

討14

冷延鋼板の表面性状に及ぼす圧延油と冷間圧延条件の影響

東洋鋼板(株) ○福山 敏 岩崎 守
高草木 達雄

1. 緒言 冷間圧延の潤滑特性を解析するためには、ロールと材料間の界面現象の解析が重要である。実操業面においては、高速圧延においても潤滑油がエマルジョンとして供給されているため潤滑油の粘度が基油に比べて低下していること、さらに潤滑油の剪断による温度効果からくる粘度低下等により、完全な流体潤滑状態ではなく、境界潤滑領域がかなりの割合で存在すると考えられる。また圧延後の製品で一定の表面性状を得るためには、ロールと材料間の界面現象を把握することが必要であろう。表面性状悪化の極端な例としては、現場的に重要な問題としてヒートスフラチ(以下H.Sと略す)の防止があるがこれは境界潤滑領域での油膜破断が原因と考えられている。以上の観点から本報では、実操業速度域において境界潤滑領域の割合の変化の推定を行なうと共に、数種の圧延油を用いて積極的に境界潤滑状態を具現して表面性状の変化を求めた。さらに高速度域においても境界潤滑領域がかなりの割合で存在するとの推定の下で実機ミルにてH.Sの発生形態と圧延条件、潤滑条件との対応を調査した。

2. 実験方法 緒言で述べたように表面性状試験(実験A)、H.S発生試験(実験B)の2種の試験を行なった。

実験A: 圧延油には実機で使用中的パーム油の他に2種の圧延油を使用した。圧延油Aは低濃度で使用可能なエステル含有のエマルジョンタイプ、圧延油Bは低粘度の鉱油系でありストレート潤滑で用いる。表1に使用した圧延油の性状を示す。表面性状の評価には、表面粗さ、光沢度、接触率、顕微鏡写真等を用いた。

実験B: パーム油を使用し実操業圧延速度域で、圧延速度、#5 STD 圧下率、圧延油供給量を変化させ、連鑄材、インゴット材などの4鋼種について実験を行なった。H.Sについては最終スタンド(#5 STD)で発生したものを対象とした。

上記の2試験はすべて生産用圧延機(東洋鋼板(株)下松工場 NO2タンデムミル)で行なった。2種の試験における各種条件をまとめて表2に示した。

3. 実験結果(実験A)

3-1 接触率の測定 実機圧延時における潤滑状態を推定するために接触率の測定を行なった結果を図1に示す。接触率の測定には表面粗さプロファイルから求める例や、LC方向の光沢差から求める例があるが本報では顕微鏡写真を用いて次式で定義した。

$$\alpha = \frac{A_b}{A_f + A_b} \times 100 (\%)$$

α : 接触率 A_f : 流体潤滑部の面積 A_b : 境界潤滑部の面積

これより次の事がわかる。

- ① 圧延油A、圧延油Bともに高水準の接触率を保っており、境界潤滑が支配的な潤滑状態になっており、Bには速度依存性は見られず。
- ② エマルジョン潤滑、ストレート潤滑いずれの場合でも境界潤滑が支配的

Spec \ Lub	PALM	A	B
比重 15/4℃	0.89	0.87	0.89
引火点 (°C)	260	203	160
粘度 100°F(cSt)	57	80	7.5
酸価 [KOH/mg]	8	3.5	1以下
ケイ化価 (°)	190	35	12.5
摩擦係数	0.12	0.13	0.14
油膜強度 kg/cm ²	4.0	5.0	4.5

表2. 試験条件

Spec \ Lub	A	B	PALM	
実験別	実験A	実験A	実験A	実験B
潤滑方式	エマルジョン	ストレート	エマルジョン	←
希釈水	75~80°C	—	20~30°C	←
濃度	5%	100%	15%	←
圧延速度 (mpm)	300 ~700	300 ~1100	300 ~1100	1300 ~2000
WR	#5: フライロール 0.23~0.32 μRa			
圧延材料	モリブデン鋼		Al-Cc Si-Cc リム鋼 チタム鋼	
全圧下率	65~72%		88~90%	

