

解説

研究会成果報告 - 23

熱間圧延ロール研究会の活動と成果

Activity and Result of Research Committee on Hot Rolling Rolls

小森和武 大同大学
工学部 機械システム工学科
教授
Kazutake Komori

1 はじめに

環境負荷を低減するために、自動車の軽量化すなわち使用する材料の高張力化が急激に進んでいる。その結果、高張力鋼板を圧延するために圧延機の負荷が増大している。ハイスロールはその優れた耐摩耗性のために熱間圧延ロールとして広く利用されている。しかし、タンデム圧延機の最終圧延機において現在でもハイスロールを使用出来ない¹⁾。その理由は、ハイスロールのサーマルクラウンが大きいため通板が不安定になること、及びハイスロールに材料が焼き付き易いため絞り込み事故時のロール損傷が激しいことである。ここで、サーマルクラウンとは、熱によりロールが円柱形状から樽形形状になることである。また、絞り込みとは、材料の後端が最終圧延機のロール間隙内に、座屈により折り重なって侵入することである。一方、最終圧延機において使用されているニッケルグレンロールの耐摩耗性はハイスロールの耐摩耗性に比べて著しく悪い。そのため、圧延機負荷の増大により、ニッケルグレンロールの摩耗が著しく増大している。以上より、最終圧延機においてハイスロールを使用するための課題の克服が必要不可欠である。

上記の背景の下に、高温プロセス部会の凝固・組織形成フォーラムの協力により創形創質工学部会に、「熱間圧延ロール」研究会が平成26年3月に設立された。そして、同研究会は平成29年2月まで3年間活動を行った。まず、研究会設立までに4回の研究準備会を行って、熱間圧延ロールに関する問題点を把握すると共に研究会において研究する課題を確定した。また、活動期間中に8回の研究会を行うと共に、秋季講演大会において、中間報告会を兼ねた討論会及び最終報告会を開催した。ここで、研究会と同日に、ロール製造会社の一般見学会及び遠心鑄造製法全般見学会を実施した。更に、同研究会における研究成果の一部が「鉄と鋼」の平成30年12月号の特集「熱間圧延ロールの課題の克服」において公表された。

本稿では、同研究会の活動と成果の概要を紹介する。

2 研究目的と研究体制

熱間圧延ロールに関連した基礎的なテーマを扱うことにより、熱間圧延ロールの課題の克服に貢献する。熱間圧延ロールに要求される主な特性は、耐摩耗性と耐損傷性である²⁾。しかし、熱間圧延ロールの摩耗メカニズム及び表面損傷メカニズムは殆ど不明である。そこで、モデル実験である熱間転動摩耗試験、熱間圧延摩耗試験、更に熱間圧延の数値解析によりこれらのメカニズムを明らかにする。ここで、実際の圧延機の1/10程度の大きさの熱間圧延摩耗試験機により熱間圧延ロールの評価が行われている³⁾。しかし、その試験機により熱間圧延ロールの評価を行うためには、大量の被圧延材料が必要である。そのため、従来から鉄鋼各社により、帯板の被圧延材料が円筒の被圧延材料に置き換えられた、熱間転動摩耗試験機により熱間圧延ロールの評価が行われている⁴⁾。

図1に熱間転動摩耗試験機の基本形状を示す。図(a)の試験機では、ロール材料の幅が被圧延材料の幅よりも小さく、またロール材料の直径が被圧延材料の直径よりも小さい。一方、図(b)の試験機では、ロール材料の幅が被圧延材料の幅よりも大きく、またロール材料の直径は被圧延材料の直径とほぼ等しい。また、図示しないが、文献4)の試験機の基本形状は図(a)及び図(b)の試験機の基本形状と異なる。すなわち、鉄鋼各社の試験機の基本形状は様々であり、鉄鋼各社の試験結果を比較出来ない。そこで、標準となるような熱間転動摩耗試験機を新たに製作する。そして、その試験機による摩耗と熱間圧延による摩耗を比較すると共に、その試験機による摩耗特性のデータベースを作成する。

