

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	数値解析を用いた高炭素マルテンサイト鋼の変態組織と内部応力評価に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	田村一輝
Author(English)	Kazuki Tamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第290号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:尾中 晋,木村 好里,稲邑 朋也,寺田 芳弘,中田 伸生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第290号, Conferred date:2025/3/26, 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	田村 一輝	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	尾中 晋	教授	中田 伸生	教授
	審査員	木村 好里	教授		
		稲邑 朋也	教授		
寺田 芳弘		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「数値解析を用いた高炭素マルテンサイト鋼の変態組織と内部応力評価に関する研究」と題し、全5章より構成されている。

第1章「序論」では、序論として本論文の目的とその背景を示した。

第2章「Rodrigues-Frank空間を利用したマルテンサイトの変態組織識別」では、軸受の破損メカニズム解明のため、高炭素鋼に形成する複雑なマルテンサイト組織の解析を試みた。とくに、Rodrigues-Frank(R-F)空間を用いた詳細な方位解析によってマルテンサイトバリエントの厳密な識別を行い、マルテンサイトブロックの分類を試みた。その結果、R-F空間を用いた方位解析では、24種類のKurdjumov-Sachsバリエントを高い精度で区別でき、測定点単位のバリエント判定によって、各バリエントで構成されたブロックを適切に描画できることを明らかにした。また、高炭素鋼に生成するマルテンサイトは微細なラスブロックと粗大なプレートブロックの混合組織によって構成され、それぞれの組織はImage qualityとブロックサイズを基準として区別可能なことを示した。さらに、粗大なプレートブロックは、Type-I Coarse Block(CB):オーステナイト粒内で2つの異なるバリエントが結合した典型的なバタフライ状ブロック対(KS₁/KS₁₆ペア)、Type-II CB:オーステナイト粒界に沿って成長する単一のブロック、Type-III CB:オーステナイト粒界から粒内に向かって成長した同一CPグループ内の双晶関係にあるブロック対の3種類に細分化されることを示した。

第3章「Eshelbyの楕円体介在物理論を利用したマルテンサイトの変態内部応力予測」では、マルテンサイト変態における原子の集団運動を一様な変形として扱い、これによって生じる内部応力を弾性論に基づいて解析した。はじめにEshelbyの楕円体介在物理論を用いて、マルテンサイトの形状や配向によって変化する内部応力を数値計算によって解析した。さらにマルテンサイト内部および周囲のオーステナイト母相におけるすべり変形を考慮し、内部応力の緩和メカニズムを検討した。その結果、マルテンサイトの形状を薄板状と仮定したとき、不変面形成条件を満たすeigen ひずみでは、特定の晶癖面で弾性ひずみエネルギーがゼロとなり、その晶癖面は現象論から予測されるものとはほぼ一致していることを明らかにした。また、組織形状を回転楕円体(アスペクト比 $k = 0.1$)とした場合、生成相を取り囲む母相の塑性変形を考慮することで、弾性ひずみエネルギーはマルテンサイト変態に必要な駆動力の6割程度となり、その際の内部応力は、絶対値は異なるもののBainひずみの異方性が維持されるような値となることを示した。

第4章「マイクロ穿孔法によるマルテンサイトの変態内部応力測定」では、既存の穿孔法を参考に集束

イオンビームによる穿孔加工と画像相関法による変位測定を併用したマイクロ穿孔法の確立に取り組んだ。焼入れままの1.0%C-1.5%Cr鋼にこの手法を適用して、Bainひずみに起因する内部応力と結晶方位の関係を評価した。その結果、穿孔深さを十分に確保した際の変位の周方向分布は、三角関数と定数の和で良く近似でき、穿孔加工前の主応力 σ_1 , σ_2 と試料座標系における最大主応力軸の観察面内角度 θ_0 が推定可能なことを示した。また、穿孔対象部の粗大なプレートマルテンサイトの結晶学的な特徴とマイクロ穿孔法により得られた内部応力を比較したところ、 $[001]_M$ (c軸)は最大主応力軸に、 $[100]_M$ (a軸)は最小主応力軸に比較的近い方向をそれぞれ示しており、IF鋼および低炭素鋼中のラスマルテンサイトにおける内部応力の特徴と一致していることが示された。さらに、マイクロ穿孔法で得られた焼入れままの高炭素マルテンサイト鋼の残留応力は数百MPaのオーダーであり、 $[001]_M$ が旧オーステナイト粒界面に垂直なマルテンサイトブロックが旧オーステナイト粒界で会合する時、モードIの応力が働き裂発生優先サイトとなる可能性が示唆された。

第5章「総括」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、高炭素マルテンサイト鋼の複雑な変態組織とその内部応力を調査することで旧オーステナイト粒界に生成する粗大なプレート状のマルテンサイトブロックが早期破損のき裂発生起点になることを学術的に示したものである。得られた知見は転がり軸受の長寿命化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、東京科学大学リサーチリポジトリ(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。