

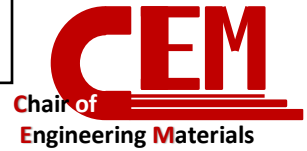


東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

非関連流れ則による純チタン薄板の プレス成形シミュレーション

東京大学大学院工学系研究科 機械工学専攻 柳本研究室

Chair of Engineering Materials
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
Yutaro Akiguchi and Prof. Dr.-Eng. Jun Yanagimoto



研究背景

塑性論に基づいた有限要素法 (finite element method, FEM) によるシミュレーションを実施するに当たり、降伏条件、硬化則、流れ則の3点は非常に重要である。シミュレーションを行う意義の一つとして、実際に板材の成形試験を行い、実験結果とシミュレーション結果を照合させることによってシミュレーションの妥当性を高め、非常にミクロな領域において生じる塑性変形に対してより正確な予測を行うための理論を構築することが挙げられる。

等方性材料については既に塑性変形の正確な予測が可能となっている。しかしながら異方性材料を対象とする場合は複雑であり、降伏関数と塑性ポテンシャルとが一致する関連流れ則のみでは精度が不十分であることが問題となるため、両者が異なる非関連流れ則を適用することが望ましい。

そこで本研究では、異方性材料として六方最密充填 (hexagonal close-packed, HCP) 構造を有するチタン (Ti) を対象として深絞り試験を実施し、得られた異方性パラメータに基づいて非関連流れ則を用いたFEMシミュレーションを行い、結果の比較により精度の検証を行った。

降伏関数・塑性ポテンシャル

非関連流れ則として降伏関数、塑性ポテンシャルともにHill48式を用いたもの (Hill-Hill形式) と、降伏関数にHill48式、塑性ポテンシャルにYld2004-18p式を用いたもの (Hill-Yld形式) を適用した。異方性パラメータに関しては、Hill48式のものとはRD、TD、NDの3方向に対する一軸引張試験および液圧バルジ試験によって入手し、Yld2004-18p式のものとは王[1]により決定されたものを用いた。

Hill-Hill形式

$$f_{\text{Hill}}(\sigma) = \sqrt{\frac{1}{2} \{ H(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + F\sigma_{yy}^2 + G\sigma_{xx}^2 \} + N\sigma_{xy}^2}$$

$$g_{\text{Hill}}(\sigma) = \sqrt{\frac{1}{2} \{ H^*(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + F^*\sigma_{yy}^2 + G^*\sigma_{xx}^2 \} + N^*\sigma_{xy}^2}$$

Hill-Yld形式

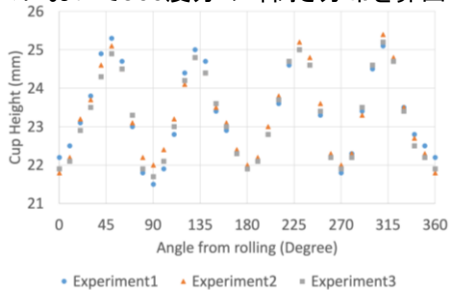
$$f_{\text{Hill}}(\sigma) = \sqrt{\frac{1}{2} \{ H(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + F\sigma_{yy}^2 + G\sigma_{xx}^2 \} + N\sigma_{xy}^2}$$

$$g_{\text{Yld}}(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_i^3 \sum_j^3 |\tilde{s}_i' - \tilde{s}_j''|^m}{4}}$$

[1] 王鴻皓, 東京大学博士論文, 2021.

円筒深絞り試験

円筒深絞り成形による耳高さについて非関連流れ則FEMシミュレーション結果と比較を行うため、厚さ0.5 mmの円形の純チタン薄板に対してエリクセン社製試験機を用いた深絞り試験を実施した。試験は3回実施し、各々において360度分の耳高さ分布を算出した。

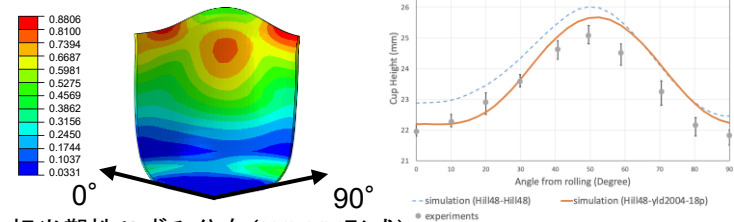


深絞り試験にて得られた耳高さ分布

円筒深絞りのFEMシミュレーション

Hill-Hill形式、Hill-Yld形式について各々円筒深絞りのFEM解析を実施し、耳高さ分布について実験結果との比較を行った。

Hill-Hill形式では耳高さ分布を高めに評価しているが、耳が最大となる位置は正しく予測されていることが分かる。一方Hill-Yld形式においては、0度～45度の範囲では実験結果と概ね一致するが、45度～90度の範囲では高めに評価されることが分かる。



相当塑性ひずみ分布 (Hill-Yld形式)

耳高さ分布の比較

結論

- FEMシミュレーションより得られた耳高さ分布を比較すると、0度～45度付近では実験結果を正確に再現
→ Hill48-yld2004-18p形式を組み合わせることで、Hill48-Hill48形式では考慮できない、異方硬化、および反転負荷による降伏応力の低下を再現するモデルを作成
- 45度～90度付近ではHill48-Hill48形式とほぼ変わらず、高さ分布を高めに評価
→ Hill48-yld2004-18p形式による解析では、Hill48-Hill48形式と比較すると、若干の精度向上を確認
→ 45度～90度区間において実験結果を正確に再現するための解析の更なる高精度化を図る必要がある