

学位被授与者氏名	天本 祥文 (Yoshifumi AMAMOTO)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第7号
学位授与年月日	平成18年3月25日
論文題目	荷重変動下における炭素鋼の摩擦・摩耗特性に関する研究
論文題目 (英訳または和訳)	Study on friction and wear characteristics of carbon steel under varying loads
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 後藤 穂積 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 仙波 卓弥 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 村山 理一 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 横田 将生
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>これまでの摩擦・摩耗の研究では、摩擦条件が試験中一定に保たれて試験が行われていることが多い。とくに接触荷重を試験途中で変化させる試みは少ない。一般に稼働状態にある機械では、構成要素に作用する荷重、速度等の摩擦条件が不規則に変動するのが普通である。金属の摩耗形態にはシビヤ摩耗とマイルド摩耗があり、両者の摩耗率には大きい差があるため、機械設計においてシビヤ摩耗を抑え、しゅう動面がマイルド摩耗状態を維持し、エネルギー・資源の損失、騒音・振動の発生、寿命の低下を防ぎ、機能・性能・信頼性の向上をはかることが重要である。本研究では機械や構造物用として広く用いられている機械構造用炭素鋼 S35C を供試材として使用し、試験中に荷重を変動させる荷重変動下の摩耗試験を行い、シビヤ・マイルド摩耗間の遷移に及ぼす変動荷重の影響について調査することを目的としている。このような研究の背景及び目的が第1章に記述されている。</p> <p>第2章では、試験片の化学成分、形状その他の特性及び摩擦・摩耗試験について説明を行っている。</p> <p>第3章では、炭素鋼 S35C を供試材として試験中一定の荷重下で、湿り空气中・無潤滑状態において同種材の組み合わせによる一方向すべり摩擦・摩耗試験を行った。低荷重下のマイルド摩耗域で試験を行うと、ピンが持ち上がり、試験初期にゼロ摩耗となる現象が生じる場合があることがわかった。初期のゼロ摩耗現象の発生は、摩耗面のかえり同士の接触、接触面内への摩耗粉の進入等が原因である。各摩耗形態の違いにより、シビヤ摩耗とマイルド摩耗の境界として上臨界荷重 (= 10.3 N)、両摩耗間の遷移現象が生じる最小荷重としての下臨界荷重 (= 5.88 N)、初期のゼロ摩耗現象の生じる臨界荷重 (= 4.74 N) の3つの境界線が引ける。</p> <p>第4章では、シビヤ・マイルド摩耗間の遷移現象に及ぼす荷重変動の効果を調査するために、ピン・ディスク形摩擦・摩耗試験機を用いて、湿り空气中・無潤滑状態で同種材の組み合わせによる一方向すべり摩擦・摩耗試験を行った。この場合試験中に一度だけ荷重を増加させた。その結果、初期のマイルド摩耗状態での摩耗履歴、すなわち初期荷重の大きさと初期のすべり距離が荷重増加後の摩耗形態に大きく影響することが判った。そのため、荷重増加後に低い比摩耗量が生じる摩耗形態 (疑似マイルド摩耗) が現れる荷重範囲が高荷重側に大きく広がる。また、荷重増加後に疑似マイルド摩耗が現れるために必要な第一段階の臨界すべり距離を実験式で表すことができた。</p> <p>第5章では、シビヤ摩耗状態で 20 m だけすべらせた後に荷重を試験中に一度だけ減少させた。その結果、荷重減少試験では、低い比摩耗量を示す荷重範囲は荷重一定試験の荷重範囲とほぼ同じであり、荷重減少がその後の摩耗に与える影響は小さいことが判った。</p> <p>第6章では、シビヤ、マイルド摩耗状態の摩擦・摩耗履歴が荷重変動後のシビヤ摩耗とマイルド摩耗間の遷移現象に及ぼす効果を調べるために、ピン・ディスク形摩擦・摩耗試験機を用いて、湿り空气中・無潤滑状態においてステップ状の増減荷重下で一方向摩擦・摩耗試験を行った。一度シビヤ摩耗を経験させることで非常に短いすべり距離で疑似マイルド摩耗への遷移が起きる。荷重変動の回数を増しても荷重増加後の比摩耗量、平均摩擦係数への影響は殆ど見られないことが判った。</p> <p>第7章では、荷重増加試験及び荷重一定試験の摩耗面の性状を調査し、疑似マイルド</p>

