

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 9 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760121

研究課題名(和文) 板材異方性及びバウシinger効果のマルチスケール解析とそのプレス成形への応用

研究課題名(英文) Multiscale analysis of plastic anisotropy and Bauschinger effect and its press stamping simulations

研究代表者

上森 武 (UEMORI, Takeshi)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：70335701

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：金属材料の応力 - ひずみ関係を高精度に再現する材料構成式開発について検討した。材料構成式は有限要素解析に使用できる形とし、板材異方性と降伏応力を同時に再現できるものとなるように開発した。開発した構成方程式から計算される基礎的な材料応答は従来の理論よりも高精度であり、非比例変形も対応できるものとなった。また開発した構成式はいくつかの汎用有限要素法ベンダーとの協議の上、導入されることとなった。

研究成果の概要(英文)：In order to conduct accurate finite element calculations, new constitutive equations in the mezo and macro level have been studied for three years. The developed new equations have been developed to be able to describe both plastic anisotropy of the sheet metals and the yield conditions very accurately. The results of sheet metal deformation behaviors show good agreements with the corresponding experimental data. It is also confirmed the constitutive equations can deal with the non-proportional cyclic loading history. As results of discussion with some finite element vendors, these constitutive equations have been determined to introduce into some commercial finite element codes.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学, 生産工学・加工学

キーワード：構成方程式 塑性異方性

1. 研究開始当初の背景

コンピューター演算能力が成熟してきた現在、結晶塑性理論を用いた転位密度の発展や結晶内の下部組織の取り扱いなど、材料学的な見地から様々な取り組みが精力的に行われている。しかしながら、上記理論を用いた金属材料の巨視的な機械的性質予測は十分な精度を有していない。申請者の今までの研究も含め、結晶塑性理論による巨視的弾塑性変形(r 値, 降伏曲面, 応力 - ひずみ関係, バウシinger効果の計算)報告例のほとんどは結晶塑性理論自体の問題点である「定性的ではあるが定量的でない」という点を改善しておらず、巨視的レベルでの降伏曲面でさえ計算できない。このような結晶塑性理論が抱える定量的ではないという問題に対して、材料構成式高精度化による解決が求められている。

2. 研究の目的

本研究は、金属材料が有する集合組織情報から降伏曲面・ランクフォード値(以下、r 値)を、その後の加工硬化挙動からバウシinger効果を高精度に再現でき、それをプレス加工などの塑性加工過程の解析に適用可能な「材料設計・加工評価一貫材料構成式」の開発を目的とする。具体的には、結晶方位データと材料科学的知見を入力情報とし、応力 - ひずみ関係を高精度に計算する結晶塑性材料構成式と、その材料科学情報を連携した巨視的塑性材料構成式の開発を行い、金属材料の材料組織設計・開発からその後における塑性加工性を予測・評価可能とする技術の構築を行う。具体的には、SEM・EBSD 金属結晶方位データを入力データとし、巨視的弾塑性変形を定量的に評価できる高精度結晶塑性材料構成式を開発する。さらに、得られた情報からプレス成形解析を可能とする巨視的塑性理論に基づいた構成式(降伏関数, 移動硬化則)を開発する。

3. 研究の方法

(1)降伏曲面計算精度の高精度化

結晶塑性理論を用いた塑性異方性解析で一般的に使用されている RC や FC などの特異な境界条件を解析に与えるのではなく、結晶塑性理論に不足している問題点を解決する。マクロレベルで検討可能な材料試験およびその解析から結晶塑性構成式の中材料パラメータを計算できるようにすることで、従来のプレス現場でもそのパラメータを決定できる形にする。

(2)バウシinger効果・非等方硬化領域計算精度の高精度化

応力反転後のヤング率の塑性予ひずみ依存性、遷移軟化、永久軟化、非等方硬化領域を結晶塑性理論に導入する。移動硬化則を適用するが、材料定数の物理的な意味、数そしてその同定方法を明確にする。

