

621.771.015: 621.891 討11 極薄鋼板の冷間圧延におけるチャタリング現象におよぼす圧延油の潤滑性の影響

川崎製鉄 技研 ○ 鎌田 征雄 中川 吉左衛門
 千葉 古川 九州男 滝本 高史
 清野 芳一 中里 嘉夫

1. 緒言

極薄亜鉛メッキ原板の冷間圧延において、チャタリングと呼ばれる異常振動現象がしばしば発生する。これは冷延における総圧下率が94~95%にもおよぶ非常に厳しい圧延状態にある場合に頻りに観察され、ひどいときには圧延速度が800~1200mpmで70~90mmのピッチで、目標板厚0.16mmに対して±25%程度の板厚変動が生じ、終にはコイルの破断に至り、不良製品の発生や圧延能率を著しく低下させることになる。筆者らはチャタリングの発生メカニズムとともに理論的な検討も並行して行なってきた。その結果、チャタリングの発生するときの圧延状態が正常な圧延状態の場合と著しく異なる点は、(1)圧延油が著しく乳化不良に陥っている、(2)圧延材の変形抵抗が高い、(3)圧延材の板厚が薄い、という点である。上記の3点から示唆されることは「圧延可能限界近傍の現象であろう」ということである。とくに、圧延油の乳化不良の場合には、潤滑性が不安定になり、チャタリングが発生することが確認された。本報告では、圧延油の乳化状態とチャタリングの発生状態について主に述べるとともに、理論的な検討結果も、述べる。

2. 極薄亜鉛メッキ原板の圧延工程

チャタリングが発生する極薄亜鉛メッキ原板の代表的な圧延工程は以下のとおりである。

熱間圧延(仕上厚2.6mm)→酸洗→冷間圧延(仕上厚0.15~0.18mm)→精整→製品

このように、冷間圧延において総圧下率が約94%という非常に厳しい圧延を行なっている。圧下率はタンデム圧延機の各スタンドに分配されているが、最終仕上厚に近くなると圧延材の加工硬化が進み変形抵抗は非常に大きくなる。チャタリングの代表的な例はこのような領域の最終スタンド近傍において、単スタンドで30%程度(0.22~0.26→0.15~0.18mm)の圧延を行なうときに発生することがしばしば観察される。なお、最終スタンド近傍での圧延油の供給システムは半脂系でリサーキュレーション方式をとっている。

3. チャタリング発生材の板厚変動と表面性状

図1は強度のチャタリングが発生した鋼板部分を圧延方向にサンプリングして、投影器にて拡大して板厚変動を測定した例である。設定板厚0.16mmに対して、板厚は最大0.21mmから最小0.12mmに変動しており、そのピッチは70mm程度である。プロフィールのパターンはほとんど正弦曲線になる。写真1にこの場合の最大板厚部と最小板厚部における圧延材表面を走査型電子顕微鏡にて観察した結果を示す。最大板厚部では、ロールと圧延材の金属接触によるすり疵が非常に多く認められ、オイルピットのような凹みは少ない。一方、最小板厚部では、金属接触によるすり疵は少なくオイルピットのような凹みが多く認められる。したがって、板厚が厚い部分では油膜がほとんど破壊して、潤滑不良による境界潤滑領域が非常に多くなっていると解釈され、板厚が薄い部分では油膜が多く存在している混合潤滑領域になっていると考えられる。

