

論 文

鋼板の冷間圧延におけるロールの粗度低下
に関する検討

© 1987 ISIJ

木原 諄二*・栢田 俊緑*²・萬羽 昭夫*³

Surface Roughness Decrease of Rolls in Cold Rolling of Steel Strip

Junzi KIHARA, Shunroku SUKUMODA and Akio MANBA

Synopsis:

The decrease in surface roughness of rolls in cold rolling of low carbon steel strip was investigated by using drawing-type rolling mill. From the result, the decrease in surface roughness could be reproduced as in practical cold rolling mill. The tests were performed to find the effects of the lubricants, and the materials of strip and rolls on surface roughness of rolls. The obtained results are as follows;

For the same lubrication condition, the decrease in surface roughness of rolls is more rapid in rolling Al-killed steel strip than in rolling rimmed steel strip. That would be due to the higher yield stress of Al-killed steel than that of rimmed steel. The roughness decrease is smaller in the case of paraffinic oil than in the case of octyl-stearate oil for both Al-killed steel and rimmed steel. The decrease in surface roughness of rolls is smaller for rolls containing higher chromium. It has been confirmed by ISOT that the reactivity of iron oxide and iron hydroxide with stearic acid is higher than that with oleic acid. And from drawing rolling experiment, lubricant containing stearic acid shows the higher lubricity and causes larger decrease in surface roughness of rolls than that containing oleic acid. Also lubricant containing iron soap gives larger decrease in surface roughness of rolls.

Therefore, the corrosion wear mechanism plays an important role in the decrease in surface roughness of rolls in rolling of steel strip.

1. 緒 言

連続鍛造材 (アルミキルド鋼) の比率の増大とともに、冷間におけるワークロール粗度低下が、インゴット材 (リムド鋼, キャップド鋼) に比べ著しく大きいためスリップ現象やチャタリングなどの圧延不安定が生じその結果、ロールや板表面の損傷などの問題が顕著に起こるようになった^{1)~4)}。

粗度低下に関する現象の主な要因として、(1) 硬度の高い酸化介在物によるロール表面の研磨、Al が摩擦粉のロール表面への付着や凝着を助長すること^{5)~7)}、また圧延材の硬さの増加に伴う接触面圧の上昇など圧延機構に基づく要因、(2) 潤滑的要因としては、油の粘度、エマルジョン濃度、遊離脂肪酸と鉄との反応による鉄石鹸生成の影響などが指摘されている^{8)~11)}。これらは、潤滑油と鉄との反応性によるという考え、あるいは鉄石鹸による凹凸の凹部が局部的流体潤滑状態に、一方凸部が境界潤滑状態になつて摩擦に差が生じ粗度低下が進行するという考えなどによつて説明が試みられてい

る。

現状ではこれらの要因が提案されているが、一定の実機に近い試験条件で行われる実験によつて総括的に行われた検討結果はない。

本報告では、潤滑的要因を検討するため、連続引拔型圧延機を用いて広い範囲で、圧延材、ロール材質や潤滑油成分のそれぞれの違いによるロール粗度低下挙動を調査し、また、潤滑油成分と鉄およびその酸化物や水酸化物との反応性試験を行つた。その結果に基づいてロール粗度低下を支配する要因に関して考察検討したので報告する。

2. 実験方法とその条件

2.1 圧延試験機および試験条件

圧延試験機として当研究室で開発製作した連続引拔型圧延機を使用した¹²⁾。連続引拔型圧延機の概念図を Fig. 1 に示す。ストリップには、前方張力が加えられ引拔速度が調節できる。上ロールは、アイドリングである。下ロールは、ストリップよりも接触弧全長にわたつ

昭和 61 年 2 月 17 日受付 (Received Feb. 17, 1986)

* 東京大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku, Tokyo 113)

*² 東京大学工学部 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo)

*³ 花王(株)和歌山研究所 (Wakayama Research Laboratories, Kao Corporation)

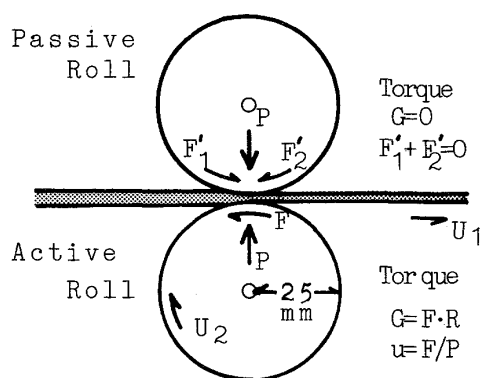


Fig. 1. A schematic representation of the relation between a drawing speed U_1 and a rolling speed U_2 .

