

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	田村 幸雄	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	平田 敦	教授	田原 正樹	准教授
	審査員	大竹 尚登	教授	田中 真二	特任准教授
		佐藤 千明	教授		
		赤坂 大樹	准教授		

論文審査の要旨(2000字程度)

本論文は「浸炭焼入れ鋼のトライボロジー特性向上に関する研究」と題し、以下の7章より成る。第1章「緒論」では本研究の背景、目的および概要を述べている。歯車をはじめとする建設機械用部品には、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、主に鋼の浸炭焼入れ処理により部品の表面損傷を抑止してきたが、熱処理による大幅な高強度化は困難になっていることを指摘している。そして、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トライボフィルムの形成現象を取り上げ、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が本研究の目的であると述べている。

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、Diamond-like carbon (DLC)膜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2種類の実用油潤滑下において、DLC膜が摩擦対である表面硬化鋼のトライボロジー特性に与える影響を摩擦・摩耗試験機により検討している。水素化DLC膜では、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が確認され、WCを含む水素化DLCでは、S系添加剤を含む実用油潤滑下においてWS₂の形成およびDLC膜由来の移着膜の生成が低摩擦化を促進する一方で、ジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZnDTP)添加剤を含む実用油潤滑下においてはWO₂およびWO₃が生成することで摩擦係数が低下しないと述べている。そして、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明らかにしている。

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、浸炭焼入れ鋼に形成したリン酸マンガン(Mn(PO₄)_x:MnPと略す)皮膜が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調査し、MnP皮膜の表面粗さが小さい場合、MnP皮膜が長時間にわたり残存し続けることで、摩擦対の鋼の摩耗量が低下することを明らかにしている。次に、MnP皮膜の摩耗メカニズムについて、ドライ環境下の摩擦・摩耗試験も併用して詳細な検討を加え、MnP自身はしゅう動中に容易に塑性変形し、変形後の平滑表面は低摩擦係数を示すことを明らかにしている。さらに、MnPの摩滅にともない露出する鋼基板表面はき裂の発生が顕著である一方、トライボフィルムの形成も促進されることを示している。

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、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、MnP 皮膜の巨視的な摩耗挙動は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) で同等であるが、比較的大面積の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ている。そして、比較的大きい表面粗さを有する MnP 皮膜においては、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 $100 \mu\text{m}^2$ 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/ mm^2) した形態とすることが、表面き裂発生箇所数を低減させる観点から望ましいことを示唆している。

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), ZnDTP 添加油 (+ZnDTP) および過塩基性 Ca 清浄剤添加油 (+Ca detergent) を使用したしゅう動試験を行っている。その結果、FFO および+ZnDTP 潤滑下の MnP 皮膜摩滅後の鋼露出面にはき裂が認められるが、+Ca detergent 油潤滑下では、FFO および+ZnDTP と比較してトライボフィルム形成が遅いために鋼露出面の適度な摩耗が進行し、初期き裂発生が抑制されることを明らかにしている。

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、前章までに得られた知見を総合して MnP 処理された浸炭焼入れ鋼および摩擦対の耐摩耗性の改善を試みている。WC を含む水素化 DLC 膜をコーティングした摩擦対を用いることで、MnP 処理浸炭焼入れ鋼の摩耗および摩擦係数を増大させることなく、皮膜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て、初期なじみの改善による表面損傷の防止に向けた設計指針を提示している。

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ている。以上を要するに、本論文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、表面粗さと比摩耗量の変化およびトライボフィルムの形成現象が表面損傷に及ぼす基礎的知見を得るとともに、表面損傷防止に向けた設計指針を提示したものであって、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) 論文として十分な価値があるものと認められる。