

鋼の焼付き過程における塑性流動と金属組織変化に関する研究

松崎, 康男

<https://hdl.handle.net/2324/2236227>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 松崎 康男

論 文 名 : 鋼の焼付き過程における塑性流動と金属組織変化に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

機械要素のしゅう動面は、機械の高性能化、高効率化の要求により高速かつ高負荷な条件で運転されるが、内燃機関のクランクベアリング部など大きなすべり運動を伴う潤滑面では、焼付きと呼ばれる表面損傷が発生する。焼付きは表面間の強い凝着を引き起こし、機械の停止につながる危険な現象である。しかも焼付きは突発的に発生し急激に進展するものであり、いまだその理解は不十分である。近年、過渡的な現象である焼付き過程を直接観察するその場観察手法によって、摩擦面で生じる塑性流動や温度変化などを捉えることが可能になった。しかし、焼付きの発生及び進展の詳細なメカニズムを解明するためには、塑性流動といった高速な現象を連続的に捉えることが重要であり、そのため十分な時間分解能を有した観察システムの構築が必要である。本研究では、高速で長時間撮影できる新たな撮影システムと、発熱を伴う塑性流動に着目した新たな撮影システムを構築して摩擦面その場観察を行い、焼付き過程における摩擦面変化を特徴付けた。さらに実験後の摩擦面断面の結晶分析を行い、焼付き過程における摩擦面下の金属組織構造の変化を明らかにした。これらの結果にもとづいて、焼付きメカニズムを提案した。

本論文は以下の章から構成される。

第1章では、焼付きに関する過去の研究事例を紹介し、焼付き現象は数多くの要因が関係すること、及びいくつかの段階を経て損傷へと至ることを示した。さらに、これまでに得られた焼付き現象に関する知見及び問題点を整理して本論文の位置づけを明確にし、本研究の目的及びその概要を述べた。

第2章では、焼付き発生中に起こる表面の塑性流動挙動を詳細に撮影するために、4台のモノクロ CCD カメラとフラッシュランプをトリガ制御して高速長時間観察を可能とした撮影システムを構築した。このシステムを用いて、回転サファイアディスクと鋼材ピンとのすべり接触面のその場観察を無潤滑条件で行った。その結果、焼付き発生時において、ディスク上に移着した鋼の膜が摩擦面を通過するときに塑性流動が発生する様子、及び焼付き中に発生する塑性流動はミリ秒スケールの現象であることを明らかにした。さらに、塑性流動速度はディスクの移動速度に比べて遅く、表面の塑性変形とすべり摩擦による発熱が起こっていることを示した。

第3章では、第2章で捉えきれなかった塑性流動の連続的な挙動をより詳細に捉え、さらに高温時に発生する赤外線光を検知できるように、可視光から近赤外光まで検出可能なモノクロ型高速度カメラを使用して、エンジンオイル潤滑下における摩擦面その場観察を行った。その場観察の結果から、焼付き過程は3段階の発熱挙動を経ることがわかった。第1段階では、ディスク上移着膜の通過によって塑性流動が起き、その部分で局所的かつ断続的な発熱が発生した。第2段階では、移着膜の通過に関係なく、摩擦面で断続的な発熱が発生したが、その面積は第1段階よりも大きいものであった。さらに、第2段階を経過する間に発熱経験領域が摩擦面全域に拡大して、摩擦面全域が

発熱を経験すると、摩擦面全域で連続的な発熱が発生して摩擦面が急拡大する第3段階に移行した。以上のことから、発熱経験部においては再び発熱が起りやすくなることが明らかになった。

第4章では、潤滑油中に混入されている耐摩耗剤などの添加剤が焼付き過程に与える影響を調べるために、4種類の添加剤の構成からなる潤滑油を使用して摩擦面その場観察を行い、摩擦面挙動の比較を行った。まず衝撃荷重試験によって、耐摩耗剤を含む潤滑油において初期塑性流動の発生が抑制され、焼付き最終段階への進展が遅れることを示した。またステップ荷重試験によって、すべての種類の添加剤が混入された潤滑油が最も焼付き荷重が高いこと、及びすべての潤滑油において焼付きが発生する前段階に摩擦面上の移着膜が増え、その後に焼付きに至ることを明らかにした。

第5章では、第4章までに示した焼付き過程において発生した塑性流動部での摩擦面材料の金属組織の変化を調べるために、後方散乱電子回折（EBSD）法を用いた結晶構造分析を行った。その結果、3章で示した3段階の発熱挙動の過程において、その結晶構造も段階的に変化していることがわかった。発熱の第1段階においては、初期状態の結晶構造が変形し、分断された結晶構造を持つが、第2段階から第3段階へと至るにつれて新しい結晶の生成が起り、等軸状かつ微細な結晶の割合が増加することを明らかにした。この微細結晶の生成が、焼付き現象の進展におよぼす影響について、いくつかの仮説をたてて考察を行い、焼付きの発生と進展のメカニズムを提案した。

第6章では、本論文の総括を行い、今後の課題を示した。

以上、本研究は、高速長時間観察を可能とした撮影システムを用いた摩擦試験と、EBSDを用いた結晶構造分析によって、焼付き中の塑性流動による結晶の微細化が焼付きの進展を促していることを明らかにした。