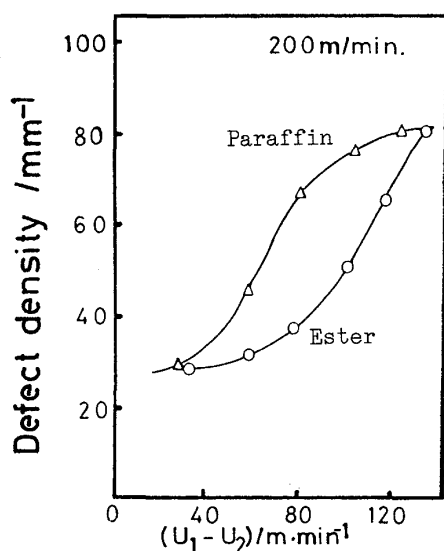


Fig. 2. The relation of defect density and the testing conditions.

て周速を小さく設定することもでき、中立点を入側の外に出して平均摩擦係数をトルク/(荷重・半径)の計算により簡単に求めることができる。

ロール及び板に、本研究で問題としている粗度低下以外の損傷が、特に潤滑油を変えた試験で潤滑油の違いによつて異なつて起こることのないように配慮しなければならない。そのために本研究において圧延条件の設定のため参考にした、本試験機の潤滑評価特性を Fig. 2 に示す。これは、 $(U_1 + U_2) = 200 \text{ m/min}$ のときの相対速度 $(U_1 - U_2)$ と圧延後の板表面の欠陥発生数を示したものである。後述するがこの結果に基づいて、相対速度 $U_1 - U_2 \leq 40 \text{ m/min}$ の欠陥発生特性に関して潤滑油の差の現れない条件を設定することとした。

2.2 圧延ロール

圧延ロールの化学成分とビッカース硬さを Table 1 に示す。SUJ は軸受鋼で、クロムが約 2.5% 含まれている。そのほかクロム含有量が 3%, 5%, 12%, 18% のロールを試験材とした。(以下, SUJ, 3 Cr, 5 Cr, 12 Cr, 18 Cr と称する。) SUJ, 3 Cr, 5 Cr, 12 Cr は、鍛鋼ロールであり、18 Cr は高クロム鋳鉄ロールである。ロール半径は、25 mm である。

2.3 圧延材料

圧延材料は、低炭素アルミキルド鋼とリムド鋼である。板幅は、いずれも 15 mm である。板厚はアルミキルド鋼が 0.3, 0.4, 0.7 mm, リムド鋼が 0.4 mm であつた。(以下, おのおのを 0.3 K, 0.4 K, 0.7 K, 0.4 R と称する。)

2.4 潤滑油

潤滑油の種類と成分を Table 2 に示す。基油はパラフィン系鉱物油、エステルおよび牛脂の 3 種類を使用し

Table 1. Chemical Composition (wt%).

	Spec.	C	Cr	Mn	P	S	Ni	Si	Mo	V	HV(50)
A	SUJ	1.0	2.5	—	—	—	—	—	0.5	—	820
B	3Cr	0.87	3.34	0.46	0.016	0.003	0.30	0.46	0.32	0.09	841
C	5Cr	0.83	4.80	0.64	0.013	0.003	0.30	0.63	0.30	0.03	826
D	12Cr	0.97	12.2	0.50	0.020	0.005	0.26	0.46	1.03	0.52	749
E	18Cr	2.83	18.2	0.97	0.022	0.018	1.03	0.61	2.42	—	846

Table 2. Composition of lubricants (wt%).

Spec.	Base	Additive 1	Additive 2	Fe-Soap*	Emulsifier
Paraffin	Paraffin Oil*2	—	—	—	Polyoxyethylene nonylphenyl ether 5%
Ester	Octyl Stearate*3	Oleic acid 5%	Trioctyl phosphate 5%	—	
Tm	Tallow*4	—	—	—	
To	Tallow	Oleic acid 5%	—	—	
Ts	Tallow	Stearic acid 5%	—	—	
Tff	Tallow	—	—	Tallow fatty acid 5%	
Tfo	Tallow	Oleic acid	—	Oleic acid 5%	

* 5 000 ppm as Organic Iron in lubricants *2 30 cSt at 37.8°C *3 12.8 cSt at 37.8°C *4 Av 0.23, Sv 196.8, Iv 49.1

た。それぞれに添加剤を配合し、非イオン系の乳化剤を 5% 加えた。(以下、各潤滑油をパラフィン油、エステル、Tm, To, Ts, Tff, Tfo と称する。)

パラフィン油はパラフィン系鉱物油のみである。エステルはオクチルステアレート+オレイン酸 5%+中性のオクチルホスフェート 5% である。Tm は牛脂のみである。To は牛脂+オレイン酸 5%, Ts は牛脂+ステアリン酸 5%, Tff は牛脂+牛脂脂肪酸鉄石鹼 8%, Tfo は牛脂+オレイン酸 5%+オレイン酸鉄石鹼 5% とした。この鉄石鹼は複分解法により作製し、5 000 ppm を目標に配合した。なお、ステアリン酸鉄石鹼は牛脂に溶けにくいので実験の対象から除外した。