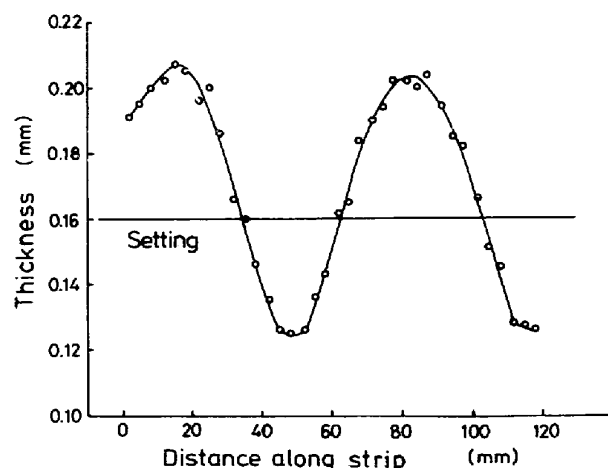


図1. チャタリング発生材の板厚変動測定例

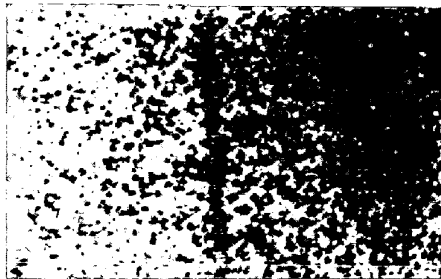
4. チャタリングの発生状況

4.1 圧延材

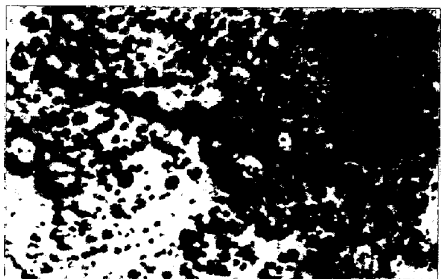
図5はチャタリングが発生した場合と発生しない場合の圧延途中での板の引張り強さを示したものである。チャタリングが発生する材料ではほとんど 95 kg/mm^2 以上を示しており、通常材より 10 kg/mm^2 程度も高い。

4.2 圧延油

写真8は圧延油の経時変化を顕微鏡により観察したものである。圧延油の切替当初は細かな粒子が均一に分布しているが、24時間経過すると粗い粒子と細かい粒子の差がでてはじめて、油と水の分離現象がでてくる。48時間後にはこの差が極端になり、細かな粒子はほとんど認められなくなり、油と水がほとんど分離して非常に乳化不良の状態に陥っている。このような状態になるとチャタリングが頻繁に発生することになる。図3は現場の圧延データをもとに摩擦係数の時間的な変化を示したものである。



0
hr



24
hr



48
hr

写真8 圧延油の乳化状態の変化

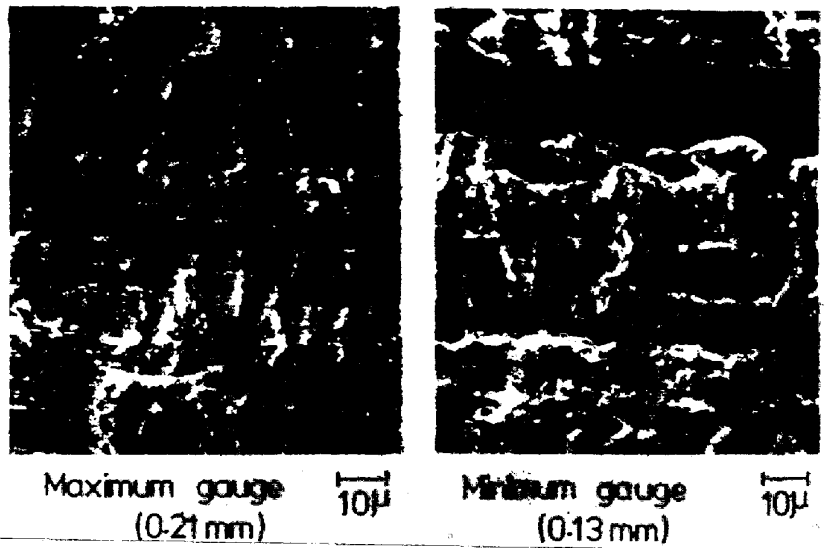
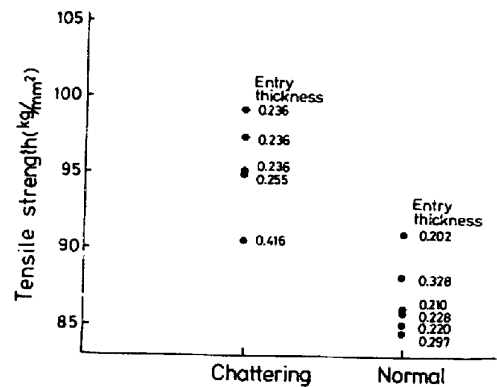


