

学位論文の審査結果の要旨

本研究は、金属プレス加工などの塑性加工の分野での実用を想定し、マイクロ～ミリオーダーの平均的な力学特性を簡便に取得可能な手法として、ロックウェル試験機を拡張した圧子押し込み実験と有限要素法を用いた数値解析および応答曲面法に基づいた材料定数値の同定手法を提案している。

本手法の特徴は、主に次の2点としている。(1) 引張・圧縮試験では試験片のネックング、バルジ変形、寸法制約の問題から、大きなひずみが発生する塑性域や微小領域の特性値の取得は困難であるが、圧子を用いた押し込み試験は、簡便性があり迅速に試験が可能で、わずかな量の試験片にも対応できる。(2) 計装化押し込み試験法は、圧子押し込み時の押し込み荷重-変位曲線(P-h 曲線)の履歴から、硬さ以外の材料特性を得ることが可能であり、また、プレス加工の実態に即したミリ～マイクロオーダーのスケールに対応できる。

本論文では、一般に普及しているロックウェル硬さ試験機を用いた簡易な方法で、ミリ～マイクロオーダーの平均的な金属材料の材料定数を精度良く同定するための条件や手法について示し、その汎用性と妥当性を実験に基づいて検証している。

まず、圧子押し込み実験において、適用スケールにおいて精度良くP-h 曲線を取得するための実験条件を明らかにした。球圧子が適すること、実験装置側の弾性変形、材料の表面粗さ、接触面の摩擦等の影響を検証し考察している。次に、圧子押し込み実験を忠実に模擬した、適切な有限要素解析条件を決定した。2次元軸対称モデルとし、実験装置側の弾性変形をバネ要素で代替し、有限要素モデルを簡略化しながら解析精度を確保できるメッシュ分割条件を検討した。さらに、材料定数値を求める最適化問題において、任意の押し込み深さにおける実験値と有限要素解析値の荷重誤差を最小化するための目的関数を残差二乗和で定義した。そして、2次多項式による応答曲面近似により、目的関数を最小化する材料定数値を同定した。応答曲面は、材料定数値を一般的な金属のとり得る範囲に制限し、D 最適計画に基づく組合せから実験計画を作成した。

以上の提案手法に基づき、一般的にプレス加工に利用される、鉄鋼材料S45C、ステンレス鋼SUS304、純アルミA1070、無酸素銅C1020において、実験値に概ね一致するP-h曲線を再現し、それぞれの材料定数を同定でき、材料の種類による精度の違いを明らかにした。また、荷重除荷曲線より弾性特性を同定する従来手法に対し、本手法

は荷重負荷曲線のみを用いて弾塑性特性を同定できることを示した。最後に、プレス加工工程設計へ本手法を適用し、実用性を検証している。プレス加工端材の押し込み実験から取得したP-h曲線と有限要素解析の荷重負荷行程は、ほぼ一致し、同定結果は引張試験より求めた真応力-真ひずみ特性と1%程度の誤差で一致することを示した。また、同定した材料定数値を用いたプレス加工有限要素解析と円筒絞り加工形状を比較した結果、最も板厚が増加する外周部においては、誤差が最大7.8%であったが、底面の板厚や、成形高さはよく一致した。さらに、加工硬化則は、Ludwikの式で同定した結果、単純なn乗硬化則の結果よりも、P-h曲線および加工形状誤差が改善した。以上より、同定した材料定数値で実用上十分な精度でプレス加工工程の解析が行えるとの結論を得ている。

今後の展開として、金属材料以外への材料特性同定手法への転換や、多目的最適化手法の導入による同定精度の向上について研究を発展させることが期待できるとしている。

以上の研究内容は、原著論文2報と国際会議発表論文1報にまとめられ公表されている。

本論文は、材料特性同定と塑性加工工程解析への応用に関して、学術的および工業的に貢献するものであり、博士学位論文に値するものと判断する。

公表主要論文名

- ・坂本潤嗣，藤井雅留太，中村正行，簡便性を備えたマイクロ～ミリオーダーの圧子押し込み実験に基づく金属材料の力学特性同定手法の検討，実験力学，Vol.14，No.4，(2014)，pp.257-263.
- ・坂本潤嗣，加藤貴幸，藤井雅留太，中村正行，簡便性を備えたマイクロ～ミリオーダーの圧子押し込み実験に基づく金属材料の力学特性同定手法の実用性評価—プレス加工への適用による実用性の検証—，実験力学，Vol.14，No.4，(2014)，pp.264-270.
- ・Sakamoto, J. and Masayuki, N.: Investigation of Metal Material Parameters Identification by Dynamic Hysteretic Behavior of the Indentation Tests and FEM Analysis, Proc. The 8th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, (2013), (CD-ROM).