使用温度は約 60°C とし流量を 300 ml・min⁻¹ とした。エマルジョン濃度は 2% および 3% とした。

2.5 圧延条件

Table 3, 4 に、実験の特徴と圧延条件を示す。

a) 実験 I 潤滑性が及ぼす粗度低下の影響を調べるため、特徴的な二つの潤滑油 (パラフィン油とエステル) により圧延試験を行った。圧延材料は、0.4 R と 0.4 K を使用した。圧延距離は 1 200 m とした。ロール表面は 80 番 エメリー紙で研磨し、粗度を調整した。その測定法は、光切断法を用いた。粗さはサンプル数を 20 点以上とし、各点の R_{max} の平均 2 乗平方根である RMM を用いた。

$$RMM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n R_{max}^2}{n}}$$

Table 3. The Specification of experiments.

Spec.	Roll	Strip	Type of roughness	Lubricant
I	SUJ	0.4R	L*	Paraffin ester
II	SUJ	0.7K 0.4K 0.4R	S*2	Ester
III	SUJ 3Cr 5Cr 12Cr 18Cr	0.4K	L	Ester
IV	SUJ	0.3K	L	Tm To Ts Tff Tfo

* L shows the roughness is made by the abrasion parallel with rolling direction

*2 S shows the roughness is made by shot-peening For both L and S the initial roughness is about 2 μ m in RMS

Table 4. Experimental condition of rolling.

Exper. condi.	Exp. I, II & III	Exp. IV
Drawing speed (m/min)	120	90
Lower roll speed (m/min)	80	70
Concentration in water (vol%)	2	3

圧延速度条件として Fig. 2 より潤滑剤の違いによる欠陥発生数がほぼ同じ $U_1 + U_2 = 200$ m/min, $U_1 - U_2 = 40$ m/min を選択した。

b) 実験 II この実験は、圧延材料の影響を調べるために材質と板厚を変えて行つた。ロール表面は、ショットピーニングにより表面粗さを付け、その測定法は、光切断法を用いた。粗さは、サンプル数を 40 点以上とし、RMM を用いた。そして、傾向が比較できる圧延距離を知るため 1 200 m ごとに、粗度測定をした。圧延速度条件は実験 I と同じである。

c) 実験 III ロールのクロム含有量の相異による粗度低下傾向の変化を調べた。圧延材は、0.4 mm アルミキルド鋼 (0.4 K) を使用し、圧延距離を 4 800 m とした。ロール表面は 80 番 エメリー紙で研磨し、粗度を調整した。圧延速度条件と粗さの測定法は実験 II と同じである。

d) 実験 IV 粗度低下に及ぼす潤滑油の影響を検討するために、潤滑油の添加剤を変化させて圧延実験を行つた。圧延材は 0.3 mm アルミキルド鋼 (0.3 K) を用いた。ロール表面は 80 番 エメリー紙で研磨し、粗度を調整した。粗度の測定は触針式粗さ計を用い、 R_z 値を比較するために採用した。サンプル数は、予備実験により 40 点以上とした。圧延速度は、試料の厚さが小さいため破断を起こさないように、平均速度とすべり速度を低くした。

また、これらの添加剤と鉄・酸化鉄・水酸化鉄との反応性試験を ISOT 試験機を用いて行つた。添加剤のおのについて 5 wt% の試料を入れ、90°C で 17 h 攪拌させ有機鉄の含量を測定した。水酸化鉄は、接触弧内の水分やクーラントとロール表面の酸化鉄との水和反応生成物を想定すれば $Fe(OH)_2$ の方が妥当であるが、安定な試薬が得られないので $Fe(OH)_3$ を用いた¹³⁾。

3. 実験結果

3.1 潤滑剤による比較

Fig. 3 に潤滑剤を変えた実験 I の結果を示す。0.4 K 及び 0.4 R の両者に対して、パラフィン油よりもエステルを基油とする潤滑の方が粗度低下が大きいという結果が得られた。すなわち連続引拔型圧延機により 1 200 m 圧延することによつて潤滑油による粗度低下の違いがでることが分かつた。しかし、この圧延距離ではキルド鋼よりむしろ、リムド鋼の方が粗度低下が大きいとさえみることができる。ここでの重要な結果は、キルド鋼およびリムド鋼を問わず、良い潤滑油の方が、粗度低下が大きいことである。

なお実験 II で行つたショットピーニングロールの粗度

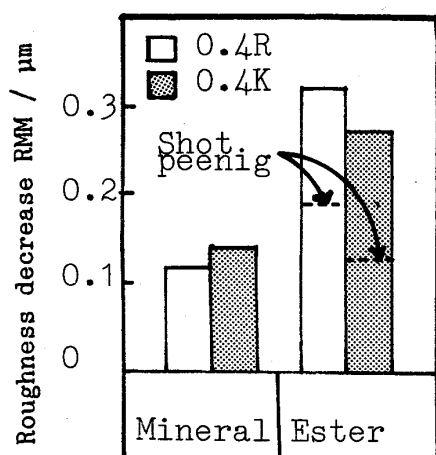


Fig. 3. Effect of rolling material and lubricants on surface roughness decrease.