写真1 圧延材の表面性状 (大査型電子顕微鏡撮影結果)



圧延油切替時に摩擦係数は比較的ばらついているが、8時間位後から安定し、36時間位経つと、摩擦係数が大きくなっていくのがわかる。

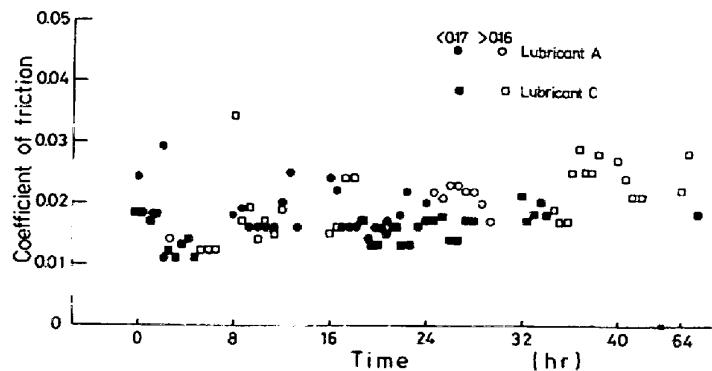
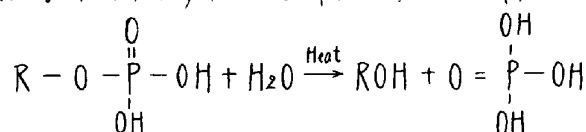


図3 圧延時の摩擦係数の時間による変化 (Bland & Ford の式により逆算)

図4は圧延状態の時間的变化とチャタリングの発生状況を示したものである。圧延油切換40時間後頃から圧延速度は下り、オイルフロートの厚さも増加し、圧延油の濃度のばらつきが大きくなる。それとともにチャタリングの発生率が急激に高くなっていく。圧延油の切換直後でチャタリングが多発するのは、乳化剤の中にリン酸エステルが含まれているので、堅固なエマルジョンが生成されプレートアウト性が悪くなるため、切換当初のため性状の不安定や乳化不安定のためであろう。

以上のように、時間の経過とともに圧延油が乳化不良に陥っていき、潤滑性を劣下させることによりチャタリングが発生することがわかる。乳化状態が時間的に変化しているときに、圧延油そのものの性状がどのように変化しているか表1に示す。粒径は写真えからわかるように時間とともに増大している。pHは時間とともに減少し、これに伴ない酸価は若干ながら増大する傾向を示す。ケン化価はほとんど一定である。リン酸濃度も増大している。乳化剤として圧延油中に添加されているリン酸エステルは約120°C以上になると熱安定性が悪くなり、次式に示すように、加水分解によって無機リン酸に分離する。



これはロールバインド内の加工熱、タンク内での加熱や蒸気による加熱などが原因と考えられ、分離した無機リン酸は鉄に対して腐食作用を起こし、更に乳化は不安定になっていくことが考えられる。したがって、時間とともに圧延油が乳化不良を起こしていく原因の大きなものは、リン酸エステルの分解であるといえる。圧延が総圧下率約94%と厳しい条件下において、このように圧延油の性状が劣化し、潤滑性が悪くなったときにチャタリングが多発する。

5. チャタリング発生中の圧延挙動の理論的考察

今まで示したように、チャタリングは総圧下率約94%と厳しい条件下で、圧延油の潤滑性が悪くなったときや圧延材の変形抵抗が高いときおよび板厚が薄い場合に発生することがわかった。

これから、「圧延可能限界に近い圧延を行なっているであろう」ということが考えられる。本節ではこの点について考察をしてみる。

図5はチャタリングの発生中の圧延状態の変化を示したものである。大きく変化するのはいすたんど間張力で、とくにNo.1~istd間が大きく変化している。圧延荷重の変化はB.O.R. 備心の影響以外にはほとんど現われていない。これは、油圧式荷重計の応答性によるもので

