

討12 高速圧延油の耐ヒートスクラッチ性の評価と防止剤（油性向上剤）の検討

住友金属工業(株) 中央技術研究所 間瀬俊朗 河野輝雄 山本秀男  
 和歌山製鉄所 上野茂次 田島 滋  
 鹿島製鉄所 衛藤博之

I 緒言

高速圧延油の耐ヒートスクラッチ性のラボ的評価方法は多くの研究者により試行錯誤的に検討されて来た。筆者らは各種油性試験機により評価の可能性を検討してきたが、パウデン試験機による摩擦挙動に注目すると実機におけるヒートスクラッチ発生の難易を予測しうることを現象的に確認した。本報では、圧延油の耐ヒートスクラッチ性評価にパウデン試験が有効であることを見出した経緯とパウデン試験による油性向上剤の研究とについて報告する。

II 耐ヒートスクラッチ性の評価方法

II-1. 従来の潤滑性評価方法

冷間圧延において発生するヒートスクラッチは写真1に示すような圧延油の油膜切れから生ずる鋼板とロール表面との焼付による疵であり、一般に高圧下率でかつ高速圧延時に多く発生するため圧延能率を著しく阻害している。従来から行なわれている潤滑性の評価方法としては、振り子試験機による摩擦係数の測定、ティムケン、四球試験機に代表される油膜強度（耐荷重能）の測定、あるいは小型モデルミルでの圧延による伸び率および圧延荷重の測定等がある。しかしこれらの測定結果は図1と表1～表2に示す如く実機圧延時における圧延油の耐ヒートスクラッチ性とあまりよい相関がない。すなわち図1では、モデルミルで5パス圧延（同一ロールギャップ）した場合の総圧下率と実機でのヒートスクラッチが発生しない最高圧延速度とが必ずしも対応していない。また表1および表2では、四球試験機で得られる油膜強度が高い圧延油でも実機での耐ヒートスクラッチ性が劣る場合もあることを示している。

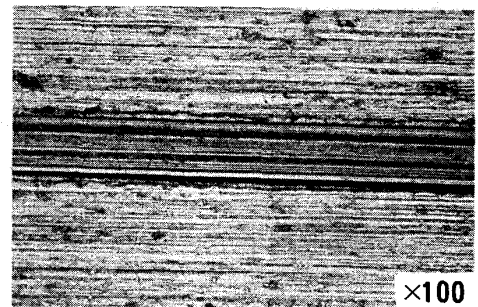


写真1. 実機でのヒートスクラッチ

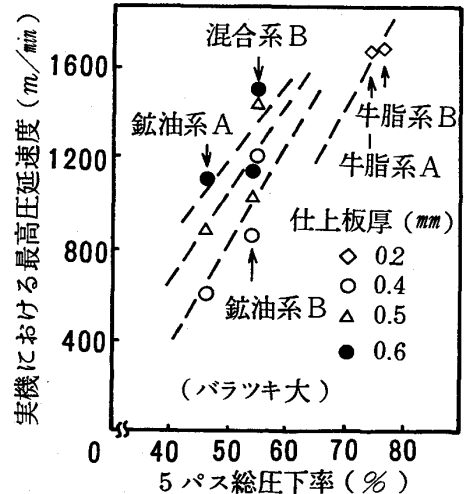


図1. モデルミル圧延結果と実機性能

表1. 四球試験結果と実機性能(1)  
(試験温度; RT)

圧延油	油膜強度	実機耐ヒートスクラッチ性順位
鉍油系A	4.0 kg/cm <sup>2</sup>	3
鉍油系C	8.0	4
混合系A	6.0	2
牛脂系A	7.5	1

回転数; 200rpm, 荷重; 0.5kg/cm<sup>2</sup>ステップ

表2. 四球試験結果と実機性能(2)  
(試験温度; 200°C)

圧延油	油膜強度	実機耐ヒートスクラッチ性順位
鉍油系A	8.0 kg/cm <sup>2</sup>	4
混合系A	2.0	2
混合系B	7.5	2
牛脂系B	8.0	1