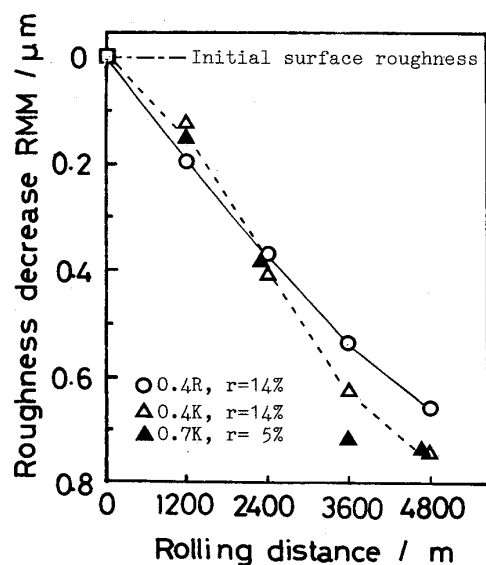


Fig. 4. Effect of rolling material on surface roughness decrease.

低下量は、Fig. 3 に示すと破線の位置になる。これは、エメリー紙により圧延方向に対して平行に研磨されたロールよりショットピーニングによるロールの方が粗度低下の起こりにくいことを示している。

3.2 圧延材質による比較

前節の実験では圧延材による違いは判定できなかった。さらに圧延距離を延長した実験Ⅱの結果を Fig. 4 に示す。図中 r は、圧下率 (%) である。これから、圧延距離 1200 m までは前節と同様の結果であるが、2400 m を越えると一般に言われているようにアルミキルド鋼の粗度低下が大きくなっていくことが分かる。0.7K の試験の粗度低下の傾向は 0.4K と変わらなかった。ここで 0.7K の圧下率が 5% 前後と低かったが、

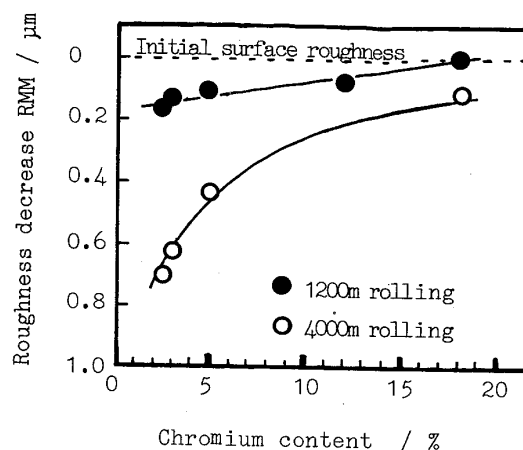


Fig. 5. Effect of material on surface roughness decrease.

これは板厚が大きく引抜応力が小さいためと考えられる。そこで実験の板厚は圧下率をある程度大きくするためには、0.4 mm 程度以下が適当ではないかと考えられる。

ここで、連続引抜型圧延機におけるロール表面の粗度低下は、圧延距離を 3600 m 以上行つたとき、一般に言われているようにキルド鋼の圧延の場合に大きくなることが明らかとなった。

3.3 ロール材質による比較

実験Ⅲの結果を Fig. 5 に示す。クロム含有量が多くなるにつれて、粗度低下は小さくなっている。4000 m 圧延した場合には、とくに 5% まではその効果が顕著であり、それ以上の Cr 含有量の増加は粗度低下を漸減させることが分かる。Photo. 1 に示すように、組織に関してクロム含有量に対して一定の傾向の変化はないし、Table 1 にあるように硬さもクロム含有量に対して一定の傾向を示していない。つまり、ロールのクロム含有量のみが重要な影響を示している。

3.4 油性向上剤による比較

Fig. 6 に実験Ⅳの結果を示す。圧下率は約 20% であった。牛脂+オレイン酸 To 及び牛脂 Tm は、粗度低下が小さい。牛脂+ステアリン酸 Ts は最も大きく、鉄石鹼添加油 Tff、Tfo も比較的大きな粗度低下を示している。この実験においても実験Ⅰの結果と同様に潤滑性の優れた油性剤を含む潤滑油を使用した場合に粗度低下が大きくなっている。鉄石鹼の混合は油性剤の性質によらず粗度低下に影響していることが分かる。また Photo. 2 に Ts 油による代表的な圧延前後の粗さのプロフィールを示す。これより圧延前の●印のようなプロフィールが圧延後なくなっていることが分かる。

