

討16

熱間圧延用潤滑剤の特性に関する一考察

東京大学

木原 諒二

1. 緒言

10年程以前より、鋼板の熱間圧延潤滑の技術開発及び実用化が行われるようになった。ロールの損耗の低減と圧延動力の減少に対して、潤滑がかなりの効果と挙げ得ることが確認されて来た。鋼板の熱間潤滑の技術開発を行うにあたっては、潤滑油の供給法の確立が重要であるが、本報告では潤滑油の効果の問題について扱うことにしたい。潤滑油の供給法については、巻末に関連の文献^{(1)~(3)}を示すにとどめたい。

2. 熱間潤滑の効果に関する従来の考え方

熱間潤滑の効果がどのような理由で生ずるかについて、従来潤滑学の理論を助けと借りたいくつかの考え方が出されて来た。潤滑油を供給しなくても、ロール冷却水のみでもロール表面に黒色被覆が生成したり、あるいは板材表面のスケール厚みがある一定量に達する圧下力閾値が小さくなることなども報告されて来た。⁽⁴⁾

熱間潤滑の効果としてはロール摩耗の低減と圧延動力の減少と挙げることができる。ロール摩耗の低減については現場からの報告が古くからなされている。ロール摩耗を支配する因子としてはロール面圧力と圧延距離が挙げられており⁽⁵⁾、圧延荷重の減少が消極的に寄与することも考えられる。ロール摩耗に対する熱衝撃などの影響について充分知らないので、潤滑油の供給によるロール表面の熱サイクルの変化とロール摩耗量の変化との関係について、論ずることはできない。

圧延荷重の低減の理由としては、潤滑剤の供給により、i) 流体潤滑効果、ii) 境界潤滑効果、及びiii) とiv) との混合効果を考えることが常識的である。しかし、鋼板の熱間圧延という状況を考慮し、潤滑剤のロール接触面内での挙動を考えると、i) とii) とを厳然と区別することも難しい。したがって、ここでは、i) はロールと材料とが物理的に分離されて潤滑効果が生ずるが、潤滑剤とロール又は材料との間には積極的な化学反応を想定しなくてもよい状態での効果、ii) は潤滑剤とロールとの間に想定される積極的な化学反応により形成される減摩性に優れた層の効果、及び水圧延におけるロール表面の黒皮の効果や板材表面のスケールの効果として考えることとする。

熱間圧延に潤滑剤として用いられた鉱物油が、熱重合してポリマーの膜を形成して潤滑効果と発揮するのではないかという仮説はiii) に分類することにする。iii) の効果を挙げるために潤滑油に期待される性質としては、a) 高粘度、b) 熱分解しにくい、c) 熱重合しやすい ということである。

一方、ii) の効果を挙げるためには、潤滑剤の成分が金属又は金属の硫化物乃至水酸化物及び炭酸塩に対して反応性を有する可能性を持つていことである。そのためには熱分解により化学反応性を有する成分を生ずることも望ましい。

3. 本報告の目的

本報告では熱間潤滑剤として、鉱油、油脂、鉱油+油脂、鉱油+脂肪酸の各種を用い、実験室での圧延でなるべく実機での速度と圧下率をシミュレートした条件で試験を行った結果に基づいて、上記2で述べた各項について評価を与えようと思う。なお、この実験では昭和石油(株)中研の渡部・銅屋・渡辺の各氏の協力^{(6)~(7)}を得ている。

4. 熱延潤滑における流体潤滑効果

熱間圧延においても、潤滑油による流体潤滑効果が期待できる。圧延中のロール表面温度の推移と、潤滑油の粘度の温度と（圧力）依存性とを考慮し、かつ圧延速度範囲と適当に選ぶことによって、流体潤滑を実現することができる。材料表面は圧延温度で 900°C 以上になっているが、ロール表面温度はかなり低速の圧延でも 500°C 内外にとどまり⁽⁸⁾、鉱油も分解して無効になることがなく、流体膜として潤滑に寄与することができる。このことの証明となるデータは図1から図3に示す。図1は表1に示す4種類の鉱油を用いて、圧延速度 2 m/sec 、圧下率 $15\sim 50\%$ 、圧延温度 900°C の条件で求めた圧延圧力である。材料はSPH1 4 mm 厚、ロール直径は 100 mm である。A油とB油はパラフィン系鉱油に富み、C油とD油はナフテン系鉱油に富む。特にD油は 1000°C のクランキングにおいて生き残ったナフテン系鉱油とほぼ全量含むものである。図2は、他の条件と同じにして圧延速度 0.2 /sec としたものである。図1と図2とを比較して言うことは、表1を参考にして、圧延速度 2 m/sec の時は、圧延圧力は使用鉱油の粘度に依存しているようであるが、同一粘度であればパラフィン系とナフテン系とはあまり差がみられない。一方圧延速度が低いと、潤滑条件はより境界的になるがその場合は、鉱油間の差がほとんどなくなってしまふ。これら二つのことが分かる。すなわち、鉱油が潤滑剤として効果があるのは、流体潤滑が可能の場合に限られるのではなからうか。図3は図1の結果とすべて同一圧下率での圧延圧力に内挿した上、各鉱油の 210°F (100°C) 粘度と無潤滑時の圧延圧力からの減少百分率との関係を示したものである。これから、熱間圧延における鉱油の流体潤滑効果は、ある程度高温における粘度により推測できるものと期待される。

