

Title	残留オーステナイトを含む複相組織鋼の経路変化を伴う変形下の破壊モデルの提案とメカニズム解明
Author(s)	安富, 隆
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/89617
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (安 富 隆)

論文題名

残留オーステナイトを含む複相組織鋼の経路変化を伴う変形下の破壊モデルの提案とメカニズム解明

論文内容の要旨

本論文は、複雑な変形を経て成形される自動車部品の特性向上を目指し、その基盤となる技術として、残留オーステナイトを含む複相組織鋼（TRIP鋼）の経路変化を伴う変形下における破壊挙動を予測し得る数値解析手法の提案とメカニズムの解明を目的とした。本論文は、以下の6章で構成される。

第1章では、複相組織鋼の延性破壊に関する従来の評価手法や数値解析技術を紹介し、経路変化を伴う変形下における延性破壊挙動を想定した手法や破壊モデルが構築されていないという課題を示すとともに、従来、精力的に検討されてきた二相組織鋼（DP鋼）と、本研究で対象とするTRIP鋼の延性破壊に関する共通点と相違点について述べた。

第2章および第3章では、TRIP鋼の破壊が、硬質相と軟質相間の不均一な変形に起因して発生するという過去の検討結果に基づき、まず、基礎検討として、強度の異なる二相を有するDP鋼を対象とした検討を行った。具体的には、DP鋼の経路変化を伴う変形下の破壊挙動を実験的に調査し、それを再現するために必要な損傷モデルの検討を行った。また、本研究では、経路変化を伴う変形の内、比例変形下と加工硬化挙動が大きく異なり、微視組織内の変形の局在化挙動の変化が大きいと考えられる直交変形下と反転変形下を対象として検討を行った。

第2章では、DP鋼の直交変形下の破壊について検討した。その結果、直交変形下の予ひずみによる破断ひずみの低下量は比例変形下と比較して小さく、その主な要因は、微視組織内において予変形時に損傷が小さい領域が二次変形時に変形することで、より広い範囲に損傷が分散したためであった。また、その予測には、複相組織鋼の微視組織形態を再現した有限要素モデルを適用することが重要であることを示した。

第3章では、DP鋼の反転変形下の破壊について検討した。その結果、反転変形下の複相組織鋼の延性破壊限界は比例変形下と比較して向上することを示した。また、その主な要因は、圧縮後の反転変形時に損傷の発達が遅延することによるものであると考えられ、その予測には、移動硬化挙動を考慮した延性損傷数値モデル（有効損傷概念）の適用が有効であることを示した。

次に、第4章では、DP鋼を対象とした破壊モデルをTRIP鋼に適用可能な形に拡張するため、経路変化を含む多様な変形下において、加工誘起変態（以下、変態）に伴う微視組織内の硬質相分布の発達挙動を実験的に調査し、これを予測可能な変態モデルを提案した。従来提案されてきた格子ひずみと結晶方位を考慮した変態モデルを、移動硬化が考慮できるように拡張した変態モデル（有効変態概念）を提案するとともに、微視組織形態を再現した有限要素モデルを用いた解析を行うことで経路変化を伴う変形下のTRIP鋼の変態挙動を再現できることを示した。本章で提案した変態モデルは、微視組織形態を再現した有限要素モデルにおいて、変態に伴う硬質相分布の発達挙動を再現可能とするものであり、このモデルを適用することで、前章までに提案したDP鋼の延性破壊挙動のシミュレーション手法をTRIP鋼へ拡張することを可能とした。

最後に、第5章では、拡張した破壊モデルを適用して、TRIP鋼の直交変形下と反転変形下の破壊について検討した。その結果、TRIP鋼の延性破壊では、上述したDP鋼と同様の因子に加え、残留オーステナイトの変態に伴う硬質相分布の発達挙動が延性破壊挙動に与える影響が大きく、変態が生じにくい変形経路を選択することで破断ひずみが向上することを示した。また、「微視組織内の硬質相分布を再現した有限要素モデル」、「移動硬化挙動を考慮した延性損傷数値モデル(有効損傷概念)」および「格子ひずみ、結晶方位および移動硬化を考慮した変態モデル（有効変態概念）」を統合した数値解析手法により、実験でのTRIP鋼の経路変化を伴う変形下の延性破壊挙動を再現できることを示した。