Fig. 7 にステアリン酸およびオレイン酸の鉄粉、酸

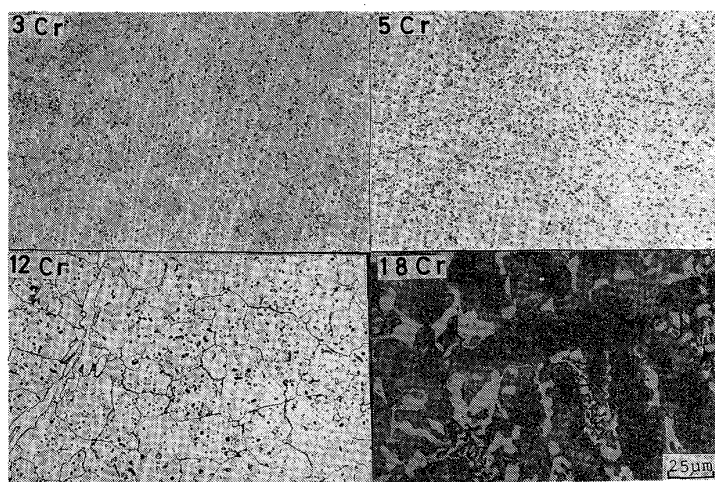


Photo. 1. The photographs of surface of various rolls by micro-scope.

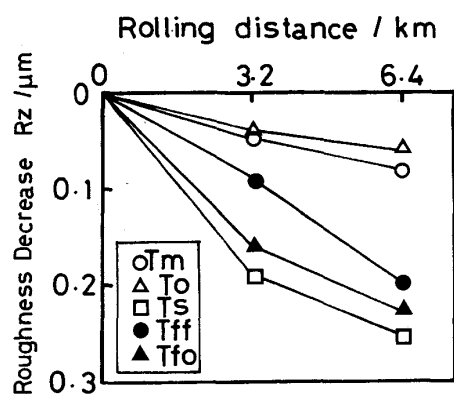


Fig. 6. Effect of component on roughness change.

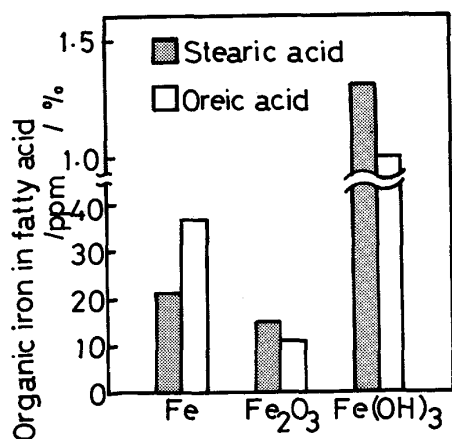
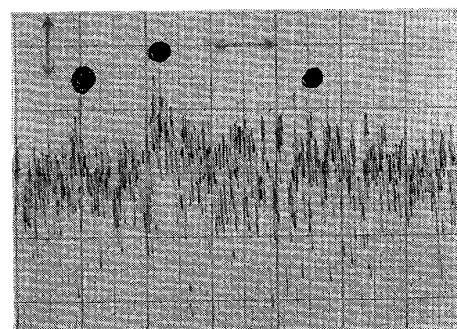


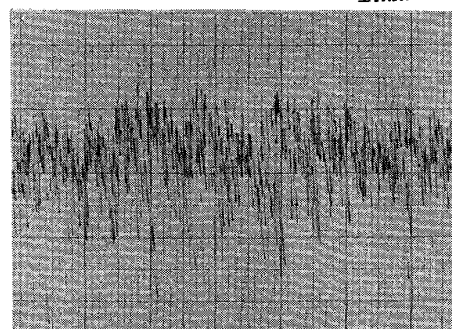
Fig. 7. Comparison of ferric compounds reactivity on fatty acid.

化鉄 (Fe_2O_3) の粉末, 水酸化第 2 鉄の粉末との反応性の試験結果を示す. 鉄粉はオレイン酸との反応性が高く, 酸化鉄粉はほぼ同じで, 水酸化鉄粉については明らかにステアリン酸との反応性が高いことが分かった. 鉄粉は他の研究者らの結果と一致している¹¹⁾.



Initial

1 μm
1 mm



After 3800m

Photo. 2. Roll profile of surface roughness change after 3800 m rolling by using Ts lubricant.