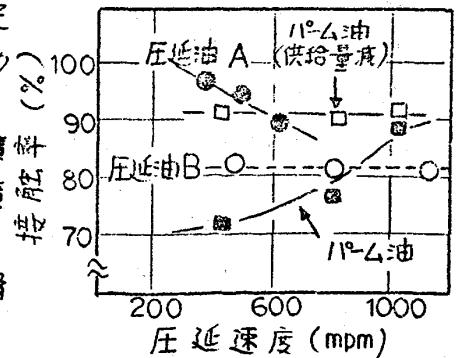


図1. 圧延速度と接触率の関係

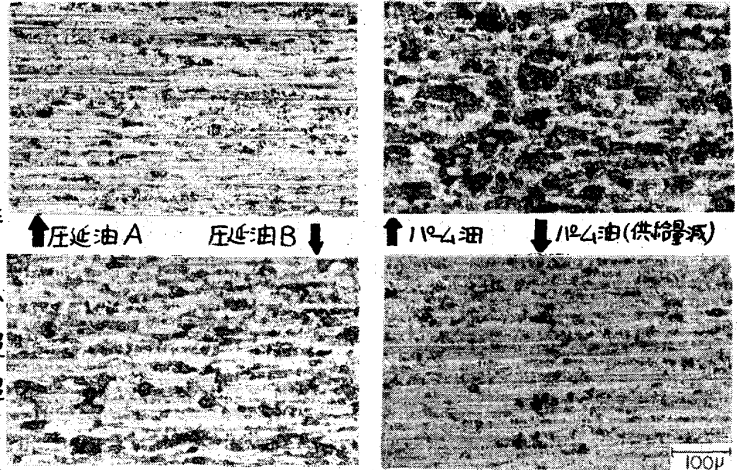
な潤滑状態を得ることが出来る。

一方パラメを用いた場合、刃の串がわかる。

①通常供給量の場合、接触率は圧延速度と共に上昇する。

②供給油量を減らした場合、圧延油A,Bと同様に高い接触率が得られる。

①に比べて②に比べて供給油量が少いことから流体潤滑領域がかなり存在するが、中島らが報告しているようにDow'sの油膜の剪断による温度上昇を考慮した入口油膜厚みは700~1000mpm



付近からほぼ一定となり、かみ込油量がそれだけ図2.各油種を用いた場合の板表面顕微鏡写真

と増大し、そのため結果的に境界潤滑領域が増加したものと考える。また

②から、供給油量を減少させることにより、低速域においても高い接触率が得られることがわかる。図2には各油種を用いた場合の板表面写真を示した。接触率の高い圧延油Aやパラメ(供給量減)では、ロール目が圧延方向に多数観察されオイルピットも少ないことがわかる。一方、通常条件の11-4の場合、オイルピットは数と大きさを増し、ロール目はほとんど観察されたり。図3には圧延後の板表面残脂量を示したが、パラメ使用時の残脂量が少いことがわかる。

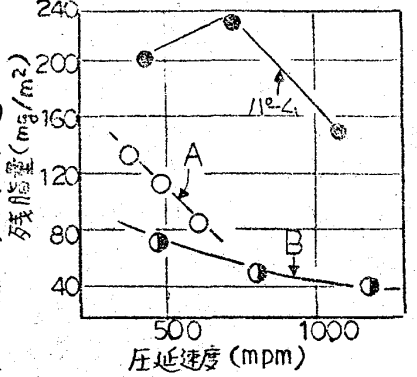


図3. 圧延速度と残脂量の関係

3-2 表面性状の測定 実験Aにおいて得られた表面粗さの測定結果を図4に示した。圧延油A,Bともに表面粗さは圧延速度と共に上昇する傾向を示し、両者間に有意差は認められな。通常供給油量時の11-4の場合には他の2油種に比べて粗さが著しく粗く、圧延速度が増加して接触率が高くなるにつれてロール表面粗さ(0.23~0.32μRa)に近づいていく傾向がある。供給量を減少させた場合には、境界潤滑領域が多いため圧延油A,Bと同程度の値に収まっている。図5は圧延後の板表面光沢度と圧延速度の関係を示したものである。圧延油A,Bに関しては圧延速度の増加に対して光沢度は直線的に低下する傾向をもち、図4のグラフと良く対応している。一方11-4圧延の場合には圧延速度と共に光沢度は増加する傾向がある。これは圧延速度の増加と共に境界潤滑領域の割合が増加すること、およびかみ込油量が減少し生成されるオイルピット量が少なくなったためと考えられる。図2-5によりオイルピット量が増せば光沢度が劣化することが予想される。今回はオイルピット量を定量化するため顕微鏡写真(200倍2-3視野)から1視野(50x75mm)あたりの平均オイルピット面積Aaを算出した。Aaと光沢度の関係を図6に示したが各油種をパラメータとして光沢度とAaは逆比例関係にあることがわかった。図7にはAaと圧延速度の関係を示した。圧延油A,Bについては圧延速度の増加と共にオイルピット面積が増加し、11-4の場合には逆に減少しているが、これは次のように解釈できる。圧延油B(ストリート潤滑)に関しては水野の油膜厚さ当量 τ_0 の概念が適用でき、

