

氏名	長 田 晴 裕		
学位の種類	博 士 (工学)		
学位記番号	工博甲第246号		
学位授与の日付	平成19年3月23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	フローティングシール用ニハード系鋳鉄の耐摩耗性向上に関する研究		
論文審査委員	主 査	教 授	兼 田 楨 宏
		”	山 本 雄 二 (九州大学)
	客員教授		池 田 満 昭 (生命体工学研究科)
	教 授		長谷部 光 弘
	”		原 田 昭 治
	助 教 授		松 田 健 次

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

メカニカルシールの1種であるフローティングシールは、建設機械や農業機械の足回り用軸受部のシールとして開発されたものであり、汚泥の浸入、潤滑油の漏洩防止を目的としている。フローティングシールの破損は機械稼働率の低下を招くばかりでなく、近年特に注目されている環境問題において土壌のオイル汚染を招くため、このシールの信頼性向上は大変重要な課題である。

フローティングシールの信頼性向上をはかる方策としては二つのアプローチが考えられる。一つは構造からのアプローチであり、他はしゅう動材からのアプローチである。しゅう動材には、ニハード系鋳鉄とクロムモリブデン鋳鉄が主に用いられている。ニハード系鋳鉄は、遠心鋳造法により製品形状に近い形に成形し熱処理工程を含まない鋳放し状態で高い硬さの製品を製造出来るという優れた特長を有する。従って、この特長を維持したまま現行のニハード系鋳鉄の耐摩耗性を高めることは工業的に大きなメリットがあり、フローティングシールとしての信頼性や耐環境性の向上につながる。しかし、トラックローラ用フローティングシールのしゅう動材として使用されているニハード系鋳鉄のスラリー中での摩耗特性、摩耗機構は未だ明らかにされていない。

本論文は、上記事実を鑑み、ニハード系鋳鉄を構成する元素の中で、耐食性、摩耗特性に最も顕著な影響を及ぼすと考えられるクロムに着目し、クロム含有量と鋳物組織、摩擦摩耗特性の関係から摩耗機構を解明し、その摩耗機構に基づいた耐摩耗性向上の研究指針を得るとともに、最適クロム含有量を探索し、クロム量変更により耐摩耗性が現行組成よりも向上することを実用フローティングシールにより確認したものである。以下に本論文の内容を示す。

第1章は序論であり、本研究の意義と目的および内容について述べ、フローティングシールの機能が汚泥の浸入、潤滑油の漏洩防止にあることから、最適しゅう動材を探索するためには油を分散媒としたスラリー及び水を分散媒としたスラリー中の摩耗機構を個別に解明することが必要であるとの研究指針を確立した。

第2章では、ニハード系鋳鉄材の摩擦摩耗特性とフローティングシールとしての摩耗特性を調べるための鋳物試料の作製方法、試料の各種性質、試験片形状、本研究で用いた実験装置の構造、実験方法について述べた。

第3章では、クロム量 1.7、3、5、7、9mass%のニハード系鋳鉄材の金属学的・化学的性質に及ぼすクロム量の影響を調査し、硬さは組織の構成相に依存して複数のピークを持つ分布を呈すること、構成相はクロム含有量が多くなるとオーステナイト相や  $M_7C_3$  炭化物が増加すること、工業用水に浸漬したときの侵食度はクロム含有量の影響を受けることなどを明らかにした。

第4章では、ニハード系鋳鉄のスラリー中での摩擦摩耗特性に及ぼすクロム量の影響を検証した。すなわち、オイルを分散媒としたスラリー中では、オイル粘度の減少、クロム量の増加とともに摩耗量は減少すること、工業用水を分散媒としたスラリー中ではクロム量が5mass%を超えると摩耗量は

増加し摩擦面は大きなうねりを生じそれらが回転側と静止側でほぼ完全にかみ合っており、工業用水とほぼ同一粘度で腐食性のないキシレン中での摩耗量はクロム量に依存せず0であることなどを明らかにした。これらの実験結果と第3章で明確にされたニハード系鋳鉄の金属学的・化学的特性に立脚し、各分散媒中での摩耗機構を提唱した。すなわち、ニハード系鋳鉄を腐食させないオイルを分散媒としたスラリー中では、オイルの粘度が高い場合には潤滑膜が厚く形成されしゅう動面間が分離されやすく、アブレッシブ粒子は摩擦面間に入り込みやすい。その結果、摩耗は、まず、相対的に硬さの低い基地部分に起こる。したがって、基地部分は炭化物よりも高さが低くなり、摩耗量は炭化物部の硬さによって支配される。クロム含有量が多いほど炭化物の硬さが高いため、クロム含有量の増加にしたがって比摩耗量は減少する。一方、工業用水を分散媒としたスラリー中では、マルテンサイトと炭化物間で接触腐食を生じ、マルテンサイトが腐食される。また、流体の粘度が低いため摩擦面の直接接触は避けられず凝着摩耗が発生する。この凝着摩耗及びアブレッシブ粒子によるアブレッシブ摩耗は腐食生成物を除去し、更なる腐食をもたらすことによって摩耗が進行する。クロム含有量の増加とともに残留オーステナイトが増加し、マルテンサイトが低下するため、比摩耗量はクロム含有量の増加とともに増加する。したがって、クロム含有量の増加はオイルを分散媒とした場合と工業用水を分散媒とした場合において全く逆の摩耗量をもたらすことから、両者の摩耗量の和の最低値を与える最適クロム量として5mass%を決定した。