(3)降伏関数の構築

巨視的塑性理論の問題点である「材料パラメータと簡単な材料試験から構成され、r 値と多軸応力状態を同時に高精度に再現する降伏関数」を構築する。同時に降伏関数の材料パラメータを同定することが可能なシステムも作成する。

(4)バウシinger効果・繰返し加工硬化挙動・非等方硬化領域の高精度構成式開発

Yoshida-Uemori モデルとは別な材料学的な考察にもとづいた新しい繰返し材料構成式構築により金属結晶の集合組織情報から直接バウシinger効果の評価が可能とさせる。

4. 研究成果

本研究遂行にあたり、以下の成果を得た。
 ・全ての商用有限要素法に導入可能な高精度演算が可能な巨視的塑性理論に基づいた降伏関数と複雑な非比例負荷変形を記述することができる新しい構成方程式。
 ・全ての商用有限要素法に導入可能で高精度演算が可能な結晶塑性計算アルゴリズム。
 ・全ての商用有限要素法に導入可能な多結晶塑性理論に基づいた結晶塑性解析ソフトウェアと同均質化解析ソフトウェア。
 ・圧延方向を考慮することで、板材異方性の解析精度を改善させた多結晶塑性理論塑性構成式。
 それぞれの詳細について以下に示す。

巨視的塑性理論に基づいた高精度降伏関数であるが、以下に示す6次関数として提案している。

$$\begin{aligned} \phi = & C_1(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^6 - 3C_2(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^5(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) + 6C_3(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^4(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 \\ & - 7C_4(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^3(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^3 + 6C_5(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^4 \\ & - 3C_6(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^5 + C_7(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^6 \\ & + 9(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \left\{ C_8(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^4 - 2C_9(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^3(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) + 3C_{10}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 \right\} \\ & - 2C_{11}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^3 + C_{12}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^4 \\ & + 27(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)^2 \left\{ C_{13}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 - C_{14}(\sigma_{xx} - \sigma_{zz})(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) + C_{15}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 \right\} \\ & + 27C_{16}(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)^3 \end{aligned}$$

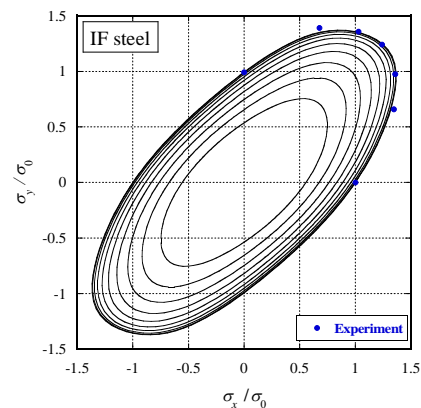


図1 IF鋼の降伏曲面計算例(巨視的理論)

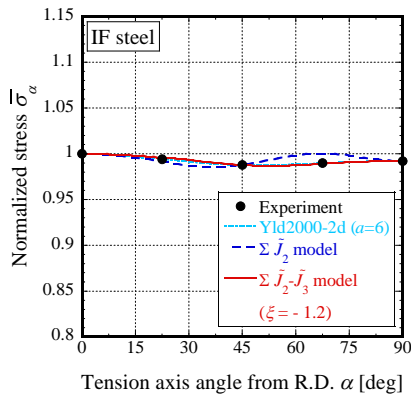


図2 IF鋼の変形抵抗計算例(巨視的理論)

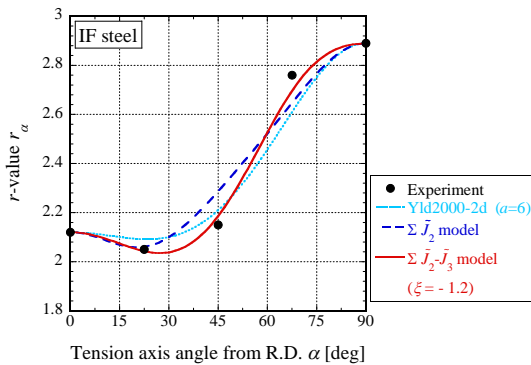


図3 IF鋼のr値計算例(巨視的理論)