回転数; 200rpm, 荷重; 0.5kg/cm<sup>2</sup>ステップ

II-2. バウデン試験機による評価方法

(1) バウデン試験機概要

図2にバウデン試験機の概略を示す。この試験機は加熱した鋼板に鋼球を荷重(P)で押付け、鋼板を水平方向に摺動させ鋼球に働く摩擦力(F)を求めて摩擦係数 ( $\mu = F/P$ ) を測定する試験機である。

ティムケン試験機、四球試験機、振子試験機等は塑性変形量の少ない試験法であるが、このバウデン試験法は軟質鋼板表面を鋼球が掘り起しながら往復運動するため塑性変形で生じた新生面での境界潤滑膜強度が評価できるものと推定される。

(2) 耐ヒートスクラッチ性の評価方法

実機での耐ヒートスクラッチ性をバウデン試験機で評価しようと試み、実機と類似の焼付疵を発生させる試験条件を検討した。その結果、ある試験条件では摩擦距離がある長さには達すると摩擦係数が急激に上昇しかつ摩擦面を観察すると写真2のような実機でのヒートスクラッチに似た焼付疵が発生することが判ったので、この摩擦係数が急上昇するまでの摺動回数を測定し耐ヒートスクラッチ性の尺度とした。

なおこの実機ヒートスクラッチ 類似の焼付疵は図3に示す如く塑性変形し易い軟質鋼板使用時、鋼板温度は実際のロールバイト内での鋼板温度に近い200°C、鋼球の押付荷重は塑性変形が充分行なえる3kg(ヘルツ圧233kg/mm<sup>2</sup>)、鋼球のすべり速度は4mm/secの試験条件でバラツキが少なく発生することが判った。以後この試験条件で実機における耐ヒートスクラッチ性との対応性を検討することにした。

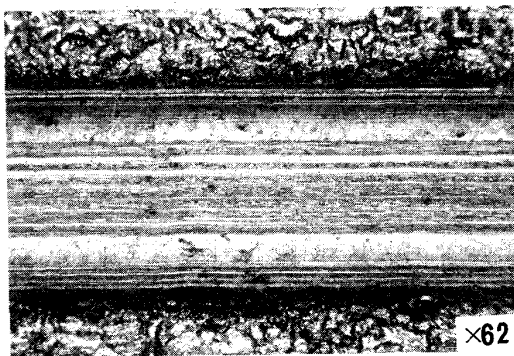
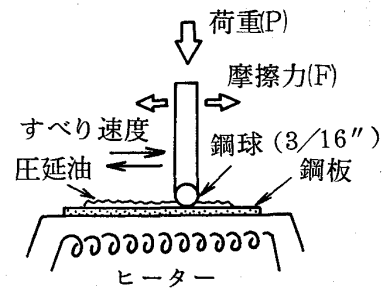


