



Title	Studies on the role of tribological phenomena based on the direct observation of metal plastic deformation
Author(s)	林, 暁科
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/101645
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (LIN XIAOKE)	
Title	<p>Studies on the role of tribological phenomena based on the direct observation of metal plastic deformation</p> <p>(金属塑性変形挙動のその場観察に基づくトライボロジー現象の解明に関する研究)</p>
<p>Abstract of Thesis</p> <p>In recent years, the demand for high-mix, low-volume manufacturing in metal forming processes has risen, alongside an increasing emphasis on high-quality production and cost-effective technologies. To meet these demands and effectively prevent surface defects, a comprehensive understanding of tribological phenomena at the interface is crucial. However, conventional friction models used to depict these phenomena mainly rely on empirical equations based on various assumptions, often differing from actual observations. Therefore, it is particularly crucial to explore friction models based on the response of actual deformation behavior for a comprehensive understanding of tribological phenomena. This exploration serves as a major motivation and objective of this dissertation. Nevertheless, a key challenge in this endeavor is the technique for quantifying deformation behavior due to the extreme difficulty in investigating interface deformation quantitatively near the contact interfaces.</p> <p>Therefore, in Chapter 2, wedge indentation experiments were conducted as a model system to characterize and quantify deformation behavior using direct in-situ observations coupled with high-speed imaging and particle image velocimetry techniques. These experiments aimed to quantify the effects of tribological phenomena on deformation and explore the distinct phenomena at the interface. The results indicate that existing friction models are inadequate for precisely describing tribological phenomena under current indentation configuration. Additionally, the findings suggest that surface expansion behavior holds significant potential for further exploration of the effects of adhesion phenomena.</p> <p>In Chapter 3, the surface expansion distribution was characterized, and the quantitative relationship between adhesion phenomena and surface expansion behavior was explored. The results verify that the microscopic surface expansion ratio exhibits non-uniformity along the indenter face and propose the friction model for adhesion stress distribution based on surface expansion distribution.</p> <p>In Chapter 4, the effects of friction on plastic deformation in both the metal surface and bulk were elucidated, and the factors contributing to the uneven distribution of the surface expansion ratio were discussed. The findings show that the surface expansion distribution results from the variation in wall-slip velocity along the sliding surface caused by interface friction. Additionally, the interactions between interface friction, wall-slip velocity, and surface expansion distribution were analyzed, facilitating the proposal of a quantitative approach to assess tribological conditions at sliding contact.</p> <p>In Chapter 5, the quantitative stress distribution models, including both friction stress and normal stress distribution were developed. The findings include the introduction of a quantitative friction stress and normal stress distribution model, facilitating more comprehensive discussions and potential developments in engineering applications.</p> <p>In summary, this study employed direct in-situ observations coupled with high-speed imaging and particle image velocimetry techniques to quantify the effects of interface friction on deformation by characterizing surface expansion behavior and boundary layer phenomenon. Additionally, a more accurate friction model based on observed deformation behavior was proposed and verified, thereby enabling the quantification of stress distribution and establishing a quantitative evaluation method for tribological conditions at the sliding contact, offering a deeper comprehension of extreme friction conditions at the interface in metal forming processes.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (LIN XIAOKE)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	准教授	杉原 達哉
	副 査	教授	高谷 裕浩
	副 査	教授	中村 暢伴
	副 査	教授	榎本 俊之

論文審査の結果の要旨

本論文は、塑性加工における金型-材料界面、あるいは切削加工における工具-切りくず界面で生じるような過酷な摩擦摺動現象に着目し、界面摩擦の帰結として生じる摺動界面近傍における材料塑性変形場の特徴を可視化・定量化することによって、新たな凝着摩擦モデルを構築することを目的としている。そして、摺動界面における材料の微視的な表面積拡大率分布の獲得手法を構築し、さらに、その分布に基づく新たな摩擦モデルを提案するとともに、摺動界面の応力分布や塑性変形挙動の関係を説明することを試みたものである。

第1章「緒論」では、摺動面の塑性変形をとまなう過酷な摩擦状態のモデル化に関する研究動向や、摺動状態の観察技術の現状や課題についてまとめられ、摩擦状態を理解するためには、その帰結として生じる摺動界面近傍における材料の塑性変形場の特徴量の可視化・定量化が重要であることが明らかにされている。

第2章「くさび状インデントにおける塑性変形場と摩擦摺動現象」では、様々な塑性変形場を再現するモデル実験として、くさび状インデントを用いた押し込み試験を援用する方法が提案され、さらに Particle image velocimetry (PIV) を援用したインデント近傍における材料の塑性変形場の可視化手法が提案されている。そして、界面の凝着摩擦現象を理解するためには、摺動面における材料の表面積拡大の状態の定量化が重要となることが示されている。

第3章「表面積拡大と凝着摩擦現象の関係」では、微視的な表面積拡大率の分布の定量化手法が示されるとともに、それに基づく新たな凝着摩擦モデルが提案され、提案モデルによる凝着摩擦力分布の推定値が実験値とよく一致することが示されており、従来の圧力依存の摩擦モデルに対する提案モデルの優位性および有効性が明らかにされている。

第4章「摩擦状態が摺動面の塑性変形挙動に及ぼす影響」では、提案モデルで重要となる材料の表面積拡大の分布と、摺動面における材料の滑り現象の関係が論じられ、界面の摩擦状態と塑性変形挙動の相互関係が明らかにされている。さらに、潤滑状態の違いが及ぼす影響を示すことによって、表面積拡大率の分布や界面の滑り現象を示すことによって、界面の潤滑状態を定量的に比較する手法が提案されている。

第5章「インデント近傍の垂直応力/摩擦応力分布への一般化」では、前章までで提案・構築した界面の凝着摩擦モデルについて、Prandtl-Reuss Equations に基づいた拡張を行うことによって、塑性変形場の情報から垂直応力/摩擦応力の関係を導出することを試みるとともに、その妥当性を実験的に明らかにしている。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果がまとめられているとともに、今後の展望が述べられている。

以上のように、本論文では、過酷な摩擦摺動環境における摺動界面の材料塑性変形と凝着摩擦との関係が明確化され、表面積拡大率分布に基づく新たな凝着摩擦モデルが提案されるとともに、界面の潤滑状態の影響や、塑性変形場からの垂直/摩擦応力分布の獲得手法が示されている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。