

圧延の摩擦不安定現象の解明

大同工業大学 工学部 機械工学科

助教授 小森和武

(平成元年度奨励研究助成 AF - 89024)

1. 研究の背景

近年、ステンレスやアルミニウムの薄板圧延が盛んに行われているが、その際ヘリングボーンと呼ばれる魚の骨状の表面模様が発生して問題となっている。一方、銅の圧延においては従来よりリダクションマークと呼ばれる段筋模様が発生して問題になっている。これらの現象の原因は潤滑不良による摩擦不安定と考えられるが、詳しいことはあまり明らかにされてはおらず、実験的及び理論的な解明が望まれる。そこで本研究では、これらの現象の共通点、相違点を明確にして、その発生メカニズムを明らかにする。

す。材料は純アルミ A-1050H24 材を 400℃ で 50 分焼どんしたものである。図 1 にヘリングボーンの発生状況の一例を写真で示す。図 2 はヘリングボーンのピッチと投影接触弧長の関係である。

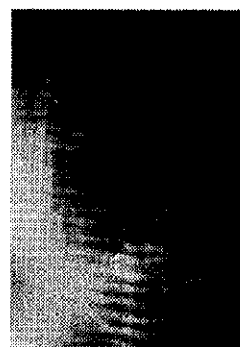


図 1 ヘリングボーンの発生状況

2. 研究成果の概要

2.1 実験

表 1 に圧延機の仕様を、また表 2 に圧延条件を示

表 1 圧延機の仕様

型式	2 段	4 段
駆動方式	WR 駆動	BUR 駆動
ロール寸法	$\phi 150 * 150\text{mm}$	$\phi 41 * 150\text{mm}$
ロール表面粗さ	$R_{\text{max}} = 0.6 \mu\text{m}$	$R_a = 0.07 \mu\text{m}$
ロール周速	0 - 27.5m/min	

表 2 圧延条件

板厚	0.3mm
板幅	50mm
板長さ	200mm
引張強さ	8.5kgf/mm ²
圧延速度	11.8m/min
基油粘度	3.7cSt/40℃
添加剤	なし

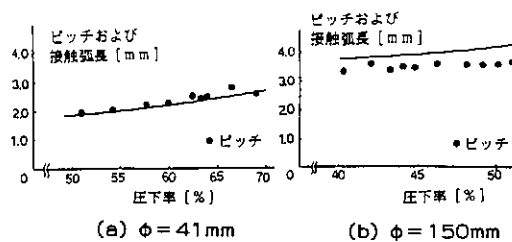


図 2 ヘリングボーンのピッチと投影接触弧長の関係

図 (a) はロール径が小さい場合 ($\phi = 41\text{mm}$)、図 (b) は大きい場合 ($\phi = 150\text{mm}$) である。ここで計算値は、ヒッチコックの式よりロール偏平を考慮して求めた。図より小さいずれのロール径に対しても、広範な加工条件でピッチは投影接触弧長にほぼ等しいことがわかる。銅のリダクションマークに対する実験においても、ピッチは投影接触弧長にほぼ等しいと報告されている。以上よ

り、ヘリングボーン及びリダクションマークの現象の共通点として、ピッチは投影接触弧長に等しいことが確認された。図3はヘリングボーンが発生した板の顕微鏡写真である。図(a)は光沢良好

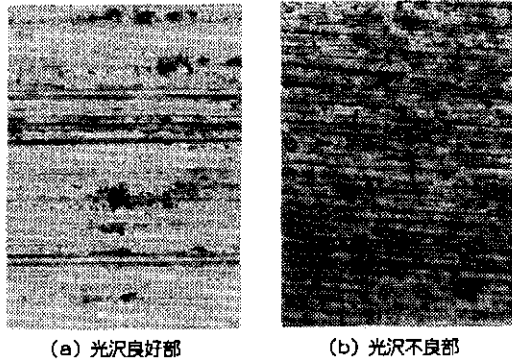


図3 ヘリングボーン発生板の顕微鏡写真

部、図(b)は光沢不良部である。図より光沢良好部では多数のオイルピットが認められ、潤滑状態が良好であると推定できる。また光沢不良部では焼き付きにより発生したと思われる多数の傷が見られ、潤滑状態がかなり悪いと推察される。

2.2 解析

ピッチが投影接触弧長に等しくなるモデルを提案して、そのメカニズムを推定した。まず、ヘリングボーンやリダクションマークが発生する時の油膜厚みを流体潤滑理論によって試算すると0.001 μm程度のオーダーになった。これは材料やロールの表面粗さよりも小さい。そこでまず、潤滑油の機械的捕捉量の解析を行った。すなわち、噛み込み角によって幾何学的に機械的捕捉量が求まるモデルを提案した。図4はモデルの説明図で

