

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Fe-Ni-Cr-C 合金の ' マルテンサイトにおけるバリエーション結合則と幾何学的適合条件に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	高橋希
Author(English)	Nozomi Takahashi
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297号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:稲邑 朋也,中田 伸生,細田 秀樹,曾根 正人,尾中 晋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第297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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	高橋希		審査員主査： Chief Examiner	稲邑朋也 教授

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「Fe-Ni-Cr-C 合金の α' マルテンサイトにおけるバリエーション結合則と幾何学的適合条件に関する研究」と題し、和文で書かれ、全6章で構成されている。

第1章「序論」では、鉄鋼材料は現代社会において我々の生活基盤を支える重要な構造材料の一つであり、近年では省資源化や環境負荷低減の観点から、マルテンサイト変態組織をこれまで以上に高度に制御することによる高強度化および高靱性化が求められ、そのためにはバリエーション結合則を明らかにすることが重要であると述べている。バリエーション結合則の支配因子について既存の研究を概観し、バリエーション間の幾何学的適合条件に注目することの妥当性および新規性を示した上で、バリエーション間の幾何学的不適合性を統一的に評価できる解析解を導出し、ラスマルテンサイトおよびバタフライマルテンサイト組織における結合頻度と幾何学的適合条件との関係を明らかにすること、さらにレンズ状および薄板状マルテンサイトも含めて鉄合金における α' マルテンサイトのバリエーション結合則と幾何学的適合条件の関係を統一的に解明することの必要性を述べ、本研究の目的が示されている。

第2章「異なる晶癖面バリエーション間の幾何学的適合条件」では、鉄合金 α' マルテンサイトの幾何学的不適合性について統一的な理解を得るために、マルテンサイトプレートの晶壁面が不変面であると仮定し、バリエーションの変形勾配を $\mathbf{U} = \mathbf{I} + \mathbf{g}(\mathbf{d} \otimes \mathbf{p})$ の形式で表すことで、晶癖面バリエーション間の幾何学的適合条件における剛体回転 \mathbf{Q} (回転角 θ) の解析解を導出している。

第3章「バタフライマルテンサイト組織におけるバリエーション結合則と幾何学的適合条件」では、バタフライマルテンサイト組織の形成が多く報告されている Fe-18Ni-0.7Cr-0.5C 合金を用いて、変態初期と後期におけるバタフライマルテンサイト組織の結合頻度および結合状態を解析し、バタフライマルテンサイト組織の結合則と幾何学的適合条件の関係を明らかにしている。また、第2章で導出した解析解を用いた議論から、バタフライマルテンサイト組織に高頻度で出現する $V1/2$ ペアの θ が常におよそ 0° であること、またバタフライ結合である $V1/16$ ペアの θ が常に 6° 以上であることを示している。

第4章「ラスマルテンサイト組織におけるバリエーション結合則と幾何学的適合条件」では、室温以下でラスマルテンサイト組織を形成する Fe-22.8Ni-2.1Cr-0.18C 合金を用いて、変態初期および後期におけるラスマルテンサイト組織の結合頻度および結合状態を解析し、ラスマルテンサイト組織の結合則と幾何学的適合条件の関係を明らかにしている。また、第2章で導出した解析解を用いた議論から、 $V1/2$ ペアの θ が常におよそ 0° であること、 $V1/4$ ペアの θ がレンズ状・薄板状マルテンサイトよりも小さくなること、 $V1/16$ ペアの θ が常に 5° 以上であることを示している。

第5章「鉄合金 α' マルテンサイトの結合則全般に共通する普遍的な性質に関する考察」では、先行研究で報告されているレンズ状・薄板状マルテンサイトについて、第2章で導出した解析解を用いて新たな視点で考察している。さらに、第3章および第4章の結果と合わせることで、鉄合金 α' マルテンサイトのバリエーション結合則と幾何学的適合条件の関係を統一的に明らかにしている。鉄合金 α' マルテンサイトの4形態全てにおいて、高頻度で発生するペアはV1/16ペアと、V1/16ペアを除いて幾何学的不適合性 θ が 4° 未満のペアであることを述べている。また形態変化に伴う結合則の変化の理由として、格子不変変形の変化に伴い不変面である晶癖面が遷移し、 θ が減少することでV1/2, V1/4, V1/6ペアの結合頻度が増加することを示している。さらに、4形態全てにおいてバタフライ結合は常に 4° 以上であるにもかかわらず、変態初期において後期よりも高頻度で形成されることを明らかにしている。

第6章「結論」では、各章で得られた成果をまとめて、本論文の結論を述べている。

以上を要するに、本論文は、晶癖面バリエーション間の幾何学的不適合性を統一的に評価できる解析解を導出し、それを基に鉄合金 α' マルテンサイトのバリエーション結合則と幾何学的適合条件の関係を統一的に明らかにしたものであり、鉄鋼材料において重要な基地組織であるラスマルテンサイト組織に対する理解を格段に深化させている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	材料 材料	系 コース	申請学位(専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	高橋 希		審査員主査： Chief Examiner	稲邑朋也 教授

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Steel materials are required to have higher strength and toughness in order to conserve resources and reduce the environmental impact. It is necessary to understand the controlling factors of the variant pairing for ever more sophisticated microstructural control of steels. In this study, I aim to clarify the relationship between the variant pairing and incompatibility θ in the four morphologies of α' -martensite, and I derived the analytical solutions for geometric compatibility condition between habit plane variant, and performed observation of variant pairing using an electron microscope and geometric analysis of rank-1 connection between habit plane variants.

To facilitate the discussion of variant selection from the perspective of θ , the deformation gradient of single variant was expressed as the general form $\mathbf{U} = \mathbf{I} + g(\mathbf{d} \otimes \mathbf{p})$, and to derive θ analytically for each variant pair as a function of g , \mathbf{d} and \mathbf{p} . This makes it possible for the first time in this study to evaluate the geometric compatibility in lath (or butterfly) martensitic microstructure.

The lath (or butterfly) martensite microstructure in an Fe-Ni-Cr-C alloy was analyzed by electron microscopy and theoretical analysis using the rank-1 connection. It was found that the preferred pairs, except for the V1/16 pair, have θ of 3° or less, but V1/16 pair has always θ larger than 5° , and despite its unfavourable geometry, V1/16 pairs are formed with high frequency.

The obtained data on the lath (or butterfly) martensite was considered with the previous studies about lenticular and thin-plate, to clarify universal characteristics about the relationship between the variant pairing and incompatibility θ in four morphologies: (1) the preferred pairs, except for the V1/16 pair, have θ of 4° or less, (2) the habit plane transitions with the change in lattice invariant deformation, and the frequency of V1/2, 4, 6 pairs increases with the decrease in incompatibility θ , (3) V1/16 pair has always θ larger than 4° , and despite its unfavourable geometry, V1/16 pairs are formed more frequently in the early stage of transformation than in late stage.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).