

Effects of Solid-liquid Interfacial Resistance on Thermal Elastohydrodynamic Lubrication

著者	Meng Xianghua
発行年	2022-03-25
その他のタイトル	固液界面抵抗が熱弾性流体潤滑特性に及ぼす影響に関する研究
学位授与番号	17104甲工第548号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00008869

氏名	MENG Xianghua (中国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第548号
学位授与の日付	令和4年3月25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	Effects of Solid-liquid Interfacial Resistance on Thermal Elastohydrodynamic Lubrication (固液界面抵抗が熱弾性流体潤滑特性に及ぼす影響に関する研究)
論文審査委員	主査 教授 長山 暁子 " 鶴田 隆治 " 山村 方人 " 王 静 (東華大学)

学位論文内容の要旨

摩擦低減技術は自動車分野をはじめ、あらゆる産業分野において重要な基盤となっている。ピストンや軸受など自動車部品で用いる油潤滑、オイルフリー機器で用いる水潤滑における界面抵抗の影響は摩擦低減技術の鍵であるにも関わらず、基礎的かつ理論的に検討するには至っていないのが現状である。

摺動面の相対運動によって誘起される潤滑液膜の発熱は、液膜内に温度変化をもたらし、摺動面へ放熱するとともに液膜流動に伴う熱伝達で放出する。これらの放熱は、潤滑液膜と摺動面との間で生じる固液界面抵抗によって妨げられるが、接触域内における潤滑液の粘性や圧力分布や液膜厚さを変化させてしまい、表面損傷などで安全上に問題となる可能性がある。そこで、本研究では、潤滑液膜と摺動面との間で生じる固液界面抵抗が摺動面の熱弾性流体潤滑特性に及ぼす影響を理論、解析および実験より検討する。

本論文は、全五章で構成されている。

第一章は序論であり、本研究の意義、目的および内容について述べている。摩擦面における摩擦低減技術に関する研究背景について、実験研究および理論解析の両方を調査した結果を整理している。また、固液界面における速度スリップおよび熱的スリップ長さの計測や予測に関する研究動向を調べて、本研究の位置づけを示している。さらに、既存の問題点を整理し、その解決のため、本論文の研究対象およびアウトラインを提示している。

第二章では、熱弾性流体潤滑理論を点接触問題に展開して、速度スリップ、温度ジャンプを用

いたすべり境界条件より修正レイノルズ

方程式を導出している。新たに導出した修正レイノルズ方程式をエネルギー方程式に連成して、流体潤滑膜内に発生する圧力分布、接触域の温度上昇および潤滑液膜厚さを解析する方法を示している。

第三章では、球とデスクからなる点接触問題に対する数値解析の結果を具体的に示している。転がり、逆滑り、転がり・滑りの三つの作動条件に対して、異なる速度スリップおよび熱的スリップ長さを組み合わせたすべり境界条件を適用している。純転がりの条件下において、潤滑液膜厚さは速度スリップで減少するが、熱的スリップの影響をほとんど受けないことを明らかにしている。また、逆滑りの条件下においては、速度スリップが接触域に発生するディンプルを熱的スリップによるディンプルと反対する方向にシフトする。そのため、速度スリップと熱的スリップが同時に発生する場合、それぞれの効果が互いに打ち消すことになり、ディンプルシフトが発生しにくくなる。さらに、転がり・滑りの条件下において、スリップ長さが熱的スリップ長さと同程度の場合、速度スリップによる液膜厚さの低下がより顕著に現れる。しかし、引き込み速度あるいは滑り率が大きい場合、熱的スリップによる液膜厚さの低下がより著しくなる。速度スリップと熱的スリップが単一発生するよりも同時に発生する方が、接触域の温度上昇および潤滑液膜厚さの低下を引き起こしやすいことを明らかにしている。

第四章では、固液界面抵抗を考慮した熱弾性流体潤滑理論より、球とデスクからなる点接触の流体潤滑実験結果を考察している。摺動面に疎水・疎油性コーティングを施した場合、摩擦係数が有意義に低減する実験結果を確認している。しかし、引き込み速度あるいは雰囲気温度の上昇に伴い、摩擦係数の低減効果が低下することを示している。また、固液界面抵抗を考慮した熱弾性流体潤滑理論に基づいた数値解析結果を実験結果と照らし合わせ、コーティングした摺動面におけるスリップ長さおよび熱的スリップ長さを定量的に評価する方法を示している。さらに、潤滑液膜の発熱は主に摺動面を通して放出し、固液界面抵抗によって放熱が妨げられるが、潤滑液の粘性低下で発熱量が著しく減少し、表面損傷防止に有効であることを示している。

第五章では、本論文で得た主な結果をまとめている。ストライベック曲線を用いて一般性への考察や接触域のその場熱計測などが今後の課題として挙げられている。

以上、本論文では、固液界面抵抗が熱弾性流体潤滑特性に及ぼす影響を理論、解析および実験より考察している。速度スリップ・熱的スリップを組み合わせたすべり境界条件が熱弾性流体潤滑特性に及ぼす影響について得た知見は、超低摩擦摺動メカニズムの解明に寄与するのみならず、低摩擦化界面の実現による省エネルギー・低環境負荷効果が期待される。

学位論文審査の結果の要旨

摩擦低減技術は自動車分野をはじめ、あらゆる産業分野において重要な基盤となっている。ピストンや軸受など自動車部品で用いる油潤滑、オイルフリー機器で用いる水潤滑における界面抵抗の影響は摩擦低減技術の鍵であるにも関わらず、基礎的かつ理論的に検討するには至っていないのが現状である。本論文では、潤滑液膜と摺動面との間で生じる固液界面抵抗が、摺動面の熱弾性流体潤滑特性に及ぼす影響を理論、解析および実験より検討した。点接触下における転がり、転がり・滑り、逆滑りの三つの作動条件に対して、速度スリップ、温度ジャンプを用いたすべり境界条件が接触域の温度上昇および潤滑液膜厚さに及ぼす影響を明らかにした。本論文で提案した固液界面抵抗を考慮した熱弾性流体潤滑モデルより実験結果の摩擦低減メカニズムを合理的に説明できる点に踏まえて、その学術的な意義から、博士（工学）の学位論文に値するものと認められる。本論文に関する審査会において、審査委員などから多くの質問がなされたが、いずれも的確な回答がなされた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。