。圧延速度50 m/minの場合には粘度の高い方の摩擦係数が低くはなっており、潤滑性が良くなっている。圧延速度が800 m/minと高速になると、その粘度による顕著な差が認められなくなった。他のパラフィン系基油、合成エステル系基油の場合も同一の粘度による結果が得られた。

次に、No. 1(ナフテン系基油)、No. 3(パラフィン系基油)、No. 5(合成エステル系基油)の同一粘度(30 cSt)の潤滑油を用いて圧延速度50 m/minで行ない、その場合の摩擦係数の結果を図. 3に、圧延速度800 m/minの場合の結果を図. 4に示す。図. 3から圧延速度が50 m/minの場合、粘度が同一

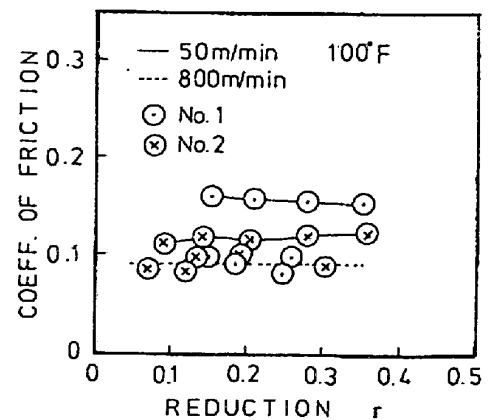


図. 2

であり、潤滑油の成分が異なれば潤滑性が異なっており、ナフテン系基油、パラフィン系基油、合成

エステル系基油の順に摩擦係数が低下している。圧延速度が800 m/minと高速になると、潤滑油による差が認められなくなっている。

表面張力の異なる潤滑油 No. 7, 8, 9 を用いて潤滑油と低炭素鋼の試料間の表面張力について調べた結果を図. 5 に示す。この結果から圧延速度 50 m/min,

800 m/min においても摩擦係数におよぼす潤滑油の表面張力の影響がほとんどないことが示された。実際に用いられている潤滑油の表面張力が 40 dyn/cm 前後であることから、実際の圧延では表面張力の影響を無視してよい。

添加剤の影響について調べるため潤滑油としてパラフィン系基油を、その添加剤としてオレイン酸を用いた。添加剤に対する基油の粘度の影響を調べるため粘度 55.4 cSt と粘度 4.0 cSt の二つのパラフィン系基油 (No. 4, No. 11) を用い、それぞれにオレイン酸を 5% 添加剤として混入させた。図. 6 に粘度の高い No. 4, No. 10 の結果を、図. 7 に粘度の低い No. 11, No. 12 の結果を示す。圧延速度は 800 m/min で

ある。粘度の高いパラフィン系基油は単味の場合も、オレイン酸を添加した場合にも摩擦係数は変わらず添加剤の影響は現れなかった。図. 7 のようにパラフィン系基油の粘度が低い場合には単味とオレイン酸を添加したものでは摩擦係数は異なり、添加剤を加えることにより摩擦係数は低下し潤滑性は良くなる。

用いた試料の圧延前の表面あらかさは $R_{max} 8.0 \mu$ で、ロールの表面あらかさは約 $R_{max} 0.6 \mu$ である。圧延後の試料の表面あらかさについては図. 8 にナフテン系基油の潤滑油 No. 1, 2 を用いた場合の結果を示す。圧延速度が 50 m/min と 800 m/min では表面あらかさに顕著な差を示し、圧延速度の高い方が表面あらかさは大きくなっている。また、粘度による差も圧延速度が 50 m/min, 800 m/min の両方において粘度の高い方の表面あらかさがわずかに大きくなっている。この傾向はパラフィン系基油、合成エステル系基油でも同様である。次に、同一粘度の潤滑油 (No. 1, 3, 5) を用いた試料の表面あらかさの結果を図 9, 10 に示す。圧延速度による差は現われており、圧延速度 50 m/min では三種類の潤滑油による差はほとんどないが、圧延速度 800 m/min では表面あらかさは潤滑油によって異なり、ナフテン系