表1. Properties of mineral oils

Lubricants		A	B	C	D
Viscosity (cst)	37.8 ($^{\circ}\text{C}$)	26.61	2520	388.1	38.35
	98.9 ($^{\circ}\text{C}$)	4.70	37.75	27.20	3.93
Viscosity index		103	-106	102	-199
Molecular weight		386	425	698	278
Chromato analysis (%)	Saturate	88.7	14.6	86.6	1.0
	Aroma, resin	11.3	85.4	13.4	99.0
Flash point ($^{\circ}\text{C}$)		226	258	322	176
Acid value (mg-KOH/g)		0.02	0.05	0.02	0.01

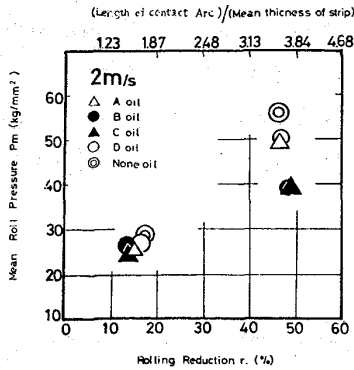


図1. Relation between mean rolling pressure, P_m , and rolling reduction, r
Lubricant: mineral oils A, B, C, D and dry
Rolling speed: 2 m/s

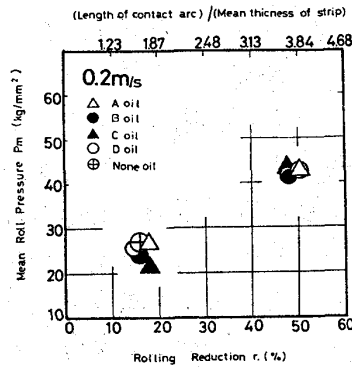


図2.

Lubricant: mineral oils A, B, C, D and dry
Rolling speed: 0.2 m/s
Relation between mean rolling pressure, P_m , and rolling reduction, r

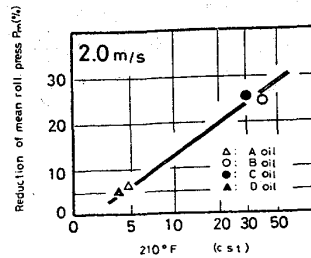


図3.

Rolling speed: 2 m/s
Relation between reduction of P_m and viscosity of mineral oils

5. 熱延潤滑における牛脂の境界的潤滑効果

鉱油における実験結果と対照的に、図4及び5に示す如く、牛脂及びその構成成分による潤滑効果は圧延速度によらず認められる。用いた牛脂系潤滑剤の諸性質は表2に示す。

実験における給油法はロール面に板バネで密着させたフェルトに含浸させ塗布する方法であるので、牛脂中の固型成分である脂肪の飽和部分による潤滑の 2 m/sec における効果がよく分かることは、この給油法の欠点が反映したためと考えられよう。このことを考慮すれば、牛脂

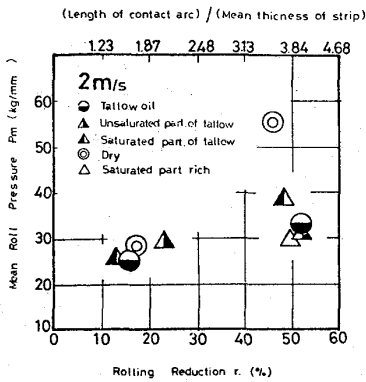


図4 Relation between mean rolling pressure, P_m , and rolling reduction, r

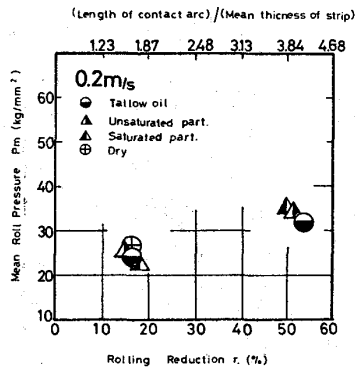


図5 Relation between mean rolling pressure, P_m , and rolling reduction, r

延速度 2 m/sec で、圧延圧力減少百分率にして 5% 程度であることが示されている。そこで、牛脂を添加することにより A 油の潤滑効果がどれ程改善されるかと検討した。図 6 に A 油に牛脂の液状成分 (表 2: Unsaturated Part) を加えた時、圧下率 46% における圧延圧力減少の様子を示す。これにより、添加量 20% で添加効果が飽和することが分った。