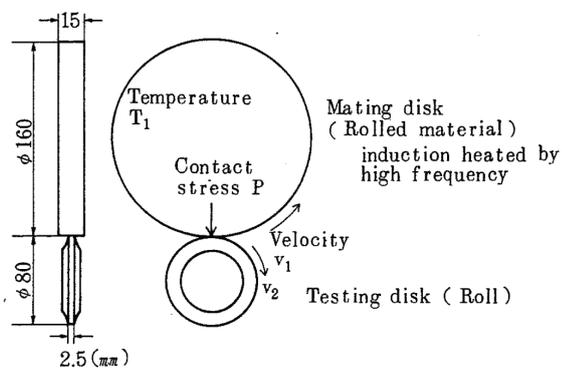
また、サーマルクラウンの数値解析と板の蛇行の数値解析の連成解析を行うことにより、絞り込みメカニズムを明らかにすると共に、絞り込み事故を防止するための指針を得る。

更に、熱間圧延ロールのみに限定されない基礎的なテーマではあるが、黒皮の生成及び剥離のメカニズムを明らかにする。

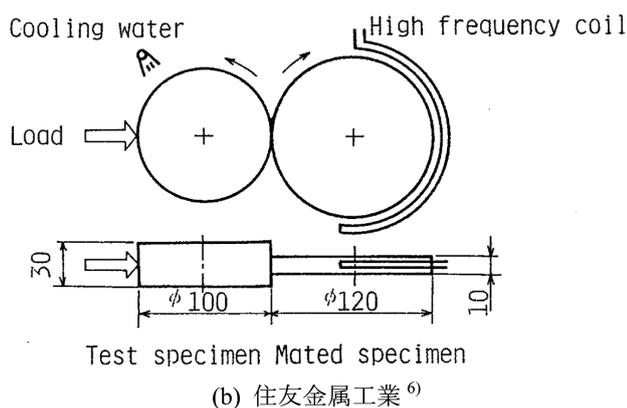
図2に研究体制を示す。大学・高専に所属する委員は、それぞれ主体的に研究を行うが、企業に所属する委員から研究会において適切な助言を受けると共に材料の提供等を受けた。なお、この研究体制は活動期間中変わらなかった。

3 主な研究成果

本章では、「鉄と鋼」の平成30年12月号の特集「熱間圧延ロールの課題の克服」に掲載された論文の内容を極めて簡単に紹介する。



(a) 新日本製鐵⁵⁾



(b) 住友金属工業⁶⁾

図1 熱間転動摩擦試験機の基本形状

3.1 熱間転動摩擦試験機的设计・製作⁷⁾

まず、鉄鋼会社、ロール製造会社、及び海外の大学が設計・製作した二円筒型と呼ばれる熱間転動摩擦試験機の基本形状を詳細に比較した。そして、ロール材料の質量変化から摩擦量が求まること及びロール材料と被圧延材料の接触面の圧力がロール軸方向に比較的一様であることより、ロール材料の幅を被圧延材料の幅よりも小さくした。また、誘導加熱の有限要素解析により、被圧延材料の表面が900℃になった場合でも、円筒の被圧延材料を固定する軸が熱くならないように被圧延材料の外径を決定した。図3に設計・製作した熱間転動摩擦試験機を示す。更に、この試験機を用いた摩擦実験より、ハイスロールの摩擦量がニッケルグレンロールの摩擦量の約1/3であることを示した。

