

氏名	酒井 悠正
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第478号
学位授与の日付	令和元年9月20日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	焼嵌め接合で構成されたスリーブ組立式ロールにおける技術課題の解明 (Clarification of several technical problems in sleeve assembly type roll composed by shrink fitting)
論文審査委員	主査 教授 野田 尚昭 " 秋山 哲也 " 赤星 保浩 " 松田 健次 技術顧問 佐野 義一(丸栄化工株式会社)

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

製鉄所において圧延，メッキ，酸洗などに多くのロールが用いられている．その呼称は，主として圧延に用いられるものをロール，それ以外の用途ではローラと呼ばれることも多く，明確に区別されていない．製鉄所で最も多く用いられているのは，中間製品や製品移送に用いられる搬送用ロールで，これは他の多くの産業でも使用されている．鉄鋼に用いられる多くのロール，ローラは，使用条件や使用環境などにより比較的早期に胴部表面に摩耗を生じ，許容範囲を越えると，装置から組外されて，平坦な面に修正加工されて，繰り返し使用される．繰り返し使用されて廃却径に達するとロール全体を交換する必要がある．一方，軸部は多くの場合使用できる状態にある．したがって，多くの場合，胴部を中空スリーブ状にして，これに軸部を焼嵌め等で組立てるスリーブ組立構造が採用されてきた．

本研究の主たる対象の鋼板圧延ロールでは，ロール全体を取り換え，新しいロールに取り換えるが，廃却径に達したロールはスクラップされ，原料の一部として再利用される．ロール全体を再製作する方法は，再溶解や加工に要するコストやエネルギーの面から好ましくない．そして，資源・エネルギー問題の動向を追風に，70年代頃から，熱間圧延ロールにおいても，補強ロールついで作動ロールに対して，スリーブ組立式ロールの開発が行われてきた．開発当初，補強ロールの軸心の曲がり問題となった．その後，作動ロールの段階でスリーブが割れる事例が報告されており，これはスリーブすべりと呼ばれる現象に起因して生じるものと考えられてきた．これは焼嵌め式ロールに固有の問題であるため，スリーブ割れ防止のためには，スリーブすべりのメカニズム解明は必須である．またこれ以外のスリーブ組立式ロール固有の問題として，使用後にロール軸に曲がり残る残留曲がり，外・内層が異材質からなる複合スリーブの内層強度の確保，さらには内層中の引張残留応力低減化の問題がある．

鉄鋼圧延ロール以外でのスリーブ組立式ロールとして，セラミックスを用いたロールの開発も世界に先駆けて進められてきた．中でもメッキ浴中ロールは，軸を含むオールセラミックロールとし

て実用段階に迄到り、さらに実用化研究が継続されている。

そこで本論文では、焼嵌め接合で構成されたスリーブ組立式ロールのうちで、鋼板圧延ロールにおけるスリーブ組立式ロール固有の技術課題の解明を中心に、計6章で構成されており、その各章は以下のように成っている。

第1章では焼嵌め型スリーブ組立式ロールの現状と問題点について述べている。焼嵌め接合で構成されたスリーブ組立てロールは、従来の胴部・軸部一体型式ロールと比べ利点も多いが、残留曲がりやスリーブ廻りなど固有の問題も有しているため、本論文で取り扱うロールを挙げながらそれらについて述べている。

第2章では熱間鋼板圧延用ロールを対象として、スリーブすべりの要因である界面クリープの生成メカニズムについて考察している。界面クリープとは焼嵌め面での微小相対変位が蓄積し、結果としてスリーブすべりを引き起こす要因の1つである。外力などに対して釣り合いの取れている準静的な状態において、焼嵌め面の軸部・胴部間で相対変位が発生することは本シミュレーションによって初めて明らかとなった。またこの準静的な状態において、焼嵌め面で相対変位が発生する際、応力準平衡域と呼ばれる領域での残留変位の存在から、微小変位が蓄積する可能性を指摘している。

第3章では前章同様に、熱間鋼板圧延用ロールを対象として、圧延トルクや焼嵌め条件などの因子が界面クリープに与える影響を考察している。ここでは先ず、駆動トルクが界面クリープに与える影響を考察している。また、抵抗トルクのパラメータである焼嵌め率と焼嵌め面の摩擦係数を変化させ、駆動トルクの有無が界面クリープに与える影響についても考察している。

第4,5章では焼嵌め構造を有するセラミックスリーブロールにおける強度に着目し、4章では酸洗ロール、5章ではメッキ浴用ロールを取り扱っている。酸性ロールは胴部・軸部と胴部の間にスパーサーリングも設けている。これにより、曲げ負荷が加わっても片当りが生じ難くなり、スリーブとスパーサーリングが接触部全域にわたって良好な接触状態(固着状態)になることが分かった。メッキ浴用のロールとしてはセラミックロールを浸漬する際の焼嵌め面の接触状態および熱応力を考察している。ロール浸漬時、軸部・胴部間の焼嵌め面で一部非接触の状態が生じるが、浸漬時間の経過とともに接触状態が回復することなどが分かった。

