

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	浸炭焼入れ鋼のトライボロジー特性向上に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	田村幸雄
Author(English)	Yukio Tamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11919号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:平田 敦,大竹 尚登,佐藤 千明,赤坂 大樹,田原 正樹,田中 真二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11919号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	田村 幸雄		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	大竹 尚登	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	田中 真二	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

建設機械用歯車には過酷な稼働環境下における高い信頼性・耐久性が求められ、従来から鋼の浸炭焼入れ処理により歯車の表面損傷を防止してきた。しかし、近年、鋼の熱処理による高強度化技術開発は飽和しつつある。そこで本研究では、浸炭焼入れ鋼表面のトライボロジー特性の向上に着目し、摩擦面のトライボロジー的な遷移、いわゆる「初期なじみ」の指標として、表面粗さと比摩耗量の変化および潤滑油添加剤由来の摩擦生成物（トライボフィルム）の形成現象をとりあげ、これらの現象が表面損傷に及ぼす基礎的知見を得るとともに、初期なじみの改善による表面損傷の防止技術確立に向けた設計指針を得ることを目的とした。

本論文は、以下の全7章より構成される。

第1章「緒論」では、本研究の背景、浸炭焼入れ鋼のトライボロジー特性および転動疲労に関する従来の研究、表面コーティングによるトライボロジー特性改善の技術動向を概観し、研究目的と論文の構成について述べた。

第2章「硬質コーティングが表面硬化鋼のトライボロジー特性に及ぼす影響」では、ダイヤモンド状炭素（Diamond-like carbon; 以下 DLC）等の硬質コーティングを取り上げ、潤滑油添加剤の組み合わせが異なる二種類の実用油（完全配合油）潤滑下において、DLCが摩擦相手である表面硬化鋼のトライボロジー特性に与える影響について、摩擦・摩耗試験機により検討し、水素化 DLC (a-C:H) は、実用油の種類によらず摩擦係数の低下および耐摩耗性の向上を実現することを明らかにした。また、WCを含む水素化 DLC (a-C:H:W) では、S系添加剤を含む実用油において WS₂ の形成および DLC 由来のグラファイトの特徴をもつ移着膜の生成が低摩擦化を促進することを示した。以上の結果を総括して、トライボフィルムと摩擦係数および鋼の耐摩耗性の関係を整理した結果、摩擦係数の低減率は摩擦面上の硫化物/リン酸塩の存在比と正の相関があり、耐摩耗性は摩擦面のリン酸塩濃度と負の相関があることを示した。

第3章「実用油潤滑下の MnP の初期なじみ特性とトライボロジー特性の関係」では、まず実用油潤滑下において MnP の表面粗さおよび MnP 形成状態が MnP 自身および摩擦対である浸炭焼入れ鋼のトライボロジー特性に与える影響を摩擦・摩耗試験機を用いて詳細に調査し、MnP が長時間にわたり残存する場合、鋼の耐摩耗性も向上することを明らかにした。さらに、MnP が鋼の転動疲労の初期現象である表面き裂発生に及ぼす影響について検討した結果、MnP 処理鋼においては、MnP の摩滅にとまない露出する鋼基板表面にはき裂が発生し、トライボフィルムの形成も顕著であることを示した。

第4章「MnP 処理後の鋼界面テクスチャが表面初期き裂発生に及ぼす影響」では、MnP の前処理として研削加工仕上げを行った基材 (G+MnP) とショットブラスト処理を行った基材 (G+SB+MnP) では、MnP と鋼の界面テクスチャが変化することを明らかにした。次に、転がり-すべり試験により MnP 処理された鋼のトライボロジー特性および接触表面形状の変化を調査し、G+MnP の摩擦面に点在している鋼露出面（突起部）の平均面積は G+SB+MnP に比して小さく、この違いは MnP 化成処理工程で形成された界面テクスチャを反映したものであることを明らかにした。さらに、鋼露出面積が大きな箇所では表面き裂が優先して生じることを示し、大きな鋼露出面を多数有する G+SB+MnP 基材の表面き裂発生箇所数は、G+MnP 基材と比較して顕著に多いことを明らかにした。以上の結果から、MnP 化成処理後の界面テクスチャにおける突起部の表面積が 100 μm² 程度以下であり、これらの突起部が界面横方向に多数分散 (> 1,000 点/mm²) した形態とすることが、表面初期き裂数を低減させる観点から望ましいことを示した。