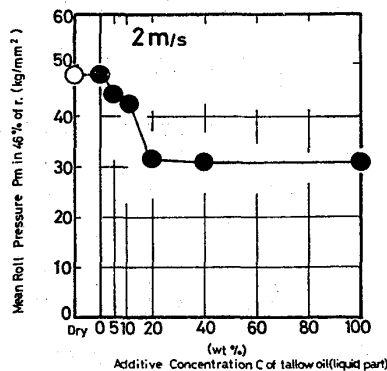


図6 Relation between mean rolling pressure, P_m , at 46% of reduction and additive concentration, C , of tallow oil (liquid part)

の各成分による潤滑効果はほぼ同等と考えることができる。

表 2 Properties of tallow oils

Lubricants		Tallow oil	Saturated part	Unsaturated part	Saturated part rich
Viscosity (cst)	37.8 (°C)	(46.0)	(52.5)	45.64	47.41
	98.9 (°C)	9.31	9.99	8.80	8.99
Viscosity index		(204)	(193)	195	186
G.C analysis (%)	Saturated	52.92	82.61	28.09	53.52
	Unsaturated	46.35	15.12	71.34	46.14
	Others	0.73	2.27	0.57	0.34
Flash point (°C)		322	320	319	321
Iodine value		47	20	69	48
Acid value		0.19	0.08	0.10	0.10
Saponification value		200	200	200	200
Melting point (°C)		18~22	54~57	-2~1	15~20

Values in parentheses are determined by extrapolation.

表 2 から 210°F に 100

°C) 粘度を読み、図 3 にあてはめると 2 m/sec の圧延速度では、 P_m を 10% の圧延圧力低減効果を見積ることができる。しかし、図 4 では、圧延圧力低減効果は 40% 程度に達しており、従って牛脂系潤滑剤の効果は先に述べた如く境界的であると結論できると考えられる。

表 3 に、鉱油と牛脂とを 450°C と 550°C とに於て熱分解試験を行った結果を示す。鉱油は当然のことながら何ら活性な成分を生じないが、牛脂は多量の脂肪酸を生ずることがわかる。このことから、熱延潤滑における牛脂の潤滑効果は脂肪酸による境界潤滑効果と考えることができる。

表 3. a) Properties of mineral oils by heat-stability test

Temp.	Lubricants (100°F)	A	C	D
Before test	Vis. (cst)	26.6	388	38.4
	A.V	0.02	0.03	0.01
450°C	Vis. (cst)	21.2	229.7	40.0
	A.V	0.04	0.03	0.01
550°C	Vis. (cst)	1.11	1.16	30.0
	A.V	0.03	0.04	0.01
IR. spectral analysis		Formation of olefine	No change by heating	

Heating time: 30 min

表 3. b) Properties of tallow oils by heat-stability test

Test Condition	Before test	After test (free fatty acid formed)			
	Saturated part rich	Saturated part	Saturated part rich	Unsaturated part	
Acid value		0.10	145	138	146
G.C analysis (wt%)	C_{12}	3.4	12.8	14.3	21.6
	Saturated acid	54.9	66.2	60.5	43.7
	Unsaturated acid	37.3	18.5	21.8	32.7
	Others	4.4	2.5	3.4	2.0
Free-fatty acid conts. calc'd from A.V. (%)		—	63.3	61.8	60.4

Heating temp.: 450°C, Time: 30 min

Data before test shows analytically calculated for fat and oil itself and one after test for free fatty acid formed.

今後の問題としては、鉱油の比較的高温における粘度を目途として、鉱油に対するある特定の添加剤の効果の添加量依存性が、鉱油の粘度によりどのように変化するかを系統的に調べ、チャート

にしておくことが課題としてある。本実験の場合は、鉱油単体として殆ど潤滑効果のないものを選び、潤滑効果は添加した牛脂の効果として認識できるようにしたわけである。

7. 鉱油の潤滑効果の脂肪酸添加量依存性

牛脂の潤滑効果は、熱処理に分解して生ずる脂肪酸の境界潤滑効果によるであろうと5.において述べた。そこで、潤滑効果のないA油に長さの異なる直鎖脂肪酸(飽和)各種と、炭素数18で直鎖で飽和度の異なる脂肪酸各種、及び炭素数18で分枝をもつ飽和脂肪酸を添加し、添加効果の飽和する濃度と、飽和濃度における潤滑効果の比較を行った。表4に添加した脂肪酸を示す。