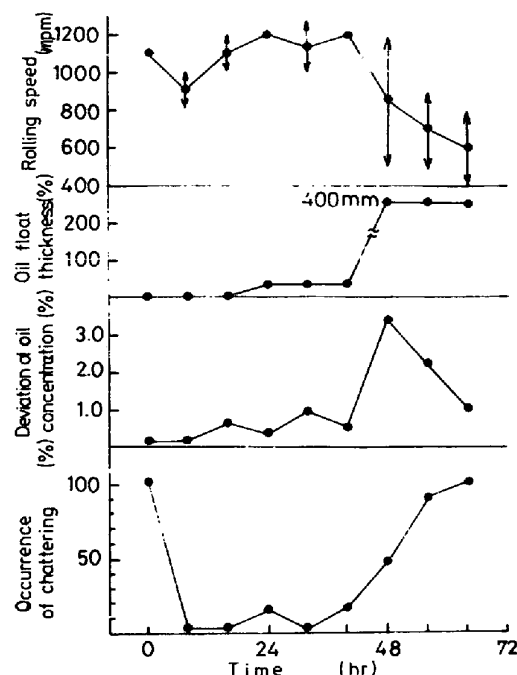


図4 圧延状態の時間的变化とチャタリングの発生状況

表1 圧延油の性状の時間的变化

時間 (hr)	pH	平均粒径 (μ)	酸価	ケン化価	リン酸濃度 (%)
0	4.55	5	28.2	196	0.006
24	3.65	15	27.6	205	0.008
48	3.5	20	29.0	199	0.013
66	3.7	20~30	30.0	199	0.012

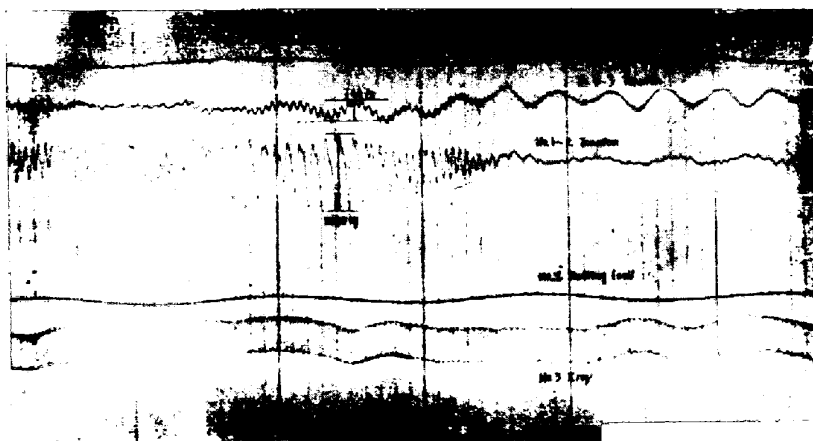


図5 チャタリング発生中の圧延状態の変化

実際には変化しているものと思われる。なお、チャタリング発生中の板厚変動の周波数と一致しているのは、スタンド間張力の変動の周波数(180~200 Hz)である。

図6にTong & Sachsの理論式²⁾から本圧延における摩擦係数と圧延可能最小板厚限界の関係を計算した結果を示す。最終スタンド逆傍の単スタンドにおいて30%圧下率の圧延をするには、変形抵抗が85~100 kg/mm²であるから、圧延中の潤滑状態は摩擦係数にして、0.023~0.026以下であることが必要となる。