4. 考 察

4.1 連続引抜型圧延機の性能と圧延材質の影響

Fig. 2 に示すように板表面の欠陥発生数が等しい速度条件による圧延において, Fig. 3 に示す結果によれば 1200 m の圧延で潤滑油による差がみられ, Fig. 4 の 3600 m 圧延では鋼種による差が一般に認められている

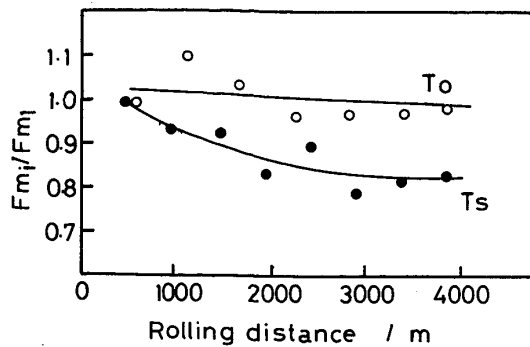


Fig. 8. Mean flow stress of Al-killed steel and rimmed steel.

ようにキルド鋼の圧延の場合大きいことが示された。そこで連続引抜型圧延機を用いるシミュレーション試験において粗度低下を検討し得ると考えることができる。

Fig. 4 に示されている鋼種による相異を検討するために、0.4 R, 0.4 K の動的変形抵抗を評価することにした¹⁴⁾。Fig. 8 に圧延時におけるストリップの平均変形抵抗を示す。これは、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ を 250 s^{-1} 、初期温度を 16°C として引張試験法から求めたものである。このひずみ速度は本試験機におけるストリップの圧延ひずみ速度に対応する。これから、平均変形抵抗はアルミキルド鋼の方が大きいことが分かった。このことは粗度低下が鋼種により異なる原因を考察する上で重要な事実と考えられる。

4.2 潤滑油の成分とロールの化学成分との相関

ロールの粗度低下に対する被圧延板によるロールの機械的研磨以外の要因として潤滑油の成分の寄与が考えられる。Fig. 3, 5 の結果は潤滑油の成分とロール表面皮膜との反応性の影響を示唆している。

Photo. 1 に、実験Ⅱで使用した各ロールの組織写真を示す。3 Cr, 5 Cr, 12 Cr は、初析炭化物を分散させたマルテンサイトの焼もどしをしたものであるが、12 Cr では初析炭化物の成長がみられる。18 Cr は、成長した炭化物とベイナイトが見られる。

すなわち 3・3 で指摘したように金属組織や Table 1 に示した硬さと粗度低下の傾向との関係は見出しにくく、むしろ、粗度低下が単純にクロム含有量のみ依存している。これはロール表面の化学的特性が影響しているのではないかと考えられる。鋼表面のクロムは鉄より酸素との反応性が高く空気中では含クロム鋼またはクロム鉄の表面の酸化皮膜は酸化クロムが主体となる¹⁹⁾。酸化クロムは酸性酸化物であり、酸化鉄は塩基性酸化物であるから、脂肪酸やりん酸エステルから解離した酸類との化学反応性は酸化クロムの方が小さく、一方酸化鉄の方は大きい。クロム含有量の大きいロールの粗度低下が抑制されたのは、りん酸エステルから解離したりん酸などとの反応性が低いのではないかと考えられる。

4.3 油性向上剤の影響

ステアリン酸と鉄石鹼を含む潤滑剤を使用したときにロールの粗度低下が大きくなることが、Fig. 6 に示されている。

まず、ステアリン酸とオレイン酸との場合の相異に関して考察する。前節においても述べたように、酸性の添加剤とロール表面皮膜の反応性が粗度低下に寄与していると考えことは、Fig. 7 に示されている鉄あるいは酸化鉄と酸性の添加剤との反応性の傾向に反している。しかし、もし表面皮膜の形成物が（水和）酸化鉄すなわち水酸化物の状態であれば、表面と添加剤との反応性の強さの順列によつて、粗度低下の順列を説明することができる。本研究ではこの点に注目して実験し検討した。表面皮膜の形成物が（水和）酸化鉄まで進んだ状態であることは十分予想できることである²⁰⁾²³⁾。

つぎに、石鹼の状態の添加物の粗度低下への影響であるが、まず、緒言に紹介した境界一流体潤滑共存モデルについて検討するため、Ts 油および Tff 油をもちいた圧延の圧延開始時のそれぞれの板表面の光学顕微鏡観察を行った。Photo. 3 は同じロールによる Ts と Tff による圧延後の板の表面写真である。これによると潤滑状態はいずれも境界潤滑であり、Ts と Tff による潤滑状態の差はほとんど見られない。従つて、鉄石鹼が局部的

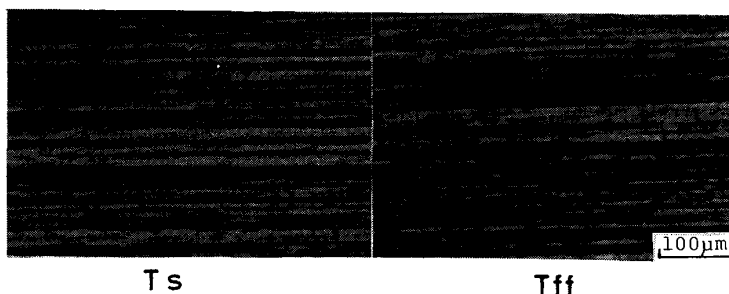


Photo. 3. The photographs of surface after 3 800 m rolling by using Ts and Tff lubricants.

