

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	鉄系マルテンサイトにおける変態内部応力と低温脆性破壊に関する研究
Title(English)	Study on transformation internal stress and cryogenic brittle fracture in ferrous martensite
著者(和文)	福井大介
Author(English)	Daisuke Fukui
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12409号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中田 伸生,尾中 晋,木村 好里,稲邑 朋也,寺田 芳弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12409号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	福井 大介		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	中田 伸生	教授	審査員	寺田 芳弘	准教授
	審査員	尾中 晋	教授			
		木村 好里	教授			
稲邑 朋也		教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「鉄系マルテンサイトにおける変態内部応力と低温脆性破壊に関する研究」と題し、全5章より構成されている。

第1章「序論」では、マルテンサイト鋼の変態組織と力学特性に関する従来知見について、オーステナイト (fcc) からマルテンサイト (bcc) への fcc-bcc マルテンサイト変態機構を踏まえて説明している (fcc: face centered cubic, bcc: body centered cubic)。とくに、Bain 格子対応によって生成する Bain グループがマルテンサイト鋼の低温{001}へき開破壊に対する有効結晶粒であることを述べている。さらに、fcc-bcc マルテンサイト変態によって変態内部応力が発現することを指摘し、これがマルテンサイト鋼の力学特性に影響する可能性を述べている。そして、集束イオンビーム (Focused Ion Beam : FIB) とデジタル画像相関法 (Digital Image Correlation : DIC) を併用した FIB-DIC 法によって、金属組織中に分布する微視的な Type-II 残留ひずみが評価できることを紹介している。

第2章「マルテンサイト変態の Bain ひずみに起因した変態内部応力」では、炭素 (C) などの侵入型元素の影響を完全に排除した IF (Interstitial-Free) の Fe-Ni 合金を用いて、ラスマルテンサイト組織中に分布する微視的な変態内部応力を FIB-DIC によって実測した残留ひずみから評価し、電子線後方散乱回折法 (Electron Backscatter Diffraction : EBSD) によって得られる結晶学的特徴との関係を調査した。さらに、中性子回折法と EBSD 法によって、マクロとミクロの観点から正方晶性を評価することで、結晶構造と残留ひずみの関係を調査し、ナノインデンテーション試験により力学特性を評価した。その結果、マルテンサイト変態中の Bain ひずみの一部が残留することで bcc 構造のマルテンサイトが[001]に沿って弾性的に伸長し、これによって、固溶 C を含まないラスマルテンサイトにおいても小さな正方晶性が顕れることを明らかにした。そして、FIB-DIC 法によって測定された残留ひずみの異方性が Bain ひずみのそれと対応することから、ラスマルテンサイトでは Bain グループを単位として微視的な残留ひずみが分布することを示した。さらに、ナノ硬度が FIB 加工による残留ひずみの解放によって顕著に低下することから、微視的な変態内部応力が力学特性に大きな影響を与えることを示した。

第3章「マルテンサイト鋼の変態内部応力によるへき開破壊の異方性」では、C 量の異なる種々の Fe-C-Mn 合金を用いて、マルテンサイト変態による微視的な変態内部応力がラスマルテンサイトの低温へき開破壊に及ぼす影響をシャルピー衝撃試験、EBSD 法ならびに FIB-DIC 法により調

査した。ラスマルテンサイトでは、{001}へき開破壊による低温脆性破壊が生じ、Bain グループが有効結晶粒として作用することを確認した。さらに、Bain 格子対応に基づく結晶方位解析と FIB-DIC 法による変態内部応力測定によって、各 Bain グループにおけるへき開破壊は(100)に比べて(001)でより生じやすく、{001}へき開破壊に異方性が Bain ひずみに起因する微視的な変態内部応力に起因することを明らかにした。

第 4 章「マルテンサイト鋼の変態内部応力に起因した異方的へき開破壊の力学解析」では、マルテンサイト鋼の変態内部応力による異方的へき開破壊を静的負荷条件下の 3 点曲げ試験と拡張有限要素法 (eXtended Finite Element Method : XFEM) による数値解析シミュレーションによって評価した。シャルピー衝撃試験のような動的破壊試験のみならず静的破壊試験においても、各 Bain グループにおける{001}へき開破壊に明瞭な異方性が存在することが明らかとなった。さらに、XFEM を用いた数値解析モデルにおいて、異方性を持った微視的な変態内部応力を導入すると、へき開き裂が明瞭に偏向しながら伝播し、(001)に対応する引張内部応力がき裂開口を助長することを明らかにした。すなわち、微視的な変態内部応力と巨視的な外部応力の重ね合わせによって脆性き裂伝播挙動を整理することが可能であることが示された。また、変態内部応力の存在によってき裂が大きく偏向しながら伝播し、その結果、微視的なき裂伝播過程においてエネルギーが散逸されることから、マルテンサイト組織中の変態内部応力がき裂伝播抵抗を高める可能性があることを示した。

第 5 章「結論」では、本論文の各章の結果について総括した。

以上を要するに本論文は、マルテンサイト変態では Bain 格子対応に起因して異方性を持った微視的な変態内部応力が発生し、これがマルテンサイト鋼の力学特性、とくに{001}へき開破壊に大きな影響を与えることを学術的に示したものである。得られた知見は高強度鋼板の材料設計に対する新たな指針を与えるものであり、工学上・工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。