第5章「潤滑油添加剤が MnP と鋼のトライボロジー特性に及ぼす影響」では、潤滑油添加剤由来のトライボフィルム形成と鋼の摩耗との関係に着目し、完全配合油 (Fully formulated oil: FFO) および完全配合油に含まれるジアルキルジチオリン酸亜鉛に着目した油 (+ZnDTP)、過塩基性 Ca 清浄剤に着目した油 (+Ca detergent) を使用したしゅう動試験を行った。その結果、MnP 摩滅後の鋼露出面は、FFO および+ZnDTP 潤滑下では摩耗が進まずき裂が認められるが、+Ca detergent 潤滑下では数μm 深さの摩耗が進むとともに、き裂発生が抑制されることを明らかにした。次に、摩耗を左右するトライボフィルム形成について詳細な調査を行い、+Ca detergent 油では鋼摩擦表面が試験初期にはトライボフィルムの形成がほとんど認められず摩耗が進行しやすい状況であるが、試験後期には早期に 100 nm 程度までトライボフィルム形成が進む FFO および+ZnDTP 油の場合と同等の厚みを持ち、CaCO₃ および CaO から構成されたトライボフィルムの形成により、耐摩耗性が向上することが明らかにした。

第6章「MnP と DLC の組合せによる浸炭焼入れ鋼のトライボロジー特性の改善」では、第5章で着目した潤滑油添加剤によるトライボフィルム形成挙動の違いを活用した適度な摩耗進行による初期き裂発生抑制とは異なる観点

として、MnP 処理された鋼の摩擦対の改善について実現可能性調査を行い、a-C:H:W は MnP 処理試験片の摩耗および摩擦係数を増大させることなく、MnP 摩滅後の鋼露出面の平滑化およびき裂発生抑制が可能であることを明らかにし、初期なじみの改善による表面損傷の防止技術確立に向けた設計指針を得た。また、き裂発生の抑制された基材に共通の特徴として、き裂発生基材に比して試験初期の固体接触期間が長い特徴があることを示した。第 7 章「結論」では、本論文で得られた結果について総括し、今後の展望について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	田村 幸雄		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	大竹 尚登
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	田中 真二

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Gears for construction machinery are required to have high reliability and durability under harsh operating environments, and conventionally, the surface damage of gears has been prevented by case carburized steel. However, in recent years, the development of high-strength technology by heat treatment of steel is becoming saturated. Therefore, this study focused on the improvement of tribological properties of the case carburized steel from the viewpoint of so call "running-in", which is defined as the sequential change of frictional surface morphology. With the aim of the establishment of technology to prevent surface damage, as a factor of improving the running-in, the tribological properties of Diamond-like-carbon (DLC) and manganese phosphate (MnP) coating were evaluated in detail using a ball-on-disk tribometer. The exposed steel surfaces after MnP coating worn away were protected from wear by the evolution of tribofilm under the lubrication of either a fully formulated oil (FFO) or a test oil containing ZnDTP (+ZnDTP). Conversely, surface-initiated cracks were formed on the exposed steel surfaces. However, using a test oil containing Ca detergent (+ Ca detergent), wear in several μm on the exposed steel surfaces where no cracks were observed were progressed. Therefore, the worn surfaces lubricated with the +Ca detergent were investigated in detail to clarify the relationship between wear and the crack formation. It was found that no or less tribofilm formation and cracks on the worn surfaces occurred and the wear of steel was likely to proceed at the beginning of the tribological test. However, the wear resistance is improved by forming a tribofilm composed of CaCO_3 and CaO , which has the same thickness of about 100 nm as the case of FFO and + ZnDTP oils in the latter stage of the test. It was clarified that a:C:H:W can smooth the exposed steel surface and suppress the occurrence of cracks after MnP wear without increasing the wear and friction coefficient of the MnP-coated sample. In addition, it was shown that the tribo-pair of a:C:H: W and MnP-coated steel without the occurrence of the surface-cracks has longer solid contact period at the initial stage of the tribological test than the tribo-pair of steel and MnP-coated steel with crack formation.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).