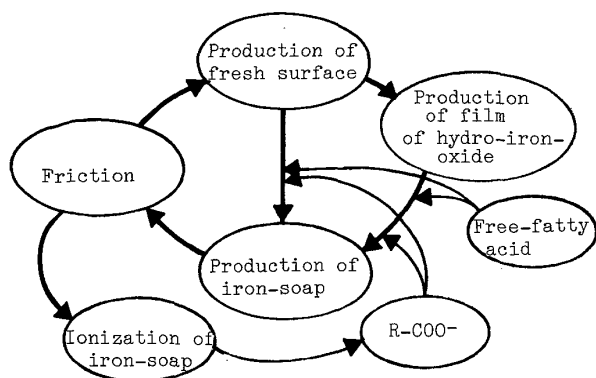


Fig. 9. Mechanism of surface roughness decrease of rolls.

流体潤滑を作り凸部の境界潤滑が粗度低下を早めると言えるほどの差は確認し難く、この現象は本試験機では生じていないと言える。

鉄石鹼が存在する場合の粗度低下促進機構については、化学的な機構の存在が期待されるが、そのような機構の一つとして、鉄石鹼の解離イオン反応²¹⁾による可能性がある。これは、ロール表面における機械的摩擦の中で石鹼がイオン解離し、そのとき生じるオレイン酸イオンがロール表面と反応するものである。オレイン酸単体との相異は、速度論的にイオン解離の時間の必要がないことと空間的に解離位置が反応場所であることから、反応量が高いことが期待できる点にある。ステアリン酸鉄石鹼に関する実験が不可能であつたため、イオン種に関する検討を深められなかつたのは遺憾である。なお参考のため、このような機構の場合のサイクルを Fig. 9 に示しておく。

4.4 総括的考察

以上本研究において得られた結果に関してそれぞれ考察を行つたが、とくに、潤滑剤とロール表面との反応性が粗度低下に重要な役割を有していることが明らかにされた。しかし、一般に言われている、粗度低下がキルド鋼の方がリムド鋼より著しいが、ロールの直径摩耗に関しては、明確な差が認められないという点と、粗度低下機構との関連に関して問題が残されている。

本研究に用いたキルド鋼とリムド鋼との違いの一つは Fig. 8 に示される変形抵抗に関する違いである。このことから、粗度摩耗はアスペリチーの先端がより硬い材料によつて叩かれるから、先端が早く摩滅するという説明が考えられる。これについては硬い材料に叩かれながら直径摩耗に反映しないかという反論が可能である。

さて、直径摩耗を支配するのは、ロール表面直下の層

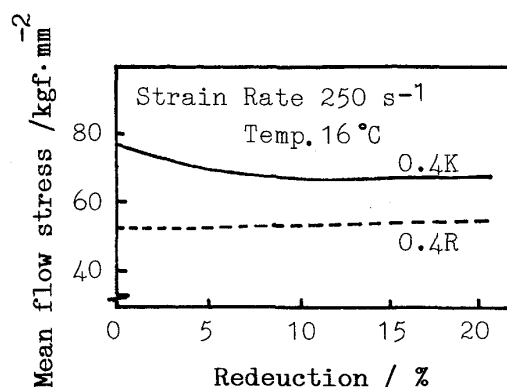


Fig. 10. The relation of friction rate and rolling distance.

における疲労剥離であることが機械要素の接触時について定説となつてきた²²⁾²⁴⁾。すなわち、疲労は材料の硬さと直接関係のある圧力だけでなく摩擦応力との合成で定まる応力状態に支配される。そこで、粗度低下と摩擦応力の低下との関係を調べるため、接触弧内の平均摩擦応力 F_m を圧延距離にたいして測定した。その結果を Fig. 10 に示す。実験は実験Ⅳの Ts 油および To 油を用いた場合についての平均摩擦応力 F_m を次式によつてもとめ圧延距離による変化を示したものである。縦軸は圧延開始時の F_m 値を 1 とし比を取っている。

$$F_m = T / (R \cdot L_d \cdot w)$$

(T : トルク, L_d : 接触投影長さ, w : 板幅, R : ロール半径)

なお、Ts 油の場合圧延開始時の F_m 値は 4.6 kg/mm^2 To 油の場合圧延開始時の F_m 値は 5.6 kg/mm^2 であつた。

3800 m まで F_m 値を求める実験を行つた。Ts を用いた場合は F_m は下がる傾向にあるが To はあまり変化がない。その上、上述のように Ts 油の圧延初期の摩擦応力は To 油のそれをすでに 17% 強下回っている。