写真2. バウデン試験機による焼付疵



- 試験条件変更可能範囲
- 押付荷重; 0~3kg
  - 鋼板温度; RT~400°C
  - すべり速度; 0.2~4.0mm/sec

図2. バウデン試験機の概要

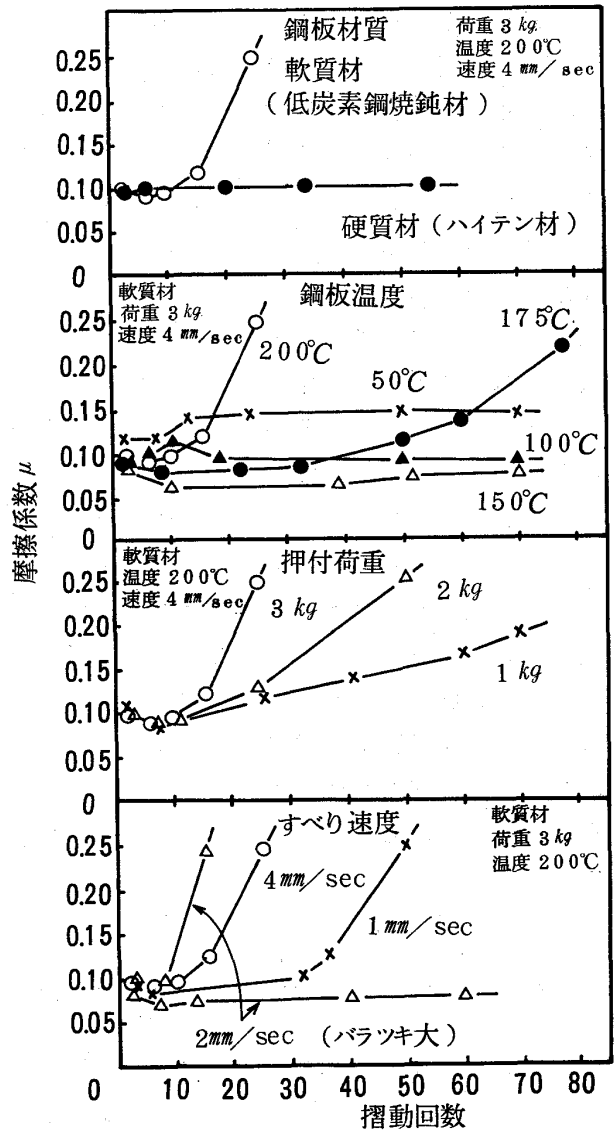


図3. 試験条件の影響

(供試油; 鉱油系A, 摺動巾 8mm一定)

### III バウデン試験結果と実機における耐ヒートスクラッチ性との対比

圧延油の耐焼付性評価にふさわしいと思われる条件（鋼板温度 200℃，鋼球押付荷重 3kg，すべり速度 4mm/sec，軟質鋼板使用）で7種の市販圧延油についてバウデン試験を行なった結果を図4に示す。この図4の摩擦係数が0.15に達するまでの摺動回数と実機におけるこれらの圧延油の耐ヒートスクラッチ性（ヒートスクラッチの発生しない最高圧延速度）との関係を図5に示す。この図から実機での耐ヒートスクラッチ性とバウデン試験結果とはよい対応関係があることが判る。

### IV バウデン試験による評価の応用例

#### IV-1. 圧延油のエイジング処理効果の評価

ある種の圧延油ではエイジング処理の有無により耐ヒートスクラッチ性が異なる場合がある。

図6の結果はエイジング処理なしの圧延油で耐ヒートスクラッチ性が劣り実機で問題のあった圧延油をラボ的にエイジング処理の必要性を確認し実機で実証した一例である。

#### IV-2. 油性向上剤の研究

圧延油の油性向上剤として用いられる脂肪酸，合成エステルなどの炭素数や極性基と耐ヒートスクラッチ性との関係は必ずしも明瞭でないのでバウデン試験により検討を行なっている。

使用した脂肪酸，合成エステルはオレイン酸（純度72%）を除き純度96%以上の高純度品を用い，ヒンダードエステルはフルエステルを用いた。

これらの脂肪酸および合成エステルの耐焼付性をまずこれらの単品で試験したところ市販の鉱油系圧延油程度の耐熱性もなく，炭素数や極性基との関係は握み難かった。これは200℃の試験温度では脂肪酸あるいは合成エステルの蒸発や酸化，劣化が著しいためと考えられたので，試料油は圧延油に用いる鉱油に酸化防止剤を添加したベースオイルに脂肪酸あるいは合成エステルを20%添加して使用し，蒸発や酸化を防いだ。