本降伏関数の提案により、従来記述が難しかった“流動応力の方向依存性”と“ランクフォード値の方向依存性”を同時に満足することができるようになった(図1~図3参照)。この点に関しては従来の降伏関数では全く対応ができておらず、数値解析結果の向上が期待できる。また、同条件の実験に対して結晶塑性理論のアプローチを行った計算例を図4~図5に示す。結晶塑性理論によるアプローチにおいても同様の傾向を示すことが確認された。特に塑性異方性を再現するr値の計算結果は結晶方位のみを入力情報とすることである程度の計算予測が可能となっている。

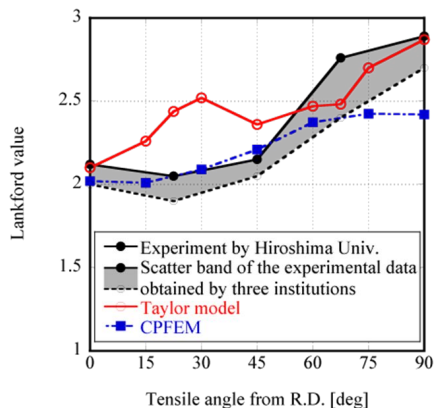


図4 IF鋼のr値計算結果(結晶塑性理論)

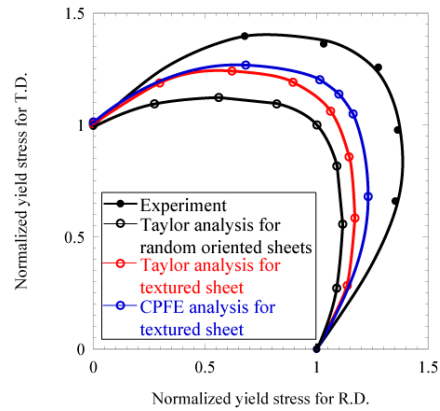


図5 IF鋼の降伏曲面計算例(結晶塑性理論)

本理論は全ての商用FEMに対応可能な形式でプログラミングされており、あらゆる分野での活用が可能である。特に、プレス成形解析を今後より複雑な形状で実行し、今後発表される新しい材料に対して適用することで、本ツールさらには新型構成方程式の有用性を確認できるものと思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件)

T. Uemori, S. Sumikawa and F. Yoshida, Modeling of Bauschinger effect during stress reversal, Steel Research International, 査読有, 45, 2013, pp 119-139.

F. Yoshida, H. Hamasaki and T. Uemori, A user-friendly 3D yield function to describe anisotropy of steel sheets, International Journal of Plasticity, 査読有, 45, 2013, pp 119-139.

T. Uemori and F. Yoshida, Constitutive equations of stress-strain responses of aluminum sheet under stress path changes, Key Engineering Materials, 査読有, 535-536, (2013), pp101-104.

H. Kano, T. Uemori and F. Yoshida, Influence of Anisotropic Yield Functions on Parameters of Yoshida-Uemori Model, Key Engineering Materials, 査読有, 554-557, 2013, pp.2440-2452.

K. Kitayama, T. Kobayashi, T. Uemori and F. Yoshida, Elasto-plasticity behavior of IF steel sheet with planar anisotropy and its macro-meso modeling, ISIJ International, 査読有, 52, 2012, pp.735-742.

T. Uemori, F. Yoshida et.al (他5名, 1番目), Constitutive Equations of Bauschinger Effect under Stress Path Change, Steel Research International, 査読有, Special issue, 2011, pp819-823.

H. Kano, T. Uemori, and F. Yoshida, Influence of Yield Functions on Parameters of the Yoshida-Uemori Model, Steel Research International, 査読有, Special issue, 2011, pp.830-835.

K. Kobayashi, K. Kitayama, T. Uemori and F. Yoshida, Description of Planar Anisotropy and Cyclic Plasticity Behavior of Aluminum Sheet Based on Crystal Plasticity Theory, Applied Mechanics and Materials, 117-119, 査読有, 2011, pp.1397-1401.