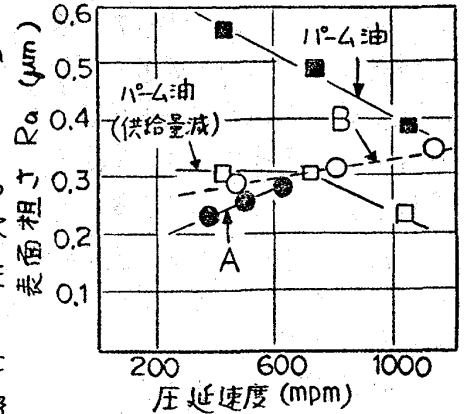


図4. 圧延速度と表面粗さの関係

図5は圧延後の板表面光沢度と圧延速度の関係を示したものである。圧延油A,Bに関しては圧延速度の増加に対して光沢度は直線的に低下する傾向をもち、図4のグラフと良く対応している。一方11-4圧延の場合には圧延速度と共に光沢度は増加する傾向がある。これは圧延速度の増加と共に境界潤滑領域の割合が増加すること、およびかみ込油量が減少し生成されるオイルピット量が少なくなったためと考えられる。図2-5によりオイルピット量が増せば光沢度が劣化することが予想される。今回はオイルピット量を定量化するため顕微鏡写真(200倍2-3視野)から1視野(50x75mm)あたりの平均オイルピット面積Aaを算出した。Aaと光沢度の関係を図6に示したが各油種をパラメータとして光沢度とAaは逆比例関係にあることがわかった。図7にはAaと圧延速度の関係を示した。圧延油A,Bについては圧延速度の増加と共にオイルピット面積が増加し、11-4の場合には逆に減少しているが、これは次のように解釈できる。圧延油B(ストリート潤滑)に関しては水野の油膜厚さ当量 τ_0 の概念が適用でき、

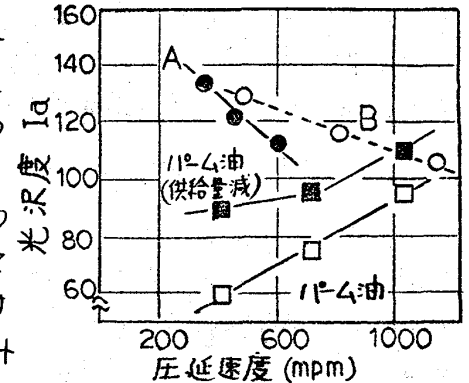


図5. 圧延速度と光沢度の関係

$\eta = \eta(U_1 + U_2) / \alpha \cdot P$ において圧延速度 U_1 の増大は η を増加させる条件となるため、ロール材料界面により多くの油量が導入されてオイルピット量が増したと考えられる。一方、圧延油 A (エマルジョン潤滑) に関しては板表面にプレートアウトした油分が水野の式においてロールバイトにかみ込まれエマルジョンはバイト内に入らなると考えられる。一方、加藤⁽³⁾はエマルジョン圧延での油膜厚さ式を提唱し、低濃度時の式 $h \propto S(t) \cdot C$ (h : 油膜厚み, $S(t)$: エマルジョンの不安定度, C : 濃度) において圧延速度の増加と共に $S(t)$ が大となり、引き込油量が大なることを示している。11°-4 に関しては先に述べたように入口油膜厚みが 700~1000 ppm 付近からほぼ一定になると共に速度増加による新生面面積の増加と油量の関係から相対的に引き込油量が低下した形となりオイルピット量が減少する傾向になったと考えられる。

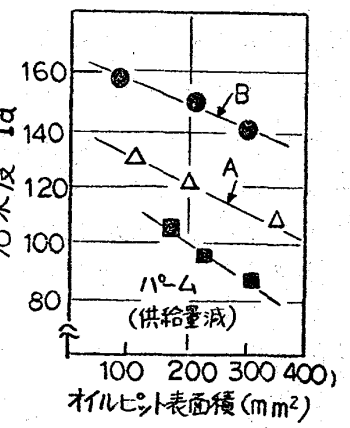


図6. オイルピット表面積と光沢度の関係

4 実験結果 (実験 B)

4-1 H.S の発生形態

図8にストリップ上に発生した H.S の顕微鏡写真を示す。H.S 部にはオイルピットは観察されず、一般に言われている油膜破断によるストリップとロール表面の焼付による疵であると考えられる。図9に H.S が発生した板の断面がわかる。H.S は板剛が \square となるが別断面でみると (b) に示すようにスクラッチ部に盛り上りが観察される。より長い H.S (cd) においても同様の盛り上りが観察されることから、これは金属接触による金属凝着部分ではないかと考えられる。