表3にその結果を焼付までの摺動回数で示した。

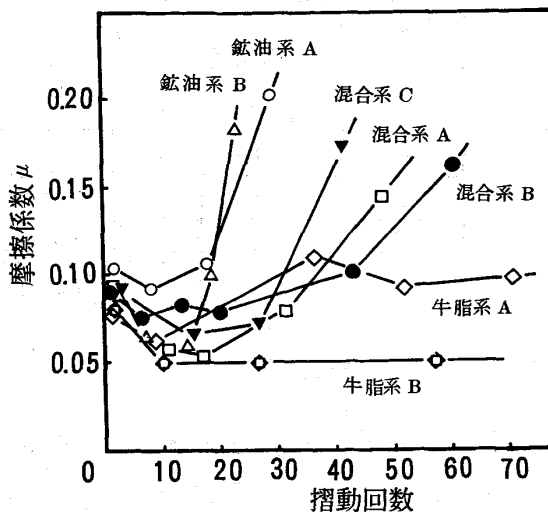


図4. 市販圧延油のバウデン試験結果

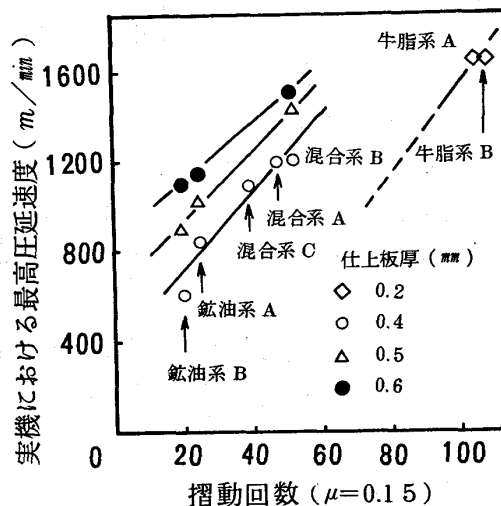


図5. バウデン試験結果と実機性能

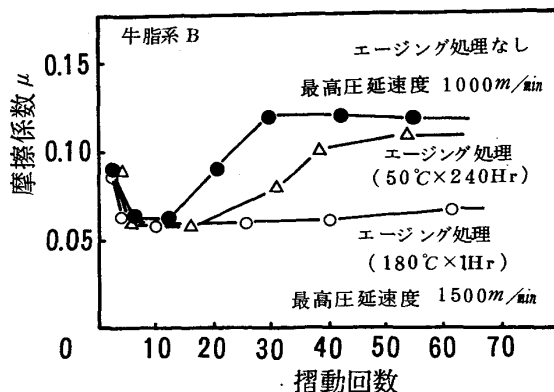


図6. 圧延油納入時の耐焼付性

表 3. 脂肪酸，合成エステルのパウデン試験結果

アルコール 脂肪酸	脂肪酸	モノエステル				ヒンダード エステル	
		C <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>2+6</sub> * <sup>1</sup>	TMP* <sup>2</sup>	PE* <sup>3</sup>
C <sub>8</sub>	8	—	—	6	—	14	16
C <sub>12</sub>	10	11	6	11	10	17	17
C <sub>16</sub>	13	10	14	12	9	24	19
C <sub>18</sub>	12	—	10	—	—	—	38
C <sub>18F1</sub>	10	8	12	15	—	—	25

- \* 1 ; 2-エチルヘキシルアルコール
- \* 2 ; トリメチロールプロパン
- \* 3 ; ペンタエリスリトール

表 3 の結果を整理すると

(1) 脂肪酸について

- 炭素数が大きいほど耐焼付性が良い傾向にある。
- 不飽和結合の有無では不飽和のオレイン酸は飽和のステアリン酸よりやや悪い。

(2) モノエステルについて

- 脂肪酸の炭素数は大きいほど耐焼付性は良好で，アルコールの炭素数の影響は少ない。
- 直鎖のアルコールと側鎖のあるアルコールのエステルをアルコールの炭素数 8 で比較すると，側鎖の 2-エチルヘキシルエステルが若干耐焼付性が悪い。

(3) ヒンダードエステルについて

- 脂肪酸の炭素数の影響はモノエステルに比べかなり大きく高炭素数ほど耐焼付性良好である。
- 不飽和結合の有無はオレイン酸エステルがステアリン酸エステルより耐焼付性が悪い。
- ヒンダードエステルはモノエステルの約 2 倍の耐焼付性を示す。

以上は中間的な結果であり，今後更に油性向上剤の化学的構造と耐焼付性との関係をパウデン試験により系統的に研究し高速圧延油の油性向上剤を開発する際の一助としたい。

V 結 言

- (1) 掘り起こしによる塑性変形を伴う新生面での境界潤滑状態を測定できるパウデン試験の試験条件を検討することにより，実機におけるヒートスクラッチの発生難易を評価しうることを現象的に確認した。
- (2) この方法は実機使用圧延油の潤滑性改善，新油性向上剤の開発などに有用であり，現在，油性向上剤の化学構造と潤滑性との関係究明などに活用中である。