S. Tamura, T. Uemori, F. Yoshida, Experimental observation of elasto-plasticity behavior of type 5000 and 6000 aluminum alloy sheets, Materials Transactions, 52-5, 査読有, 2011, pp.868-875.

北山功志郎, 小林匠, 上森武, 吉田総仁, 面内異方性を持つIF鋼板の弾塑性特性とそのマクロ・メゾモデリング, 鉄と鋼, 査読有, 97-4, 2011, pp.221-229.

田村翔平, 上森武, 吉田総仁, 5000系および6000系アルミニウム合金板における弾塑性挙動の実験観察, 軽金属, 査読有, 61-6, 2011, pp.255-261.

〔学会発表〕(計12件)

三宅弘人, 吉田総仁, 上森武, 磯貝栄志, 上西朗弘, 末廣正芳, 鋼板の引張及び単純せん断の結晶塑性解析, (社)日本塑性加工学会論文集, 2013年11月2日, 大阪大学.

細川翔平, 片平卓志, 上森武, 中哲夫, 高津正秀, 足立大樹, 吉田総仁, マグネシウム合金板の温間変形特性とそのモデル化, (社)日本塑性加工学会論文集, 2013年11月2日, 大阪大学.

上森武, Springback of Aluminum Alloy Sheet Metal and its Modeling, 16th International conference on advances in materials & processing technologies, 2013年9月22日~26日, 園山大飯店(台湾).
吉田総仁, 濱崎洋, 上森武, Description of Anisotropy and the Bauschinger effect on Various Types of Steel Sheets, The 11th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes, 2013年7月6日~10日, IMR Conference Hall(中国).

上森武, 麻寧緒, 吉田総仁, 吉田6次降伏関数を用いたアルミ合金及び鋼板の絞りしごきの成形性評価, (社)日本塑性加工学会, 2012年11月4日~6日, 北九州国際会議場.

山川尊史, 高津正秀, 沼倉宏, 中哲夫, 上森武, 吉田総仁, 析出硬化型マグネシウム合金の結晶方位ランダム化とプレス成形性(第2報), (社)日本塑性加工

学会, 2012年11月4日~6日, 北九州国際会議場.

上森武, 北山功志郎, 小林匠, 吉田総仁, 結晶塑性理論によるアルミニウム合金の降伏曲面とバウシinger効果の検証, (社)軽金属学会講演論文, 2012年11月4日~6日, 北九州国際会議場.

平野達也, 田村翔平, 岡村一男, 鈴木利哉, 上森武, 濱崎洋, 吉田総仁, 高張力鋼板の成形シミュレーションに及ぼす異方性降伏関数の影響, (社)日本塑性加工学会論文集, 2012年6月7日~9日, コマツウェイ総合研修センター.

上森武, 赤木宏行, 平野達也, 麻寧緒, 吉田総仁, 異方性降伏関数とバウシinger効果を考慮した高張力鋼板の成形シミュレーション, (社)日本塑性加工学会論文集, 2012年6月7日~9日, コマツウェイ総合研修センター.

高津正秀, 山川尊史, 沼倉宏, 中哲夫, 上森武, 吉田総仁, 析出硬化型マグネシウム合金の結晶方位ランダム化とプレス成形性, (社)日本塑性加工学会, 2012年6月7日~9日, コマツウェイ総合研修センター.

吉田総仁, 濱崎洋, 上森武, 応力テンソルの線形変換と不変量による異方性降伏関数の表現, (社)日本塑性加工学会, 2012年6月7日~9日, コマツウェイ総合研修センター.

上森武, 北山功志郎, 小林匠, 吉田総仁, 多結晶塑性理論によるアルミニウム合金の降伏曲面とバウシinger効果の検討, (社)日本塑性加工学会, 2012年6月7日~9日, コマツウェイ総合研修センター.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上森 武 (UEMORI, Takeshi)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号： 70335701