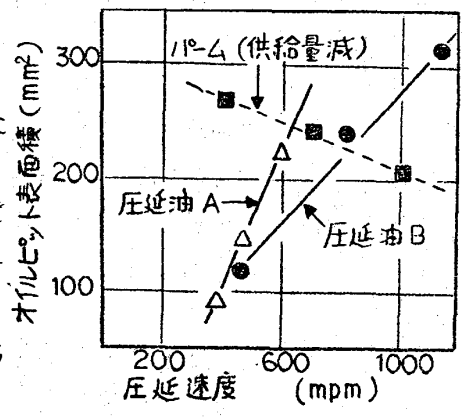


図7. 圧延速度とオイルピット表面積の関係

4-2 圧延条件、潤滑条件の影響

図10に Si-CC 材を用いた場合の圧延速度とコイル温度の関係を示した。標準条件 ($\eta_0 = 30\%$, 流量 $Q_a =$ 通常供給油量) においては 1900 ppm で H.S が発生しているが、同一流量で #5 STD 圧下率を 40% に上げた場合は 1300 ppm にて H.S が発生した。この結果から、従来報告されているように高速度、高圧下率になる程 H.S の発生確率が高まると考えられるが、標準条件よりも供給油量を増加させて圧下率 30% で圧延した場合 (標準条件よりも潤滑条件を良くした場合) 1600 ppm で H.S が発生し、この時のコイル温度は 112°C と他のどの条件よりも低い。この事実からコイルの温度上昇 (

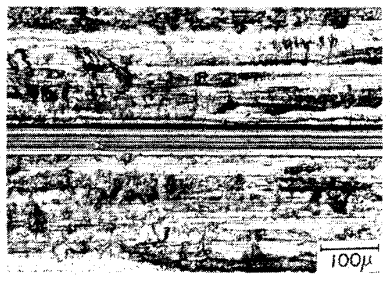
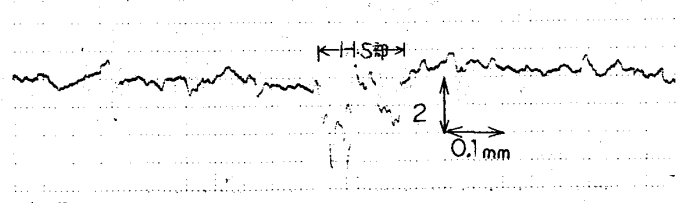
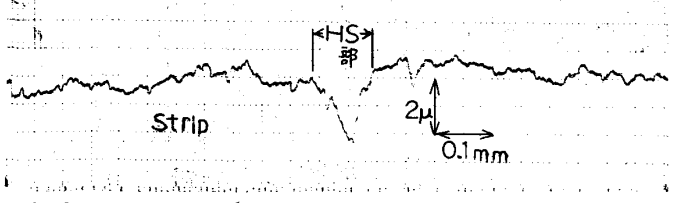


図8 ストリップに発生したヒートスクラッチ

(a) 発生初期の H.S (長さ 3mm)

(c) 長さ 11mm



(b) 発生初期の H.S (a と同スクラッチの別断面)

(d) 長さ 17mm

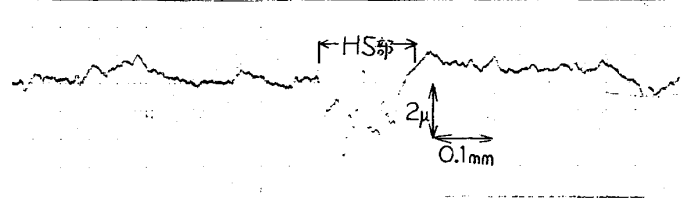
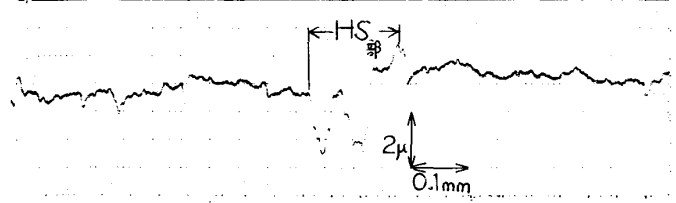


図9 ヒートスクラッチが発生したストリップの板表面粗さ曲線 (A2-CC, $\eta_0 = 30\%$, $Q_b = 2000$ ppm)