第6章は、総括でありこの研究で得られた主要な結論を要約している。

## 学位論文審査の結果の要旨

製鉄所において圧延、メッキ、酸洗などに多くのロール(圧延に使われないものをローラーと呼ぶこともある)が用いられる。例えば、搬送用ロールは最も多く用いられ、製鉄所以外でも使用される。これらのロール胴部表面に摩耗が生じると、胴部を平坦な面に修正加工し、廃却径に達するまで繰り返し使用される。廃却径に達しても、多くの場合、軸部はまだ再使用できる。よって、胴部を中空スリーブ状にして、これに軸部を再使用して焼嵌めするスリーブ組立式ロールが注目され

てきた。例えば、熱間圧延用の補強ロールでは、過酷な条件下で生じる軸心の曲がりに対処しながら、スリーブ式ロールが開発されてきた。その応用範囲は広く、オールセラミック製シンクロールも実用化が進むなど、セラミックスの脆性を考慮した焼嵌め接合法が研究された成果がみられる。

本論文は、スリーブの長寿命化と軸の繰り返し使用を可能とし、地球環境に優しい長所を有する、焼嵌め接合で構成されたスリーブ組立式ロールを研究している。その構造に起因する技術的課題の解決に向けて、以下に示す6つの章から構成されている。

第1章では焼嵌め型スリーブ組立式ロールの現状と、これまで未解決の技術課題についてまとめている。焼嵌め接合で構成されたスリーブ組立てロールは、従来の胴部・軸部一体型式ロールと比べ長所も多いが、この構造に固有の問題を有するので、その解決の必要性を説明している。例えば、スリーブ組立式ロールにおける界面クリープに関する研究は他に見当たらないので、類似の転がり軸受けのクリープ現象に関して過去の研究を調査しており、弾性ひずみの蓄積によって生じる可能性が報告されているけれども、生成機構を解析的・定量的に取り扱った報告は見当たらないことを指摘している。

第2章では熱間鋼板圧延用ロールを対象として、自由転がり条件下でスリーブすべりを数値シミュレーションにより考察している。スリーブすべりが界面クリープによって生じることを、焼嵌め面での軸に対するスリーブの微小相対変位がロール回転に伴って蓄積し、結果としてスリーブすべりを引き起こすことを明らかにしている。外力などに対して釣り合いの取れている準静的な状態において、スリーブ・軸間焼嵌め面での相対変位が発生することや、焼嵌め面でせん断応力と摩擦応力が等しい領域に局所的なすべりが生じ、相対変位を引き起こすことなどを本シミュレーションによって初めて明らかにしている。

第3章では熱間鋼板圧延用ロールの界面クリープ現象において、モーターの駆動トルクや焼嵌め条件などの影響を考察している。駆動トルクの増加とともに界面の変位が増加することや、その加速効果を摩擦応力とせん断応力が等しい“すべり域”の概念から説明している。また焼嵌め率と焼嵌め面の摩擦係数を変化させ、駆動トルクの有無が界面クリープに与える影響についても考察している。

第4章では、腐食環境下で使用される焼嵌め構造を有するセラミックスリーブロールの機械的負荷による強度の問題を取り扱っている。酸洗用の大口径ロールは、胴部・軸部と胴部の間にスペーサーリングを設けて合計4か所の焼嵌め接合で構成されている。これにより、曲げ負荷が加わっても片当りが生じ難くなり、スリーブとスペーサーリングが接触部全域にわたって良好な接触状態（固着状態）になるとしている。また、スリーブ厚みを薄くした場合に最大応力がスリーブ外側に生じるなど、これまでの常識と異なる現象についても合理的に説明している。

第5章では、高温環境下で使用される焼嵌め構造を有するセラミックスリーブロールの熱的負荷による強度の問題を取り扱っている。メッキ浴用セラミックロールを熔融金属中に浸漬する際の熱応力を、焼嵌め面の接触状態の変化も含めた詳細な解析により考察している。ロール浸漬時に、軸部・胴部間の焼嵌め面で一部非接触の状態が生じるが、浸漬時間の経過とともに接触状態が回復することなどを説明している。また、ロールの浸漬速度を変えた場合の焼嵌め面の接触状態の変化や、その最大応力への影響も明らかにしている。

第6章は、総括でありこの研究で得られた主要な結論を要約している。

以上のように、本論文では、種々の長所を有するスリーブ焼嵌め式ロールを取り上げ、圧延用、メッキ用、酸洗用ロールに応用する際に問題となる技術課題の解明に取り組んでいる。たとえば、熱間圧延用ロールの界面すべりにおける各種設計要因の影響を明らかにした本研究の知見は、スリーブ組立式ロールの設計や信頼性向上に大きく貢献するものと期待される。よって本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認められる。

なお、本論文に関し、審査委員並びに公聴会出席者からは、解析モデルの設定、焼嵌め面での接触面積、接触問題の解析方法、界面すべりにより生じる損傷等について詳細な質問がなされたが、いずれも適切な回答がなされた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）に十分値するものであると判断した。