摩耗の発生する要因について考察した。荷重変動試験において荷重変動前のマイルド摩耗時にしゅう動面を加工硬化させ、その硬さを  $Hv = 340$  に近づけておくことが疑似マイルド摩耗への遷移を促進させる要因であると考えられる。マイルド摩耗時のすべり距離を増加させることで摩耗面の平坦化が促進される。すべり距離に伴う平坦面の増加は真実接触面積を増加させ、接触面圧を減少させる。また、すべり距離の増大と共に酸化皮膜が次第に厚くなると共に、しゅう動面における酸化膜の被覆率が大きくなる。以上より、荷重変動後の最終的な摩耗形態を決定する主たる要因としては、荷重変動前におけるマイルド摩耗状態中にしゅう動面が十分に加工硬化し、その表面が平坦化して酸化する過程を経ることが重要である。

第8章では、以上の研究の結論を述べている。

論文内容の要旨  
(英文)

In the studies on friction and wear of metals, wear tests have been usually conducted under constant loading in the past years and any attempts to change the load with progress of the tests have not ever been made. Machines and their components in operation are usually subjected to varying loads at various sliding speeds. The wear modes of metals are classified into three types, namely, severe wear, mild wear and the transition between them. There is a great difference in wear rate between severe and mild wear. This indicates that the occurrence of severe wear should be avoided, especially in the field of machine design to prevent energy loss, occurrence of noise and vibration and life reduction of the machines and their components. Therefore, it is important for machine designers to know the relationship between friction and wear and the difference in properties of the wear surfaces between the two wear modes. In this study, in order to investigate the effects of changes in load on the transition between severe and mild wear, pin-on-disk type wear tests of carbon steel (JIS S35C) in contact with itself were conducted in moist air under dry sliding. The motivation, background and objectives of this study are described in chapter 1.

In chapter 2, more detailed explanations are given on the chemical composition and mechanical properties of the carbon steel, the wear test rig and the measurement system used in this study.

In chapter 3, wear tests of the 0.35% C steel in contact with itself under constant loading were conducted in moist air at various constant loads during the tests under dry sliding. The phenomenon of zero wear has been newly found in the early period at very low loads in a mild wear regime. The zero wear is due to the deposits of wear particles between the contact surfaces and the portions higher than the original surface induced by local burrs, ridges and scratch scars. After the tests, the relationship between friction and wear and the difference in properties of the wear surfaces were investigated in each wear mode. From the results, the upper and lower critical loads ( $P_{Acr} = 10.3$  N and  $P_{acr} = 5.88$  N) appears between severe and mild wear. The critical load between zero wear and mild wear is equal to  $P_{Zerowear} = 4.74$  N.

In chapter 4, in order to investigate the effects of the load change on the wear transition behavior, pin-on-disk type wear tests of the 0.35% carbon steel in contact with itself were conducted in moist air under dry sliding. During the wear testing, the load was changed in a step-wise manner just one time, from low to high levels. The rubbing history in the first stage, that is, the longer sliding distance under mild wear condition at the low load produces the more flattened, oxidized wear surface with good wear resistance. As a result, a "quasi-mild wear" regime with low rate similar to the mild wear appears even at high loads in the second stage. The critical sliding distance ( $L_{S, critical}$ ) in the first stage necessary for the transition to quasi-mild wear in the second stage is given by an empirical formula.

In chapter 5, the contact load was once decreased from high to low levels at a sliding distance of 20 m under severe wear conditions in the very early period of the tests. The specific wear rate after the decrease in load is hardly influenced by severe wear in the first stage. Therefore, the upper critical load of low specific wear rate does

not change and is almost the same as that under constant loading.

In chapter 6, in order to investigate the effects of changes in load on the wear transition, two load levels were used as a simple varying load condition. The load was changed 3, 4 or 5 times in a step-wise manner between the low and high levels during some tests. The very short rubbing distance under a severe wear condition at the high load produces a work-hardened surface, which is subsequently flattened and oxidized under the low load, resulting in the formation of the quasi-mild wear surface. The final specific wear rate is not affected by the condition of mild wear or severe wear at the first stage and the number of load cycles.