3.2 熱間転動摩擦試験の有限要素解析⁸⁾

熱間転動摩擦試験における摩擦メカニズムを明らかにするために有限要素法による熱弾塑性解析を行った。ここで、解析における熱間転動摩擦試験機の基本形状を3.1の実験におけるそれに一致させた。まず、被圧延材料を所定の温度にするために2次元軸対称解析を行って、被圧延材料の温度分布及び熱による変形を求めた。次に、この解析の結果を用いて、熱間転動摩擦試験の3次元解析を行って、ロール材料及び被圧延材料の温度分布及び接触面圧力分布を求めた。更に、

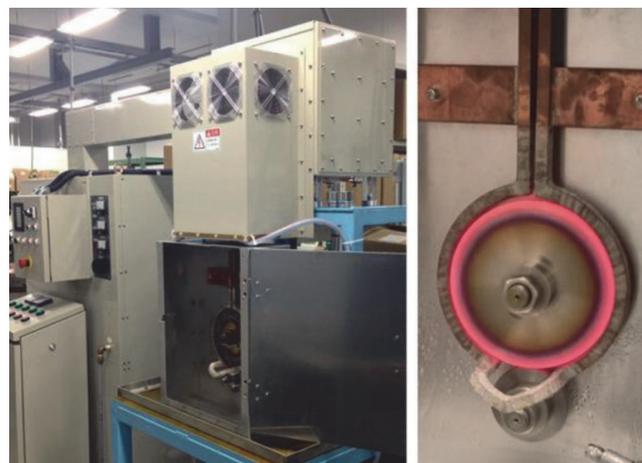


図3 設計・製作した熱間転動摩擦試験機

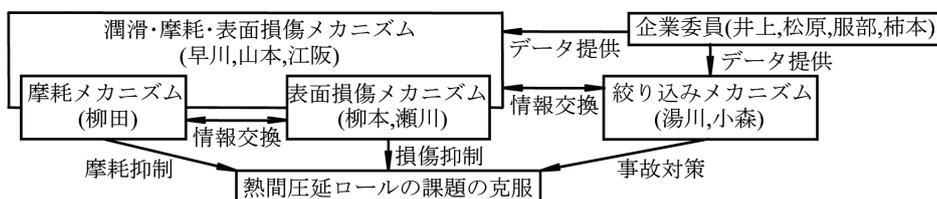


図2 研究体制

Archardの摩耗式⁹⁾を使って、摩耗量を推定した。図4にロール材料の温度分布を示す。

3.3 黒皮が接触面の熱伝達に及ぼす影響¹⁰⁾

実験及び有限要素解析から接触面の熱伝達係数を同定して、黒皮の厚さと黒皮の熱抵抗の関係を明らかにした。まず、実験を容易に行うために、熱間圧延における材料とロールの接触を、繰り返された熱間単軸圧縮における材料とパンチの接触に置き換えた。そして、繰り返し単軸圧縮において生成した黒皮の厚さ及びその成分を測定した。また、実験より求めた接触面近傍のパンチの温度履歴と熱剛塑性解析より求めたその差が最も小さくなるように、解析において接触面の熱伝達係数を同定した。熱抵抗は熱伝達係数の逆数である。図5に黒皮の厚さと黒皮の熱抵抗の関係を示す。

3.4 絞り込みの数値シミュレーション¹¹⁾

剛塑性有限要素法による板の蛇行解析と座屈の初等理論による板の座屈解析を組み合わせた解析法により、絞り込みの数値シミュレーションを行った。まず、板の蛇行解析を行って、解析より求まる板の蛇行量が、圧延の初等理論により求まる板の蛇行量¹²⁾に一致することを確認した。図6に板の進行量と板の蛇行量の関係を示す。次に、板の蛇行解析及び板の座屈解析を行って、圧延前の板幅方向の板厚差、圧延前のロール軸方向のロール間隙差、そして圧延前の板幅方向中心座標とロール軸方向中心座標のずれ量が絞り込みの発生に及ぼす影響を明らかにした。

