

論文の内容の要旨

申請者 氏名 上 剛司

論文題目

インデンテーションに及ぼす変形場の影響

インデンテーションは、微小領域で材料特性が取得可能な試験手法であり、現在まで様々な分野に応用されている。インデンテーションは、圧子直下に不均一な変形場を有することが分かっている。このため、一般に使用される単軸試験とインデンテーションは、根本的に異なる試験手法となる。しかし、Tabor は、両試験結果には、相関関係があることを経験的に見出した。この経験則を使用すれば、インデンテーション結果から単軸試験結果を見積もることが可能になるため、インデンテーションは幅広い分野で応用されている。しかし、経験則のメカニズムは、現在まで明らかにされておらず、先行研究では、単軸試験とインデンテーションの関連性については、ある一定の限界があることを示唆する報告例もある。インデンテーションの評価限界は、識別限界ひずみと呼ばれている。識別限界ひずみに関する研究は、材料特性を任意に変更する解析的検討により提案されているため、実験における影響については明らかにされていない。先行研究では、識別限界ひずみを検討することなく、インデンテーションの応用研究が盛んに行われている。

近年では、材料強度のひずみ速度依存性の取得にインデンテーションが用いられるようになった。しかし、インデンテーションの変形場に起因し、ひずみ速度も材料内部に分布すると考えられるが、先行研究では十分に検討されていない。また、ひずみ速度の考察の上で、重要となるインデンテーションのひずみ速度と単軸試験のひずみ速度との関連性についても、明らかにされていない。特に、インデンテーションにおいて、ひずみ速度分布の影響を明らかにすることは、インデンテーションに及ぼす変形場の本質を理解できる可能性があり、インデンテーションを利用した材料特性評価の信頼性向上に繋げることができる。

上記で述べたように、インデンテーションは幅広い分野に応用される一方で、その特徴的な変形場に起因して明らかにされていない点も多く、万能な機械的特性評価方法への確立が阻まれていると言える。そこで本論文では、インデンテーションの変形場の影響の一端を明らかにすることを目的に、まず、重要性の高いひずみ速度分布の影響を解析および実験的に論じ、最後に識別限界ひずみの実験的検討を行った成果を述べている。

まず、有限要素法により、異なる圧子制御におけるインデンテーションのひずみ速度分布の影響を考察した。その結果、圧子制御に関わらず、ひずみ速度は材料内部に不均一に分布することがわかった。この分布が原因で、インデンテーションのひずみ速度とひずみ速度分布の関連性を求める上で重要となる係数 β_{point} も無数に存在することがわかった。そこで、この課題を解決し、よりインデンテーションのひずみ速度の本質に迫るため、実験的に検討を行うことにした。

インデンテーションのひずみ速度の実験的検討では、Al-Mg 系合金に見られるセレーション挙動を利用した。5082 アルミニウム合金に対してインデンテーションを行うと、単軸試験で確認される荷重変動が確認できた。また、負荷曲率-変位関係から考察を行った結果、インデンテーションでは、負荷速度の増加に伴い、負荷曲率変動がなくなる傾向を示した。これは、負荷速度の増加に伴い、インデンテーションのひずみ速度が増加したためである。単軸試験とインデンテーションで確認できたセレーション挙動を比較すると、インデンテーションにおいて変形を支配する有効ひずみ速度を概算することができた。Al-Mg 系合金に見られるセレーション挙動を利用することで、インデンテーションのひずみ速度と単軸試験のひずみ速度の関連性を取得することができた。

最後に、インデンテーションの評価限界を提案する識別限界ひずみについて焦点を当てた。先行研究では、識別限界ひずみの実験的な影響に課題があったため、Al-Zn-Mg 系合金の時効現象に伴うセレーション挙動を利用し、実験的に識別限界ひずみの検討を行った。その結果、インデンテーションで確認できたセレーションは、単軸試験の低ひずみで見られるものとよく関連していた。しかし、単軸試験の高ひずみで確認できたセレーションは、インデンテーションでは確認できなかった。また、提案されているセレーションの理論を応用し、時効現象、Mg の拡散の影響から試験結果の考察を行うと、実験的に識別限界ひずみの存在を示すことができた。

インデンテーションの変形場は、材料内部に分布するため考察が難しく、先行研究では、経験的な知見のみ留まっていた。しかし、本研究で示したように、セレーションに見られる転位運動と溶質原子の作用を利用することで、材料内部に複雑に分布するひずみ速度分布や、解析のみの概念であった識別限界ひずみを実験的に考察することができた。よって、本研究の成果は、インデンテーションに及ぼす変形場の影響の一端を解明したと言える。