そのようなことから、ロールの直径摩耗に対しては潤滑性の良い潤滑剤の防止効果は十分あるが、アスペリチーの先端のような局所では、グローバルな応力状態(圧力、いわゆる摩擦応力)より材料の硬さが決定するローカルな応力状態が支配し潤滑剤と反応して形成された反応生成物がつぎつぎ剥ぎ取られる一種の腐食摩耗が現象を支配すると考えれば、本研究を通して得られた結果ならびに一般にここで取り上げた問題に関して発表されている事実を矛盾なく理解することができる。

5. 結 言

連続引抜型圧延機を使つた実験から次の結果が得られた。

(1) 連続引抜型圧延機により粗度低下試験を行つたところ実機において確認されているアルミキルド鋼の圧延において圧延油の潤滑性の良い場合に粗度低下が大きいことを再現できた。

(2) アルミキルド鋼の圧延でもリムド鋼の圧延でも潤滑性の優れた圧延油の場合、粗度低下が大きい。

(3) ロールのクロム含有量が高いほど粗度低下は小さくなる。

(4) 水酸化鉄との反応性の高い脂肪酸を含む潤滑剤を使用すると粗度低下が促進する。

(5) オレイン酸の鉄石鹼の存在も粗度低下を促進する。

(6) (2) (3) (4) (5) の結果より、粗度低下は凸部の腐食摩耗によるものと推測される。

(7) アルミキルド鋼の方がリムド鋼より粗度低下が著しいのは、変形抵抗が大きいことによると考えられる。

本研究を遂行するにあたり、圧延理論部会冷延潤滑小委員会(委員長 川並高雄氏)において十分な検討の機会及び実験材料の提供の便宜が与えられたことを感謝するしだいである。

文 献

- 1) P. RATTE and J. T. BOUTEILLE: Proc. of Int. conf. on Steel Rolling ISIJ (1980), p. 885
- 2) 柳島章也, 手柴東光, 藤原俊二, 久々湊英雄, 北村邦雄, 安田 顕: 鉄と鋼, **13** (1982), S1204
- 3) 鉄本 紘, 神馬照正, 岩藤秀一, 岡見雄二: 潤滑, **8** (1982),

p. 17

- 4) 北村邦雄, 北浜正法, 安田 顕, 角山浩三, 久々湊英雄, 柳島章也: 鉄と鋼, **13** (1982), S1202
- 5) 大貫 輝, 菊池 勁, 川並高雄, 浅村 峻: 塑性と加工, **23** (1982), p. 990
- 6) 例えば, 鉄鋼材料の摩耗(日本鉄鋼協会鉄鋼基礎共同研究会鉄鋼材料の摩耗部会編)(1984), p. 73
- 7) 安田 顕, 角山浩三, 北村邦雄, 伊藤健治, 久々湊英雄, 柳島章也: 鉄と鋼, **13** (1982), S1203
- 8) 鉄本 紘, 神馬照正, 園田 栄, 山本 昇, 青木智幸, 岩藤秀一: 鉄と鋼, **5** (1983), S377
- 9) 鉄本 紘, 岩藤秀一, 神馬照正, 園田 栄, 辺見 隆, 山本 昇: 鉄と鋼, **13** (1983), S1138
- 10) 鉄本 紘, 尾崎大介, 岩藤秀一, 園田 栄, 辺見 隆: 鉄と鋼, **5** (1985), S295
- 11) 鉄本 紘, 岩藤秀一, 西村 啓, 園田 栄, 辺見 隆, 山本 昇: 鉄と鋼, **13** (1983), S1139
- 12) 木原諄二: 鉄と鋼, **16** (1984), p. 82
- 13) 平井亀雄, 岩崎芳明: 塑性と加工, **20** (1979), p. 911
- 14) 五弓勇雄, 木原諄二, 小豆島明: 塑性と加工, **14** (1973), p. 12
- 15) 例えば, 桜井俊男: 潤滑の物理化学 (1978), p. 146, 160 [幸書房]
- 16) 木原諄二, 栢田俊緑: 鉄と鋼, **13** (1983), S1140
- 17) J. KIHARA, K. NAKAMURA, K. DOHYA and S. SUKUMODA: Advanced Technology of Plasticity, **1** (1984), p. 102
- 18) 木原諄二, 萬羽昭夫, 栢田俊緑, 加藤雅之: 塑性加工学会春季講演論文集 (1983), p. 385
- 19) 長谷川正義監修: ステンレス鋼便覧 (1973), p. 209 [日刊工業新聞社]
- 20) 大谷南海男: 金属の塑性と腐食反応 (1972), p. 43 [産業図書]
- 21) 井本稔: 有機電子論 (1953), p. 45 [共立全書]
- 22) 木村好次: 潤滑, **28** (1983), p. 709
- 23) 曾田範宗: 固体の摩擦と潤滑 (1969), p. 199 [丸善]
- 24) 木村好次: 潤滑, **24** (1979), p. 706