図7にチャタリング発生中の圧延データから摩擦係数を逆算した結果を示す。板厚については図1に示した最大板厚部と最小板厚部で、更に通常の圧延条件の場合を示す。通常の圧延条件では摩擦係数は0.023を示しており、これは図6に示した圧延限界の計算結果における30%圧延(0.23→0.16mm)を行なったときの限界摩擦係数に一致している。このことから、最終スタンド逆傍での圧延は限界ぎりぎりで行なっていることがわかる。最大板厚部では、摩擦係数は0.042~0.049の範囲にあり、最小板厚部では0.015~0.019の範囲にある。これから、板厚が薄い部分では潤滑状態が良好なことがわかり、写真1に示した電顕写真結果とも全く一致した傾向にある。その他、ロール接触弧内の圧延圧力も計算上³⁾では165~220 kg/mm²の範囲にあり、最大圧力は非常に高くなっていることがわかる。中立矢についても、板厚が薄い部分では出口側に移動しており、Trinks⁴⁾が報告しているように出口側からとび出すことも予想される。

6. 結言

極薄鋼板の冷間圧延において発生したチャタリング現象について、現場調査や圧延挙動の理論的な検討を行なった。その結果、次のことが結論づけられた。

- (1) チャタリングの発生は圧延可能限界の逆傍の現象で圧延状態が不安定な領域にあるためである。
- (2) 上記の如き条件下で、チャタリング発生のトリガーとなる要因は、圧延油の潤滑性の不良が大きなものである。とくに圧延油の乳化安定性や高温・高圧力下における性状の安定性が問題となる。
- (3) 圧延状態(摩擦係数、中立矢挙動、圧延圧力、スタンド間張力etc)が不安定になり、これが圧延中の異常振動を励起することになる。

参考文献

- 1) D.R. Bland, H. Ford : JISI, vol. 168 (1951), 57, vol. 171 No.2 (1952), 239
- 2) K. Tong, G. Sachs : J. Mech. Phys. Solids, vol. 6 (1957), 35
- 3) J.M. Alexander : Proc. R. Soc. Lond., A326, (1972), 535
- 4) W. Trinks : Blast Furn. Steel Pl., vol. 25 (1937), 285

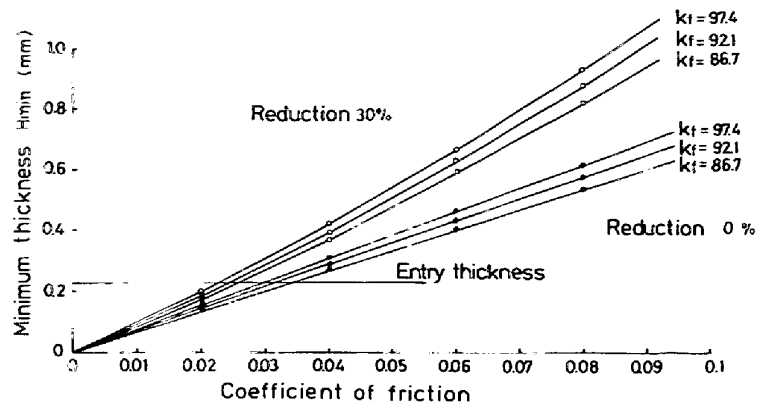


図6 摩擦係数と圧延可能最小板厚限界の関係
(Tong & Sachsの理論式²⁾より計算)

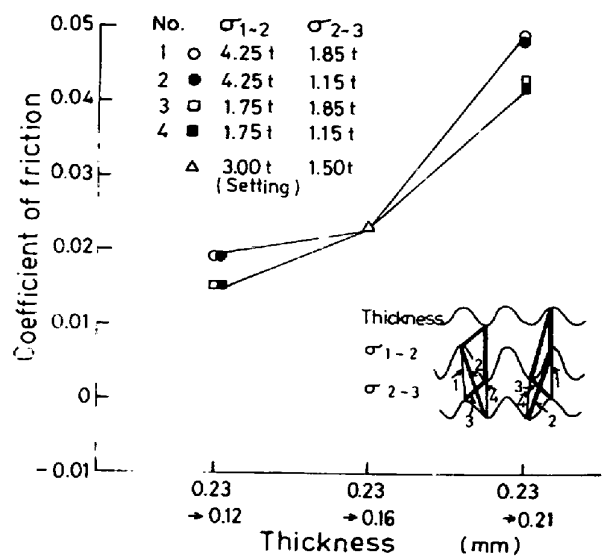


図7 チャタリング発生中の摩擦係数