

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	--

平成 28 年 12 月 7 日

学位（博士）論文の和文要旨

論文提出者	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 平成 26 年度入学 学籍番号 14833012 氏名 彌永 大作 印
主指導教員 氏 名	桑原 利彦
論 文 題 目	成形シミュレーションの高精度化に資する金属材料の異方硬化モデリング
<p>論文要旨（2000 字程度）</p> <p>近年の計算技術発達に伴い、金属材料の塑性加工技術検討のために有限要素解析（FEA）をはじめとした数値シミュレーションの活用が拡大している。FEA 精度を向上させるためには、材料の弾塑性変形挙動を可能な限り忠実に再現できる材料モデルの構築が必要である。材料モデルが数値シミュレーションの解析精度に及ぼす影響に関しては、これまで数多くの研究がなされてきたが、従来の研究で用いられている材料モデルの多くは、全変形過程において材料の異方性が変化しないと仮定した等方硬化則と異方性降伏関数の組合せ、もしくは一軸応力状態におけるバウシング効果のみを考慮した等方性降伏関数と移動硬化則の組合せに留まっている。そこで本研究では、金属材料が多軸応力状態下で様々な変形履歴をたどる際の非等方硬化現象を詳細に測定し、それにより得られた材料の弾塑性変形挙動のモデリング手法を提案した。さらに、同定した材料モデルが、有限要素解析（FEA）による成形シミュレーションの精度向上に及ぼす影響を検証した。</p> <p>第 1 章「緒言」では、本研究の背景と研究目的ならびに現象論的材料モデルに関する従来研究について述べ、本研究の意義を明らかにしている。</p> <p>第 2 章「アルミニウム合金板の二軸応力下の塑性変形挙動に及ぼす集合組織の影響」では、金属材料のマイクロ組織の差異に起因する、材料の加工硬化特性および異方性の差異が成形シミュレーション精度に及ぼす影響を調査している。化学組成が同一で集合組織が異なるがゆえに、異方性や加工硬化特性等の巨視的変形挙動が異なる 2 種類のアルミニウム</p>	

合金板を用いて、十字形引張試験片を用いた二軸引張試験を行っている。そして二軸応力状態における塑性変形挙動を測定し、各種加工硬化則および異方性降伏関数を用いた材料モデリングを行い、集合組織に代表されるマイクロ組織の差異を、実際の二軸引張試験結果に基づいた巨視的な現象論モデルで表現している。次に、張出し成形による実験検証により、マイクロ組織の差異に起因する加工硬化特性および異方性の違いが FEA 精度に及ぼす影響を明らかにし、塑性変形挙動のモデル化における現象論モデルの有用性を検討している。その結果、材料のマイクロ組織の差異に起因する加工硬化特性および異方性の差異は、現象論モデルである異方性降伏関数により高精度に再現され、材料の二軸応力変形挙動を正確に再現可能な異方性降伏関数を用いることで、張出し成形 FEA の精度が向上することが確認され、現象論による材料モデリング手法の有用性を立証している。

第 3 章「異方硬化挙動の有限要素解析への適用」では、汎用 FEA ソフトの材料構成則に、ユーザーサブルーチン機能を介して任意の異方性降伏関数を用いた異方硬化挙動を導入するために、後退オイラー法による陰的積分法を用いた応力積分方法と、整合接線係数の導出方法を示し、FEA における異方硬化挙動の材料モデリング手法を考案している。

第 4 章「異方硬化挙動が有限要素解析精度に及ぼす影響」では、比例負荷状態での異方硬化挙動に関して、二軸引張試験および二軸バルジ試験を用いて、アルミニウム合金板の比例負荷状態における低ひずみから大ひずみ範囲における異方硬化挙動を実験的に測定している。さらに、異方性降伏関数の次数変化も含めた異方硬化挙動の高精度なモデリングを行い、汎用 FEA ソフトを用いてそのモデルを組み込む手法を示したうえで、異方硬化挙動が FEA 精度に及ぼす影響を評価している。その結果、材料の異方硬化挙動を正確に再現する異方硬化モデルを使用することにより、張出し成形 FEA の精度が向上することが確認され、筆者の提案した異方硬化モデルの有用性を立証している。

第 5 章「応力反転を伴う二軸応力下での弾塑性変形挙動の測定とモデル化」では、バウシニング効果に代表される、材料に加えられる二軸応力状態が非比例的に変化する場合の異方硬化挙動を精密に測定している。管材の実製造工程を模して、素管に軸方向圧縮の予変形を付与した後、円管試験片を製作し軸力一内圧を負荷する二軸バルジ試験を行い、材料に加えられる応力経路が複雑に変化した場合の弾塑性変形挙動を実測している。さらに、測定された複雑変形時の弾塑性変形挙動と移動硬化則をはじめとした各種材料構成則による計算結果を比較している。その結果、単軸応力状態における反転負荷試験よりパラメータを同定した移動硬化則は、二軸応力下における反転負荷試験の結果を概ね再現しており、さらに、降伏応力の変化を便宜的に表現するために移動した降伏曲面を、塑性ポテンシャルとしてみなす関連流れ則が妥当であることを立証している。

第 6 章「結論」では、金属材料の様々な変形状態における非等方硬化現象について総括し、本研究で得られた知見および残された今後の課題を示している。