In chapter 7, the investigation of the hardness, cross-sectional profile and oxidized portion of wear surfaces was conducted under constant and varying loads to know the mechanism of quasi-mild wear. The hardness ( $H_v = 340$ ) of fully work-hardened wear surface in the first stage is needed for promoting the transition to quasi-mild wear. The longer sliding distance in the mild wear regime promotes the more flattening of wear surface. This leads to an increase in real contact area, resulting in decreasing contact pressure. As the thickness of oxidized films increases with sliding distance in the first stage, the coverage of the surface film on the sliding surface increases. From these results, the main factors for determining the wear mode after changes in load are related to the extent of work-hardening, flattening and oxidation of the wear surface in the first stage.

In chapter 8, the main results of this study are summarized.

論文審査結果

[論文審査結果]

一般に稼働状態にある機械では、各要素に作用する荷重、すべり速度等の摩擦条件が不規則に変動する。しかし、摩擦・摩耗に関する従来の研究では摩擦条件が試験中一定に保たれて試験が行われ、荷重を試験途中で変化させる研究はほとんど見あたらない。また、金属の摩耗形態にはシビヤ摩耗とマイルド摩耗があり、両者の摩耗率には大きい差があるため、機械設計においてはしゅう動面がマイルド摩耗状態を維持し、エネルギー・資源の損失、振動・騒音の発生、寿命の低下を防ぎ、機能・性能・信頼性の向上を図ることが重要である。本研究では、機械構造物用炭素鋼を供試材として使用し、荷重一定下の摩耗試験ならびに試験中に荷重を増減させる荷重変動下の摩耗試験を行い、シビヤマイルド摩耗間の遷移に及ぼす変動荷重の影響について調査することを目的としている。その結果、荷重一定下の試験では低荷重下で初期のゼロ摩耗現象が現れることを新たに見出した。荷重変動下の試験では荷重変動後に擬似マイルド摩耗現象が現れ、機械材料の耐摩耗性を大幅に改善することを発見した。また擬似マイルド摩耗の発生条件およびそのメカニズムを詳細に調査した。以上より機械材料の基礎的評価試験の観点から、本研究は独創性を有する非常に意義のある研究としてその価値を認めることができる。

[学位論文公聴会]

(1) 学位論文公聴会日時、場所：平成18年2月28日(火)、13時～14時 発表、14時～14時40分 質疑応答、D25教室

(2) 学位論文公聴会出席者：54名

公聴会では、研究の背景と目的、試験方法、荷重一定下の試験結果、荷重増減下の試験結果、擬似マイルド摩耗の発生条件およびその機構、実用例とその課題、結論について申請者の発表が行われた後、下記の工学的および技術的な諸点について質問と意見があった。

- (1) 摩耗面における酸化領域が小さいにもかかわらずシビヤ摩耗を防ぐ理由について
- (2) 酸化膜の厚さはどれくらいのオーダーか
- (3) 同一材料同士で摩擦・摩耗試験を行った理由について
- (4) ピン、ディスク試験片の摩耗率を分けて測定可能か
- (5) 擬似マイルド摩耗への遷移に及ぼす硬さの効果について
- (6) 擬似マイルド摩耗への遷移に及ぼす摩耗粉の効果について
- (7) 擬似マイルド摩耗が生じるような材料の製造法や加工法があるか

<p>(8) 人工的酸化膜は擬似マイルド摩耗への遷移に有用であるか (9) 高荷重下における擬似マイルド摩耗面の耐久性について (10) 擬似マイルド摩耗の発生条件に関して提案された実験式の定性的な意味について (11) 低荷重下で現れる初期のゼロ摩耗現象の説明について (12) 後藤研究室におけるトライボロジー研究に対する本研究成果の貢献度について</p> <p>これらの質問や意見について、学位審査主査および副査から一部コメントがあったが、申請者は一通り適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、申請者が学位論文に関連する分野の学識を有し、今後さらに研究を進めていくための十分な研究能力を備えていると判定した。</p> <p>学位審査委員会は、語学力に関して申請者が査読付き論文を英語で執筆しており、その英語能力は一定の水準にあると判断した。また公聴会後の最終試験において、学位審査委員会は、申請者が学位論文に関連する分野の広い学識と高い研究能力を有していると判断した。</p> <p>[総合判定] 学位審査委員会は、学位論文審査結果、学位論文公聴会結果および最終試験結果を総合評価して、この学位論文が博士(工学)の学位に適格であると判断した。</p>
--