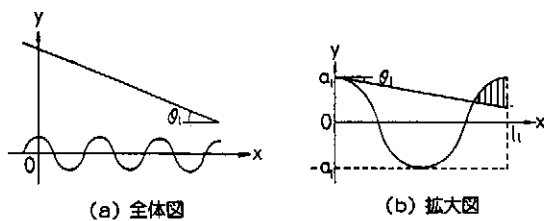


図4 機械的捕捉量のモデル

ある。まず問題を簡単にするため、図(a)のように片側(ロールに相当)を鏡面、片側(材料に相当)を正弦曲面とする。そしてロールは剛体、材料は剛塑性体とする。いま図のように、噛み込み部(x=0)においてロールと材料の山の頂上の部分が接触して、谷の部分に充満している潤滑油が機械的に捕捉されるとする。その時、ロールと材料が重なる領域(図の斜線で表される領域)の材料は塑性変形して、図の斜線部の面積に相当する分量だけ機械的捕捉量が減少すると考える。これより、入口平均油膜厚み t_1 は次式で与えられる(a_1 :正弦曲線の振幅、 l_1 :正弦曲線のピッチ、 θ_1 :噛み込み角)。

$$t_1 = a_1 - (l_1/2) \cdot \tan \theta_1 \dots \dots \dots (1)$$

材料の変形解析は、簡単のためOrowanの一般理論による初等解法により行った。またロールの変形解析は、無限長円柱に集中荷重が作用したときの解として求めた。解析全体のフローチャートを図5に示す。まず、材料の変形解析とロールの

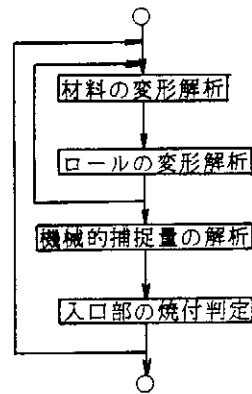


図5 解析全体のフローチャート

変形解析を連成して行う。次に、潤滑油の機械的捕捉量を求めてロール入口部の焼き付き判定を行う。すなわち、入口平均油膜厚み t_1 がある値以下になればロール入口部で焼き付くとして大きな摩擦係数を与える。以上の手順を増分的に繰り返す。表3に解析条件を示す。そして、 $a_1 = 1 \mu\text{m}$ 、 $l_1 = 25 \mu\text{m}$ 、通常の摩擦係数 $\mu = 0.05$ 、焼き付き時の摩擦係数 $\mu = 0.5$ とする。また入口平均油

表3 解析条件

板厚	0.7mm
压下率	60%
ロール径	ϕ 155mm
引張強さ	28kgf/mm ²

膜厚 t_i が0.115 μ m以下になった時に焼き付きが生じると考える。図6に解析結果を示す。ここ

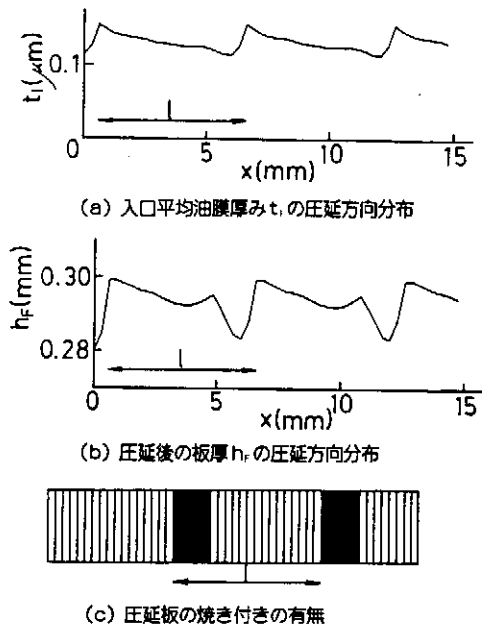


図6 リダクションマークの解析結果

で ℓ は投影接触弧長である。図(a)は入口平均油膜厚 t_i の圧延方向分布、図(b)は圧延後の板厚 h_f の圧延方向分布、そして図(c)は圧延板の焼き付きの有無の圧延方向分布である。すなわち図で黒い領域が焼き付き部である。これらの図より、ほぼ投影接触弧長 ℓ の周期で同じ変動が繰り返されていることがわかる。

3. 謝辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団より奨励研究助成を得て行われたものであり、ここに厚く感謝の意を表します。

4. 発表論文

小森和武・青木了・加藤和典：圧延の摩擦不安定現象の解明、平成2年度塑性加工春季講演会講演論文集、269 - 272