3.5 多合金白鑄鉄の組織が耐摩耗特性に及ぼす影響¹³⁾

8種類の化学組成の異なる試料を用いて、硬さ、残留オーステナイト量、炭化物の種類及び量の異なる試験片を作製し

た。そして、組織観察、硬さ試験、残留オーステナイト量の測定、摩耗試験等により耐摩耗特性を評価した。ここで、往復運動摩耗試験機¹⁴⁾の1つであるスガ式摩耗試験機を用いた。図7に炭化物総量と摩耗速度の関係を示す。基本組成試料であるNo.5では、Vを主体としたMC炭化物及びMo、Wを主体としたM₂C炭化物が分散する。図中の矢印の上の文字は増加する炭化物の種類を示す。摩耗速度は炭化物の種類及び量に依存した。更に、基地の硬さ、炭化物の種類及び量から摩耗速度を求める実験式を提案した。

4 おわりに

「熱間圧延ロール研究会」の活動と成果の概要を紹介した。本稿に興味を持たれた読者は、「鉄と鋼」の平成30年12月号の特集「熱間圧延ロールの課題の克服」及び同研究会の成果報告書を御参照頂きたい。

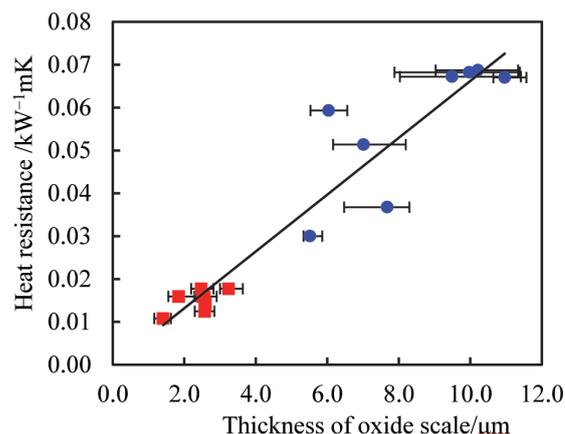


図5 黒皮の厚さと黒皮の熱抵抗の関係

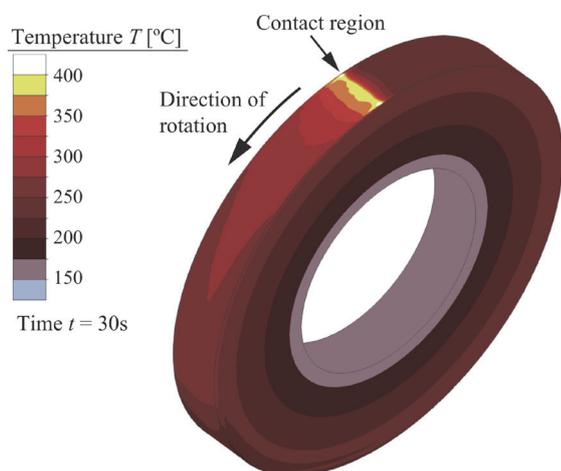


図4 ロール材料の温度分布

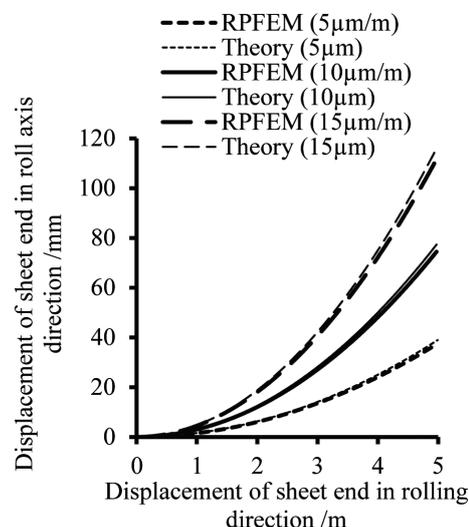


図6 板の進行量と板の蛇行量の関係

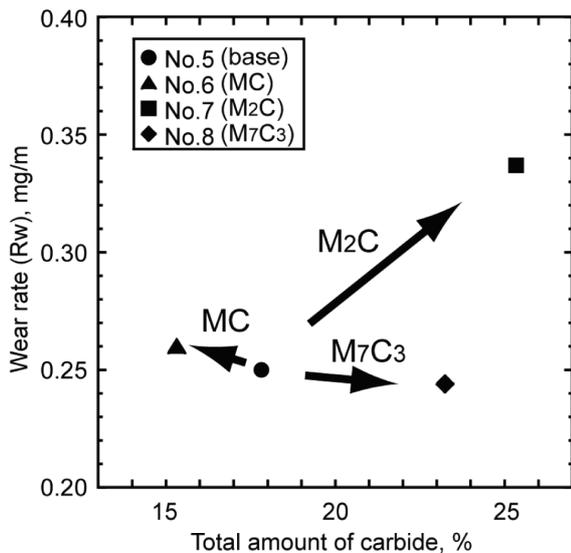


図7 炭化物総量と摩耗速度の関係

冷間圧延あるいは冷間鍛造を行うためには、圧延機あるいは圧縮試験機があれば良い。しかし、熱間圧延あるいは熱間鍛造を行うためには、加熱炉あるいは誘導加熱コイルが必要である。これらは高価であり、これらを保有している大学や高専の教員は必ずしも多くない。そのため、同研究会の研究のように熱間加工に関する研究を行うことは、冷間加工に関する研究を行うことに比べて一般にかなり稀である。しかし、熱間加工に関する研究が、冷間加工に関する研究に勝るとも劣らないことは言うまでも無い。従って、同研究会の研究のような熱間加工に関する研究が、今後盛んに行われることを期待する。