第6章では、本論文で得られた主な結果をまとめた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (安 富 隆)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	大畑 充
	副 査	教授	望月 正人
	副 査	教授	平田 弘征
	副 査	教授	三上 欣希

論文審査の結果の要旨

自動車用鋼板のプレス成形は多工程化によって変形履歴が複雑化している中、使用する鋼材に応じた加工限界を正確に予測する手法の開発が期待されている。また、強度-延性バランスに優れた TRIP 鋼に適用可能な予測手法を構築することで、さらに複雑な自動車部品への高強度鋼板の適用が期待できる。

本研究はこのような背景から、複雑な変形を経て成形される自動車部品の特性向上を目指し、その基盤となる技術として、残留オーステナイトを含む複相組織鋼 (TRIP 鋼) の経路変化を伴う変形下における破壊挙動を予測し得る数値解析手法の提案とメカニズムの解明を目的とした研究を行っている。本論文で得られた主な結論をまとめると以下のようである。

(1) 相変態しない強度の異なる二相を有する DP 鋼を対象とした基礎検討として、経路変化を伴う変形の代表例として直行変形と反転変形を取り上げ、比例変形下での延性破断限界との相違やその支配因子について検討している。その結果、直交変形下の予ひずみによる破断ひずみの低下量は比例変形下と比較して小さく、強度不均一な組織内における損傷発達の局在化が直交変形によって緩和されることが主要因であることを微視組織モデルを用いたメゾスケール解析により明らかにしている。さらに、反転変形下での延性破断限界が比例変形下と比較して向上した結果は、圧縮後の反転変形時に損傷の発達が遅延することが主要因であることを、移動硬化挙動を考慮した延性損傷数理モデル (有効損傷概念) を適用したメゾスケール解析により見出している。

(2) TRIP 鋼を対象に、多様な変形下における加工誘起変態 (以下、変態) に伴う微視組織内の硬質相分布の発達挙動を実験的に調査し、これを予測可能な変態モデルを検討している。格子ひずみと結晶方位を考慮した従来の変態モデルを、移動硬化が考慮できるように拡張した変態モデル (有効変態概念) を提案することで、微視組織形態を再現した有限要素モデルに適用して経路変化を伴う変形下の TRIP 鋼の変態挙動を再現できることを実証している。本有効変態概念を、(1) で提案した DP 鋼の延性破壊シミュレーション手法に導入することで、TRIP 鋼の延性破壊挙動を予測可能にする拡張破壊モデルを提案している。

(3) 提案した拡張破壊モデルを適用して、TRIP 鋼の直交変形下と反転変形下の延性破壊挙動について検討し、TRIP 鋼の延性破壊挙動には、上述した DP 鋼と同様の因子に加え、残留オーステナイトの変態に伴う硬質相分布の発達挙動が大きく影響を及ぼし、変態が生じにくい変形経路を選択することで破断ひずみが向上することを見出している。このように、「微視組織内の硬質相分布を再現した有限要素モデル」、「移動硬化挙動を考慮した延性損傷数理モデル (有効損傷概念)」および「格子ひずみ、結晶方位および移動硬化を考慮した変態モデル (有効変態概念)」を統合した数値解析手法の提案により、実験での TRIP 鋼の経路変化を伴う変形下の延性破壊挙動を再現できることを示している。

以上のように、本論文は、経路変化を含む変形下の TRIP 鋼の延性破壊挙動を再現できる先進的な破壊モデルと数値解析手法を提案しており、成形解析に適用することで多工プレス成形の破断メカニズムが解明されるとともに、材料に応じた優れた成形手法の考案に展開されることが期待され、我が国のものづくり技術の発展に資するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。