

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)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

本論文は、軸受の破壊メカニズム解明の基礎研究として、変態組織の識別、変態内部応力の計算、測定への取組みをまとめたもので、全5章より構成されている。

第1章「序論」では、軸受の典型的破損モードであるはく離、軸受材料であるマルテンサイト鋼の変態組織と力学特性の従来知見について説明し、特に粗大なマルテンサイト組織に隣接した旧オーステナイト粒界が組織変化を伴うはく離におけるき裂の発生サイトとなる可能性を述べている。さらに、近年の研究では、マルテンサイト組織におけるミクロスケールの変態内部応力が集束イオンビーム (Focused Ion Beam : FIB) と画像相関法 (Digital Image Correlation : DIC) を併用した手法によって評価されており、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における Bain ひずみの影響がみられることを紹介している (fcc: face centered cubic, bcc: body centered cubic)。

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、軸受材料に典型的なセメンタイトとオーステナイトが混在した高炭素クロム鋼のマルテンサイト組織に対して、後方電子散乱法 (Electron Backscatter Diffraction : EBSD) で得られた結晶方位データをもとに、回転空間の一種である Rodrigues-Frank (R-F) 空間を利用し測定点毎の結晶学的な特徴を調査した。さらに、得られた結晶方位データを Kurdjumov-Sachs (K-S) の関係を満たす理論的な方位と回転空間上で比較することによって 24 種類のマルテンサイトバリエーション番号を判定し、これが連続した領域をブロックとみなす分析手法を確立し、軸受の破損起点となり得る組織の識別を試みた。その結果、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に大きく分けることができることを示した。さらに、粗大なプレートブロックは、その形態と存在位置により 3 種類に大きく分けることができ、特に本論文中で Type-III Coarse block (CB) と呼称するオーステナイト粒界から粒内に向かって成長した同一 Close-Packed Plane (CP) グループ内の双晶関係にあるブロック対は、軸受試験による破損起点付近の粗大マルテンサイト組織と形態的によく似た特徴を有していた。以降の章では、このような粗大マルテンサイトブロックが生み出す内部応力に注目している。

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で生じ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0となり、その晶癖面は現象論から予測されるものと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ことを示した。

第4章では、焼き入れままの高炭素クロム鋼のマルテンサイト組織を題材として、微視スケールの内部応力測定を試みた。測定の結果、焼入れままの高炭素マルテンサイト鋼にはブロックを単位とする偏差的な残留応力が存在していることが確認された。前章までの結果を併せて考えると、c軸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、そのような旧オーステナイト粒界はモード I の応力が働くき裂発生の優先サイトとなる可能性が示唆された。

第5章「結論」では、本論文の各章の結果について総括した。本論文では、詳細な方位の取り扱いによる軸受鋼の複雑な階層的組織の識別、粗大プレート組織の変態内部応力計算、測定に取り組み、粗大プレート組織は変態内部応力の観点からき裂発生サイトになり得ることを示した。