第5章では、第4章で得た最適クロム含有量のシールリングを試験片とした実用フローティングシールを試作し、その耐摩耗特性が現行組成のシールリングよりも向上していることを確認した。

第6章は総括であり、本研究の成果を要約し、今後の研究課題について言及した。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文は、トラックローラ、すなわち建設機械の足回り用軸受部のシールであるフローティングシールのしゅう動面に使用されているニハード系鋳鉄の摩耗機構を実地使用環境モデル下で明らかにし、その機構に立脚して優れた耐摩耗性をもたらすニハード系鋳鉄のクロム含有量を決定し、その正しさを実機対応試験によって確認したものである。

フローティングシールの役割は、外部からの汚泥水の浸入ならびに機器内部からの潤滑油の漏洩を防止することである。ニハード系鋳鉄は、遠心鋳造法により製品形状に近い形に成形し熱処理工程を含まない鑄放し状態で高い硬さの製品を製造出来るという優れた特長を有しているため、この特長を維持したままニハード系鋳鉄の耐摩耗性を高めることは工業的のみならず経済的にも極めて有為である。しかしながら、ニハード系鋳鉄のスラリー中での摩耗機構は未だ明らかにされていないため、耐摩耗性に優れたシール材の開発は試行錯誤に頼らざるを得ないのが実状である。

これに対して著者は、ニハード系鋳鉄構成成分のクロムに着目して論理に裏打ちされた実験事実の蓄積によって、クロム含有量と鋳物組織並びに摩耗量及び摩耗形態の関係からニハード系鋳鉄のスラリー中での摩耗機構を解明し、その結果に基づいた極めて巧妙な手法によって最適耐摩耗性をもたらす最適クロム含有量を求めることに成功している。

まず、乾燥アブレッシブ粒子混入下で実施された従来の研究を詳細に検討して、ニハード系鋳鉄を構成する元素の中でしゅう動材としての検討が遅れているものの耐摩耗性に顕著な影響を及ぼすものはクロムであることに着目し、研究遂行の敏速化のために他の元素含有率をほぼ現状のものとしてクロム含有率を1.7 mass%から9 mass%の範囲で振った5種類の研究対象ニハード系鋳鉄を選定している。さらに、最適しゅう動材を探索するためには油を分散媒としたスラリー中及び水を分散媒としたスラリー中での摩耗機構を個別に解明することが必要不可欠であるとの研究指針を確立している。また、選定したニハード系鋳鉄材及び同深冷処理材のX線回折によって試験材の組織とクロム含有量との関係を明らかにするとともに、組織構成層の硬さをナノインデンテーション法によって測定し、硬さ分布は組織の構成相に依存してマクロ的に複数のピークを持つことを指摘している。さらに、工業用水浸漬によって選定材は浸食されるがその浸食度はクロム含有量の影響を受けること、その原因はX線回折の結果から判断して炭化物層とマルテンサイト層間の接触腐食にあることを指摘して、摩耗機構解明の基盤を得ている。

次いで、ニハード系鋳鉄のスラリー中での摩擦摩耗特性に及ぼすクロム含有量の影響を摩擦摩耗試験機を用いて多面的且つ詳細に検証している。工業用水を分散媒としたスラリー中での摩擦係数は大略0.7であり、オイルを分散媒としたスラリー中での摩擦係数の約7倍であって、摩擦面は凝着摩耗の形態を呈すること、後者の場合にはオイル粘度の減少並びにクロム含有量の増加とともに摩耗量は減少するが、前者の場合はクロム含有量の増加とともに摩耗量は増加すること、スラリーが存在しない条件での摩耗量は後者の場合は計測不能、前者の場合は存在する場合と比較して約1/5に低下すること、工業用水とほぼ同一粘度で腐食性のないキシレン中での摩耗量はクロム含有量に依存せず0であることなどを見出している。これらの実験事実とニハード系鋳鉄の機械的、物理化学的特性に立脚して筆者は各分散媒中での摩耗機構を提唱している。すなわち、オイルを分散媒としたスラリー中ではアブレッシブ摩耗が主体であって、摩耗は相対的に硬さの低い基地部分に起こるため摩耗量は炭化物部の硬さによって支配されること、工業用水を分散媒としたスラリー中では凝着摩耗及びアブレッシブ粒子によるアブレッシブ摩耗が腐食生成物を除去して更なる腐食が進行する腐食摩耗が主体であるとの結論を導いている。したがって、クロム含有量の増加はオイルを分散媒とした場合と工業用水を分散媒とした場合において全く逆の摩耗量をもたらすことになるため、フローティングシールのしゅう動材としては両者の摩耗量の和の最低値を与えるものであるべきであるとの視点から最適クロム含有量として5mass%を決定している。

最後に筆者は、クロム含有量5mass%の実用シールリングを試作し、実機対応試験機を用いてその耐摩耗特性が現行組成のものよりも格段に優れていることを実証して研究目的を達成している。

以上要するに、本論文はトラックローラ用フローティングシールのしゅう動面に使用されているニハード系鋳鉄の摩耗機構を究明することによって高い耐摩耗性をもつ材料選択の基盤を確立したものであり、機械工学上寄与するところが大きい。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硬度測定の妥当性、摩耗機構決定の妥当性、腐食機構、試験片作成法の妥当性など多岐に渡る質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。