塑性加工仕事による発熱(摩擦熱)とH.S.又は油膜厚さ当量とH.S.の発生を直接結びつけることはできないうである。図11には鋼種別に圧延速度とコイル温度の関係を示したが、全圧下率、各スタンド圧下率を同一にしても鋼種によってコイルの温度上昇およびH.S.の発生状況が異なることがわかる。すなわち、

①高速領域でH.S.は発生するが、連鑄材よりもインコシト材の方がH.S.を発生しにくく

②鋼種別にみると、コイル温度が高くなった場合にH.S.が発生しているが、全体的にみれば、コイルの温度とH.S.の関係はないと考えられる。

図12には図11で発生したH.S.をその発生数と長さから評定化、定量化したものであるが(数値が大きい程、H.S.の程度が激しい)同一圧延条件、同一潤滑条件で発生したH.S.でもSi-CCはAl-CCよりも耐ヒートスクラキ性が劣ることがわかる。以上の事からH.S.防止を考える場合には、単にコイル温度や油膜厚さ当量等のマクロ的な見方ではなく、油膜破断に関して潤滑油の物理的、化学的性質からの検討や、ストリップ中の不純物や添加元素の影響というよりミクロ的な面からの検討も必要ではないかと思われる。

5. 結言

境界潤滑が主体と考えられる潤滑状態を実機ミルで実現し、表面性状(H.S.も含む)に及ぼす影響を調査した結果次の事がわかった。

①表面粗さ、表面光沢度は実験範囲内で圧延速度に依存する。これは表面粗さ、光沢度と関係をもつオイルヒット表面積 A_0 が圧延速度に依存するためである。

②①の速度依存性は圧延油の種類や潤滑条件(フル潤滑、エマルジョン潤滑)によって傾向が異なるが、水野、加藤ら、中島らが報告している油膜厚みの理論式で定性的に説明できる。

③ヒートスクラキの発生確率は、同一潤滑条件の下では高速度、高圧下率で高いと考えられる。

④鋼種別に見ると圧延条件、潤滑条件が同一の場合、連鑄材の方がインコシト材よりも発生確率(H.S.)が高い。連鑄材においてもSi-CCの方がAl-CCよりもヒートスクラキを発生しやすいと考えられる。今後は潤滑油の性質、材料中の不純物、添加元素等の影響を調査する必要がある。

参考文献

1. 中島, 柴田, 上堀 昭和53 春塑加講論 (1978) 189
DOW他 TRANS. ASME 97F, 4(1975)
2. 水野 塑性と加工 7-66(1966) 383
3. 加藤, 青藤 第26 塑加講論 (1975) 113

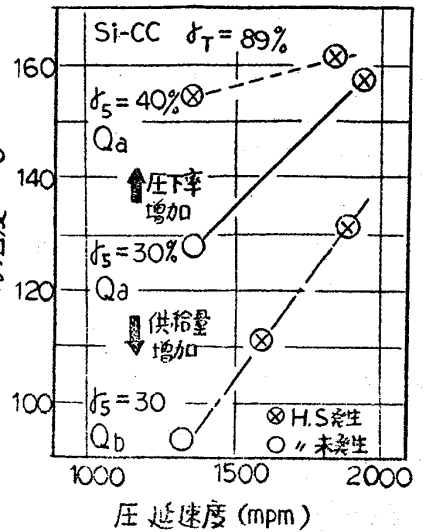


図10. 圧延速度とコイル温度の関係 (Si-CC材)

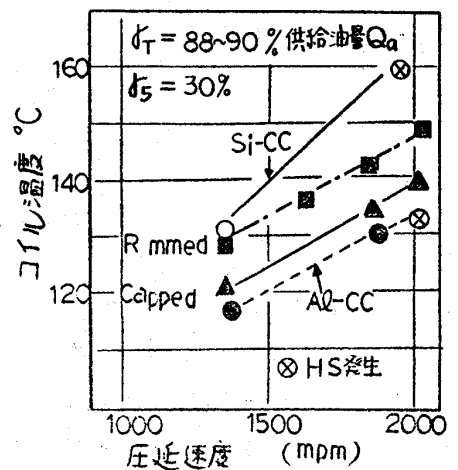


図11. 鋼種別の圧延速度とコイル温度の関係

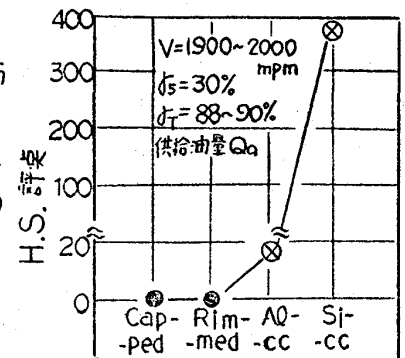


図12. 鋼種別のH.S.評定