

(様式 2)

## 学位論文の概要及び要旨

氏 名 杉本 義徳 印

題 目 多工程円筒深絞り加工における成形性に関する研究

### 学位論文の概要及び要旨

本研究では、深絞り成形における金型設計の効率化と、金型製作の期間短縮を目指し、遺伝的アルゴリズムを用いて多工程円筒深絞り金型寸法自動探索法の確立を行った。さらに、深絞り製品に求められている、複雑でより絞り高さの大きい製品形状を成形するため、多工程円筒深絞りにおける成形性に及ぼす摩擦係数の影響について検討した。主な研究成果を要約すると以下のとおりである。

第 1 章では、深絞り成形に対するニーズとして、より複雑で絞り高さの大きい製品形状が求められており、これに対応する一つの方法として、成形工程を複数に分ける、多工程の絞り成形が用いられている状況について示した。これについて、金型設計工程の置かれている現状とその背景を述べるとともに、これまでに行われてきた関連する研究を紹介した。また、もう一つの方法として、プレス成形の成形性に影響を及ぼす因子として摩擦・潤滑に注目し、これに関する過去の研究を紹介するとともに、実際の絞り成形で摩擦係数を変化させる方法を示し、最後に、本研究の目的と進め方、ならびに研究概要を述べた。

第 2 章では、金型とブランク間の摩擦係数を変えることによって成形性を向上させるための基礎的研究として、実験用の円筒深絞り用金型を製作し、潤滑油剤の有無によってブランクと金型接触部の摩擦係数を変化させ、成形実験を行った。そして、それぞれの成形条件で成形した成形品の板厚分布から、摩擦係数の違いによる成形性の変化を確認した。その結果、パンチ側の摩擦係数が高くダイ側の摩擦係数が低い場合、板厚方向のひずみが小さくなり破断しにくいことが分かった。またパンチ側の摩擦係数を低くしダイ側の摩擦係数を高めた場合、局所的に板厚が減少し破断に至りやすい結果を得た。

また、プレス成形シミュレーションの計算精度を上げるため、ブランク材に対して引張試験と摩擦摺動実験を行い、材料特性値と摩擦係数を測定した。そして、これらの値を用いてプレス成形シミュレーションを行い、板厚分布を比較したところ、成形実験とよく対応した結果を得た。この結果を基に、成形実験時の破断結果とシミュレーションの板厚分布結果を比較し、実験の破断位置とシミュレーションの板厚減少部の位置が同様であること、また、プレス成形シミュレーションから得た成形限界線図でも、成形実験と同じようにパンチ肩部近傍の平面ひずみ部で割れが発生していることから、シミュレーションにおいて板厚ひずみで破断が判定できることを示した。そして、成形実験による破断部近傍の板厚を参考にし、プレス成形シミュレーションで用いる破断判定基準として成形限界板厚を定め、自動探索法の検証および分散分析の検証で用いた。

第3章では、遺伝的アルゴリズムを用いた金型寸法自動探索のアルゴリズムを考案し、多工程を要するフランジ付き円筒形状に対して計算を行い、円筒深絞り成形用金型の諸寸法を見出した。また、金型寸法自動探索に際し、第2章で得たブランクの成形限界板厚による成形可否の判定条件と、フランジ部のしわに対する制約条件を適用することによって、多工程円筒深絞り成形の工程設計を可能とした。

また、提案した探索法の有用性を検証するため、多工程円筒深絞りの工程設計で一般的に用いられている、Romanowski の設計公式を用いて求めたダイとパンチの寸法でプレス成形シミュレーションを行った結果、第2工程で板厚が局所的に大きく減少した。一方、提案した自動探索法では、目的関数  $\xi = \bar{d}_f \times \bar{h}_c \times \bar{d}_c$  中のフランジ部直径を製品寸法に近づける項  $\bar{d}_f$  と絞り高さを製品寸法に近づける項  $\bar{h}_c$  の効果により、第1工程からより絞り高さの大きい形状を探索していくため、以降の工程で破断することなく、最終工程で製品形状を成形することができた。

あわせて、プレス成形シミュレーションの計算結果の妥当性を検証するため、自動探索法で得られた金型寸法と Romanowski の設計公式を用いて求めた金型寸法でそれぞれ成形実験を行った。その結果、Romanowski の設計公式を用いて求めた金型寸法で成形した場合、プレス成形シミュレーションの結果と同様に第2工程で破断した。しかし、提案した探索法によって求めた金型寸法で成形実験を行った場合は破断しなかった。また、Romanowski の設計公式を用いて求めた金型寸法で成形した成形品の破断位置は、シミュレーションの板厚分布結果と対応しており、成形限界板厚によって判定する破断位置とよく対応する結果を得た。

第4章では、フランジ付き円筒深絞り加工の成形性に及ぼすブランクと金型各部の摩擦係数の影響を、プレス成形シミュレーションを援用し、しわ抑え圧力を考慮しつつ、実験計画法の分散分析を用いて検討した。この中で、円筒深絞り加工の成形性を評価するため、目標寸法の指標  $\bar{h}$ 、破断発生指標  $\bar{t}_{\min}$  およびしわ発生指標  $\bar{z}$  から定義される成形性評価指標  $\zeta_3 (= \bar{h} \times \bar{t}_{\min} \times \bar{z}; 0 \leq \zeta_3 \leq 1)$  を提案した。この指標  $\zeta_3$  を用いて、実験計画法にもとづく分散分析を行い、摩擦係数の影響を調べた結果、ダイ肩部とブランク間の摩擦係数およびパンチ肩部とブランク間の摩擦係数の影響が大きく、その効果はダイ肩部で摩擦係数が低く、パンチ肩部で高い方が向上することが分かった。また、しわ抑え圧力  $P_H$  との関連で分析した結果、しわ抑え圧力の成形性に及ぼす影響と、しわ発生を抑制するのに必要な圧力  $P_H$  が分かった。

この結果を基に、多工程円筒深絞り成形シミュレーションを行い、金型各部の摩擦係数を変化させることによって、板厚の局所的な変形が小さい良好な成形結果を導き出すことができた。また、これと同様の条件で成形実験を行った結果、シミュレーションによる分散分析結果と同様の傾向を示し、指標  $\zeta_3$  と成形性の有意な関係を確認した。

最後に、第5章では、本研究の成果をまとめ、今後の展望について述べた。