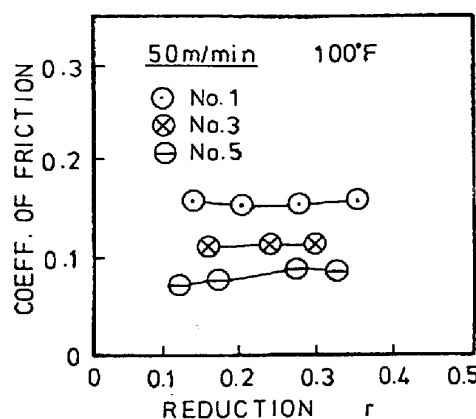


図. 3

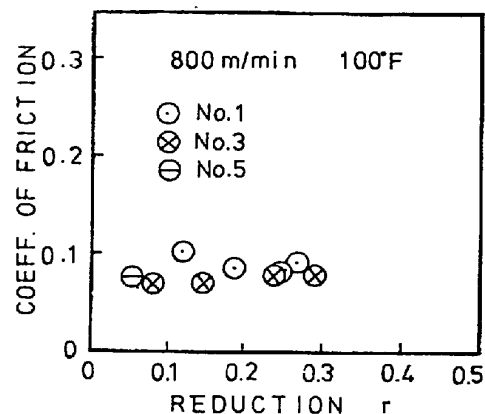


図. 4

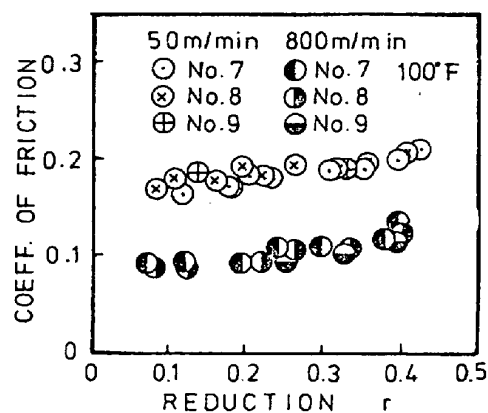


図. 5

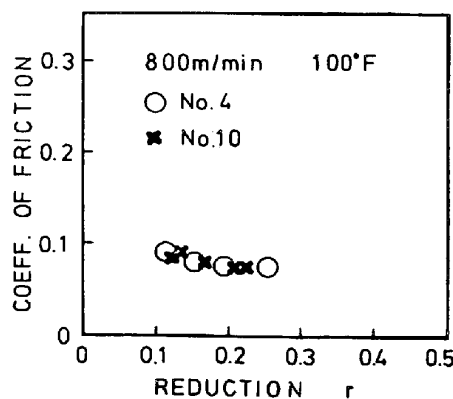


図. 6

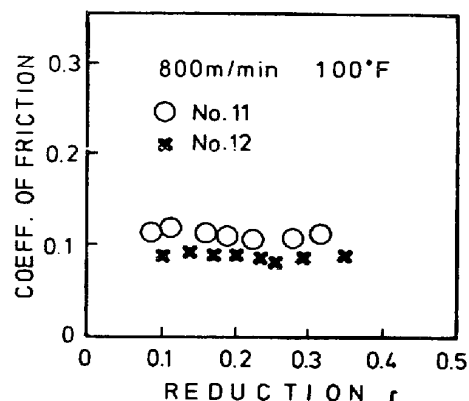


図. 7

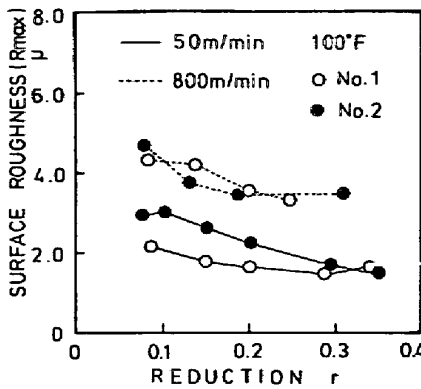


図. 8

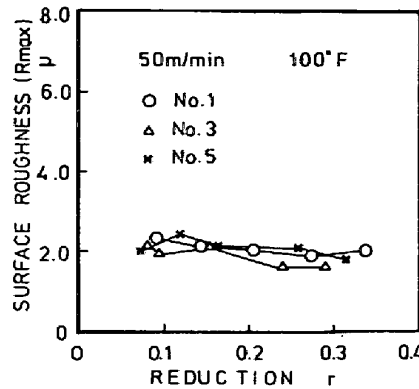


図. 9

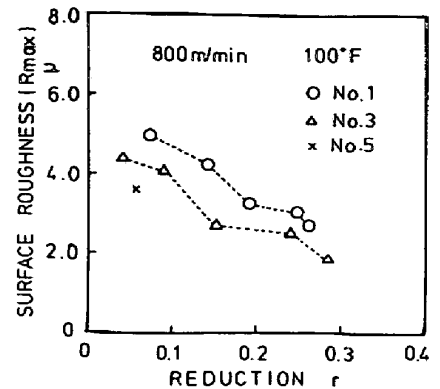


図. 10

基油, パラフィン系基油, 合成エステル系基油の順に表面あざが小さくばっている。

4. 考察

冷間圧延の潤滑性におよぼす潤滑油の影響について, その一つとしてロールと試料の間に引き込まれる潤滑油の引き込み量によるものと, 他の一つとしてロールと試料の間での潤滑油の挙動によるものとが考えられる。図. 2の圧延速度50 m/minでのナフテン系基油の粘度による摩擦係数の差はロールと試料の間に引き込まれる潤滑油の量の差によるものであり, また圧延速度が800 m/minの場合, 圧延速度50 m/minに比べて摩擦係数が低いことも同じく潤滑油の引き込み量が圧延速度の増大とともに増加することによるものであることが理解できる。しかし, 図. 3の摩擦係数の差については他のもう一つの原因を考慮に入れる必要がある。圧延速度が50 m/minの場合, 三種の潤滑油の粘度が同一であるにもかかわらず摩擦係数に差を生じている。しかし, 圧延速度が800 m/minになると摩擦係数にはほとんど差がなくなっている。圧延速度50 m/minの場合, ロールと試料の間に潤滑油が引き込まれる段階は同じであっても, ロールと試料間での潤滑油の挙動の影響によるものである。