

固体接触部のエネルギー散逸機構の解明とダンパへの応用

中村, 智也

<https://doi.org/10.15017/1931909>

出版情報 : Kyushu University, 2017, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 中村 智也

論 文 名 : 固体接触部のエネルギー散逸機構の解明とダンパへの応用

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

高速回転機械では振動抑制のためにダンパが用いられることが多く、潤滑油が使用できる環境では粘性減衰を利用し、潤滑油を使えない特殊環境では、固体接触部でのエネルギー散逸が利用されることが多い。オイルフリー機器用ダンパにはワイヤーメッシュダンパおよび粒状体ダンパなどがあるが、性能把握は実験的に行われているのがほとんどであり、解析で行われている場合でも最も重要な接触部のモデルは実験的に求めた反発係数を用いているため、解析のみで性能把握することは出来ない。これは、これまでに接触部で生じるエネルギー散逸を、垂直方向および接線方向運動の両面から明らかにした研究がないためである。本研究は、オイルレス機器用ダンパの減衰機能を明らかにするため、接触部において生じるエネルギー散逸発生の原因を解明し、エネルギー散逸量を求められる手法を構築することを目指して行った。

本論文は次の 6 章からなる。

第 1 章では本研究の背景と実施目的を示し、オイルレス機器用ダンパの技術課題および本研究の意義について述べた。

第 2 章では、金属粗面の接触実験から、接触部で生じるエネルギー散逸量の結果について述べ、表面微小突起の塑性変形および接触部の凝着がエネルギー散逸におよぼす影響を示した。雰囲気を制御した条件下で鏡面の半球と粗さの大きな表面を持つ円柱を垂直に接触させた場合、表面微小突起の塑性変形によりエネルギーが散逸した。また、繰り返し荷重を負荷することで、エネルギーが継続して散逸することを確認し、1 回目の負荷時に散逸したエネルギーが大きいほど、それ以降に散逸するエネルギーが大きくなることを示した。このことから、1 回目の負荷時に微小突起先端の荷重が弾性シェイクダウン限界を超え、塑性変形が繰り返し生じる可能性を示した。一方、試験中にマイナス荷重が確認されず、凝着によるエネルギー散逸はほとんど確認されなかった。この結果から、粗面の垂直方向接触条件下では、表面微小突起の塑性変形がエネルギー散逸の主要因であることを明らかにした。

第 3 章では、実際の接触状態を模擬した斜め接触実験において、表面微小突起の塑性変形、および摩擦によって生じるエネルギー散逸を測定し、接触部で生じるエネルギー散逸全体の中で表面微小突起の塑性変形が生じるエネルギー散逸の割合を示した。鏡面の円柱と大きな算術平均粗さを有する球を接触させた場合、繰り返しエネルギー散逸が生じ、垂直方向のエネルギー散逸の要因は表面微小突起の塑性変形、接線方向のエネルギー散逸の要因は摩擦であった。垂直方向と接線方向のエネルギー散逸量の比は 0.1~0.25 で、表面突起の塑性変形は接触部で生じるエネルギー散逸に対して有意な影響を有することを示した。エネルギー散逸量の増加を目的に、平滑な 2 面の接触部に異物を混入した実験を行い、継続的に異物が供給された場合、粗面での接触で生じるエネルギー散逸量よりも多い散逸量が得られる可能性を示した。

第4章では、材料内部摩擦、表面突起の塑性変形、および摩擦によるエネルギー散逸の算出方法を示した。材料内部摩擦は Voigt モデルをベースにした既存の手法、摩擦は接触部接線方向剛性を考慮した既存の手法をそれぞれ用い、表面微小突起の塑性変形は Greenwood らの理論を塑性変形領域まで拡張した新たな手法を提案した。解析で求めた表面微小突起の塑性変形によるエネルギー散逸量は、塑性指数の大きさにもよるが、初回の接触では2章の実験結果と同等であったのに対し、2回目以降の接触では1/10程度であった。これは実験での供試体の拘束が完全ではなく、塑性変形によって形成された凹凸が接触毎にかみ合わず、大きな塑性ひずみが生じたためと考えられる。実際の粗面では、繰り返し負荷の場合でも表面突起部がシェイクダウンせずに、解析よりも大きなエネルギー散逸を生じ続けることを明らかにした。

第5章では、接触点で生じるエネルギー散逸量を解析的に求め、摩擦、材料内部摩擦および表面微小突起の塑性変形の影響度把握を行うとともに、各接触状態におけるエネルギー散逸量の変化を示した。接触角度が小さい場合は摩擦によるエネルギー散逸が支配的、大きい場合は表面微小突起の塑性変形が支配的であり、多くの条件では接触角度が 22.5° 以上で、表面微小突起の塑性変形が有意なエネルギー散逸を生じる。一方で、材料内部摩擦の影響は限定的であった。また、単位体積当たりのエネルギー散逸量に換算すると、曲率半径が小さい方が、エネルギー散逸量は大きくなることを示した。これは接触点の増加に起因している。以上の結果から、オイルレス機器用ダンパの接触部では、摩擦および表面微小突起の塑性変形の考慮が必要であることを明らかにした。

第6章は今後の課題であり、ダンパへの適用に向けた課題を示した。

第7章は総括である。

以上、本研究は、オイルレス機器用ダンパの減衰機構を明らかにするために実験と解析を行い、接触部において生じるエネルギー散逸の原因が主に摩擦および表面微小突起の塑性変形であることを明らかにし、エネルギー散逸量を求める手法を構築した。