表4. Properties of fatty acid

	Molecular formula	M. P (°C)	A. V (mg·KOH/g)
Caprylic acid	$C_7H_{13}COOH$	16.4	389.3
Capric acid	$C_9H_{17}COOH$	31.0	325.2
Lauric acid	$C_{11}H_{21}COOH$	43.5	280.1
Myristic acid	$C_{13}H_{25}COOH$	53.5	246.0
Stearic acid	$C_{17}H_{33}COOH$	67.5	197.3
Oleic acid	$\Delta^9-C_{17}H_{33}COOH$	8.0	198
Linolenic acid	$\Delta^{9,12}-C_{17}H_{31}COOH$	5.0	200

図7は飽和直鎖脂肪酸の添加濃度と圧延圧力低減百分率の関係である。図6を参考に比較すると、牛脂の場合より低濃度で添加効果が飽和することが示されている。これは、濃度が重量パーセントで示されているため、脂肪酸基の数という観点で見れば、同等のこととして評価できる。図7から各飽和直鎖脂肪酸の飽和効果を読みとり、各脂肪酸の炭素数に対して図示したのが図8である。これから炭素数14が脂肪酸として効果を充分發揮できる最小の分子長さであるといえる。しかし、潤滑剤単位体積当りの脂肪酸分子数は炭素数4より炭素数18の方が少なくなることは念頭においておく必要がある。図9は、炭素数が同一で、飽和度と分枝の有無が潤滑効果に対して有する影響を調べた結果である。これから、飽和度の高い程、また分枝より直鎖である方が、潤滑効果が大きいことが確認された。不飽和構造であれば熱重合による高分子形成による潤滑効果の促進が期待されているわけであるが、この結果からは、そのようなことの可能性は否定されている。

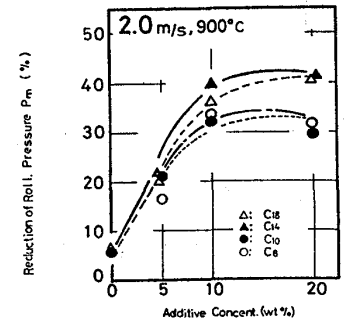


図7. Relation between reduction of Pm and additive concentration
Lubricant: saturated fatty acid + A oil

8. 今後のために.

以上、実験室で昭和石油のグループと共同で行って得られた結果を紹介した。今後、現場で得られた情報とあわせて解析するならば大きな成果が得られるであろうと思われる。その為にも現場のデータで明示されることが望ましいのは、① 鉱油の比較的高温での粘度特性、② 含まれている脂肪酸基の量とタイプ、炭素数、③ その他リン酸・スルホン酸基の濃度及び結合しているアルキル基のタイプ、炭素数 である。

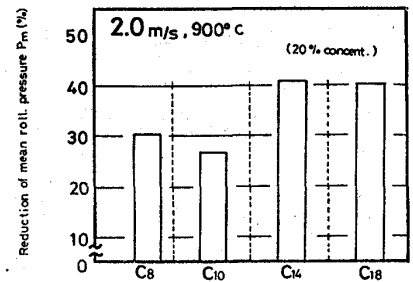


図8. Reduction of Pm for saturated fatty acids

住友金属のグループにより報告されている⁹⁾潤滑効果の特性や累積性の平定も今後述べた潤滑油についての情報が明示されるならば、本報告の立場からも討論に参加できよう。

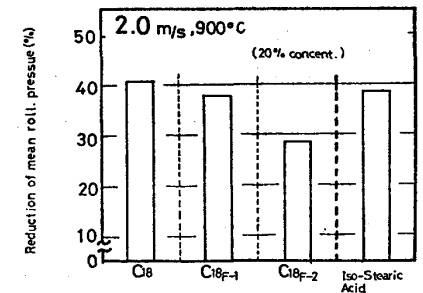


図9. Relation between reduction of Pm and saturation of C₁₈-acids

《文献》① M.R. Edmundson; Iron & Steel Engrs. (1970) ② 峰谷他; 製鉄研究 (1972) 10296~10309, ③ 神居他; 鉄と鋼 60 P.126
④ A.K.E.H.A. EL-Kalay 他; J.I.S.I 206-2 P.152, ⑤ C.L. Robinson 他; 1974年国際トライボロジ会議報告書, P.389.
⑥ 木原他; 鋳造と加工, 17 P.791 ⑦ 木原他; Trans. I.S.I.J. 18 P.166. ⑧ N.Hase 他; Preprint of JSLE-ASLE Int. Lubr. Conf. Tokyo (1975) June.10 P.187