この圧延条件では境界潤滑性が有為であり, ロールと試料との接触に対する潤滑油の影響を考慮する必要がある。圧延速度が800 m/minの場合, ロールと試料間に十分な潤滑油が介在し流体潤滑性を示しているものと思われるが, 摩擦係数には差を生じなかった。境界潤滑性に対する顕著な差としては図. 6, 7を見ることのできる。図. 6の流体潤滑性を示す高粘度の潤滑油では単味の場合もオレイン酸を添加した場合も摩擦係数には差はなかった。しかし, 図. 7の境界潤滑性を示す低粘度の潤滑油の場合には単味とオレイン酸を添加したものでは摩擦係数に差を生じ, 添加剤の影響を示している。

このような摩擦係数の差は図. 11のStribeck線図の混合(境界)潤滑領域での摩擦係数の急激な変化に対応しており, 図. 12の境界潤滑を示す接触している面積 $\propto A$ での潤滑油によるせん断抵抗の差によるものである。

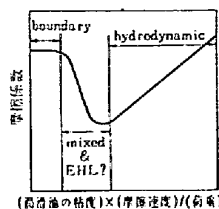


図. 11

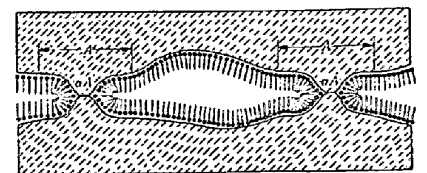


図. 12⁷⁾

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会編:「圧延理論とその応用」, (誠文堂).
- 2) 五子, 木原, 小豆島: 塑性と加工, 14(1973), 12.
- 3) 五子, 木原, 小豆島: 塑性と加工, 15(1974), 264.
- 4) 五子, 木原, 小豆島: 塑性と加工, 15(1974), 400.
- 5) D.R. Bland & H. Ford, J. I. S. I., 171(1953), 245
- 6) D.R. Bland & H. Ford: Proc. Inst. Mech. Eng., 159(1948), 144.
- 7) 木村好次: 塑性と加工, 15(1974), 321.