同研究会の特徴は、大部分の同研究会の大学・高専委員が、同研究会のために新たな研究テーマを立ち上げた、ことである。そのため、同研究会の3年間の活動期間において、必ずしも十分な研究成果が得られなかった、ことは否めない。しか

し、本稿により1人でも多くの読者が熱間圧延ロールに興味を持つことを期待する。また今後、同研究会を引き継ぐ新たな研究会が立ち上がり、熱間圧延ロールに関する課題が更に克服されることを希望する。

最後に、本研究会設立のための研究準備会において多大な御指導を賜った、創形創質工学部会の板工学フォーラムの運営委員であり元部会長でもある、阿高松男先生、小豆島明先生、藤田文夫先生に感謝する。

参考文献

- 1) 木原諄二：鉄と鋼, 80 (1994), N386.
- 2) 佐野義一：塑性と加工, 44 (2003), 130.
- 3) 木原諄二, 銅屋公一, 中村一元, 吉原達夫, 佐野義一：鉄と鋼, 69 (1983), 782.
- 4) 野口紘, 田中智夫, 川元孝一, 梅本純生：鉄と鋼, 70 (1984), 1452.
- 5) 加藤治, 川並高雄：塑性と加工, 28 (1987), 264.
- 6) 後藤邦夫, 間瀬俊朗：鉄と鋼, 77 (1991), 107.
- 7) 柳田明, 氏家龍一, 大井陸：鉄と鋼, 104 (2018), 722.
- 8) 早川邦夫：鉄と鋼, 104 (2018), 728.
- 9) 笹田直：摩耗, 養賢堂, 東京, (2008), 32.
- 10) 藤原昌平, 阿部英嗣, 湯川伸樹：鉄と鋼, 104 (2018), 735.
- 11) 小森和武：鉄と鋼, 104 (2018), 742.
- 12) 日本鉄鋼協会編：板圧延の理論と実際, 日本鉄鋼協会, 東京, (1984), 240.
- 13) 山本郁, 笹栗信也, 松原安宏：鉄と鋼, 104 (2018), 750.
- 14) 松下静夫, 矢島勝司, 外山靖人：金属表面技術, 37 (1986), 415.

(2019年7月12日受付)