

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Fe 相中の溶質元素の相互拡散によるC14 Laves 相の形成挙動
Title(English)	Formation behavior of C14 Laves phase under the interdiffusion of solute elements in the Fe phase
著者(和文)	LeeDosung
Author(English)	Dosung Lee
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12811号, 授与年月日:2024年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木村 好里,中田 伸生,尾中 晋,小林 郁夫,寺田 芳弘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12811号, Conferred date:2024/6/30, 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	Lee Dosung	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	木村 好里	教授	寺田 芳弘	准教授
	審査員	中田 伸生	教授		
		尾中 晋	教授		
		小林 郁夫	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Formation behavior of C14 Laves phase under the interdiffusion of solute elements in α Fe phase (α Fe 相中の溶質元素の相互拡散による C14 Laves 相の形成挙動)」と題し、全 6 章より構成されている。

第 1 章「General Introduction」では、高 Cr フェライト系ステンレス鋼において Nb と Mo が固溶強化を担う主要な合金元素として利用される一方、 α Fe 母相の過飽和固溶体から析出する種々の金属間化合物相に対する組織制御において拡散が重要な鍵であることを説明している。 α Fe 母相における溶質元素の相互拡散係数を定量的に評価し、拡散固相反応による C14 型 Laves 相の形成過程を解明する本研究の意義を述べ、新たな材料設計指針の構築に貢献できることを示している。

第 2 章「Determination of interdiffusion coefficients of solute elements in the α Fe phase of Fe-Cr-Mo ternary system」では、二元系の拡散対実験により拡散係数を導出する Boltzmann-Matano 法、これを三元系に拡張した Whittle-Green 法を用いて、Fe-Cr-Mo 三元系の α Fe 固溶体相における溶質元素 Cr と Mo に関する相互拡散係数を 1073 K において定量的に導出した。主拡散係数 \tilde{D}_{CrCr}^{Fe} と \tilde{D}_{MoMo}^{Fe} 、および交差拡散係数 \tilde{D}_{CrMo}^{Fe} と \tilde{D}_{MoCr}^{Fe} の評価を行い、また、三元系のデータを二元系に外挿して解析した結果と Fe-Cr および Fe-Mo 二元系の拡散対実験により求めた拡散係数を比較した。交差拡散係数 \tilde{D}_{CrMo}^{Fe} と \tilde{D}_{MoCr}^{Fe} の符号が両方とも正であることから、 α Fe 相中において Cr と Mo は相互拡散を互いに促進する傾向であることを示している。

第 3 章「Determination of interdiffusion coefficients of solute elements in the α Fe phase of Fe-Cr-Si ternary system」では、鉄鋼材料において重要な添加元素の一つである Si に着目し、第 2 章と同じ手法を用いて、Fe-Cr-Si 三元系の α Fe 固溶体相における溶質元素 Cr と Si に関する相互拡散係数を 1073 K における拡散対実験によって定量的に導出した。交差拡散係数 \tilde{D}_{CrSi}^{Fe} と \tilde{D}_{SiCr}^{Fe} の符号が両方とも負であることから、 α Fe 相中において Cr と Si は相互拡散を互いに抑制し合う傾向であることを示している。

第 4 章「Formation mechanism of C14 Laves phase Fe_2Nb at the α Fe/Nb diffusion couple interface under the interdiffusion」では、二元系の α Fe/Nb 拡散対を用いることで、非平衡状態から平衡状態に遷移する過程における組織変化を観察して構成相を解析し、C14 Laves 相 Fe_2Nb の形成機構を解明した。拡散対界面に形成する各層の相構成は α Fe 相側から順番に、C14 Laves 相 Fe_2Nb 、

準安定 η 相 Fe_2Nb_3 , η 相と準安定 FCC-Nb 相が混在した中間拡散層領域, 準安定 FCT-Nb 相であり, 平衡状態図には現れない3種類の準安定相が遷移相として形成することを明らかにしている。BCC 構造の Nb が過飽和に Fe を固溶することで FCC ベースの構造を取ると考えられる。拡散対界面に形成する組織の経時変化において, 全ての準安定相が C14 Laves 相より早い段階で形成することから, 互いに固溶限が小さい αFe と Nb の界面反応の初期段階において, 化学ポテンシャルが連続した拡散経路をエネルギー的に無理なく構築するために, 複数の準安定相が形成する必要があると結論づけ, C14 Laves 相の形成機構を明らかにしている。

第5章「Formation mechanism of C14 Laves phase Fe_2Mo at the $\alpha\text{Fe}/\text{Mo}$ diffusion couple interface under the interdiffusion」では, 第4章と同じ手法を用いて, 二元系の $\alpha\text{Fe}/\text{Mo}$ 拡散対界面における C14 Laves 相 Fe_2Mo の形成機構を解明した。 $\alpha\text{Fe}/\text{Nb}$ 拡散対界面と同様の遷移相として準安定 FCT-Mo が形成するが, $\alpha\text{Fe}/\text{Mo}$ 拡散対の場合には準安定の η 相と FCC-Nb の混在領域は形成せず, 代わりに安定相である μ 相 Fe_7Mo_6 が Mo-rich 組成で FCT-Mo に隣接して形成し, C14 Laves 相の形成に必要な拡散経路として働くことを見いだした。さらに, $\alpha\text{Fe}/\text{Nb}$ と $\alpha\text{Fe}/\text{Mo}$ の拡散対界面における組織形成の比較を行い, さらに三元系の $\alpha\text{Fe}/50\text{Nb}-50\text{Mo}$ 拡散対を用いて Nb と Mo が共存する影響を調べ, C14 Laves 相 $\text{Fe}_2(\text{Nb},\text{Mo})$ 形成の初期段階では Nb-rich 組成であり, 成長に伴い Mo-rich 組成に遷移することを見いだしている。この結果は Fe-Cr-Nb-Mo 四元系合金の αFe 母相中に析出する C14 Laves 相粒子の成長過程と同じ傾向であることを示している。

第6章「General Conclusions」では, 本論文で得られた結果の総括を行い, 当研究分野における今後の展望について述べられている。

以上を要するに, 本論文は, αFe 相における溶質元素 Cr, Mo, Si に関する三元系相互拡散係数を拡散対実験に基づく解析により定量的に導出し, $\alpha\text{Fe}/\text{Nb}$ および $\alpha\text{Fe}/\text{Mo}$ 拡散対界面における C14 型 Laves 相の形成に必要な拡散経路が遷移段階として準安定相によって確保されることを見だし, Fe_2Nb と Fe_2Mo の形成機構を明らかにした。本論文で得られた知見は, 相互拡散係数の新規データベースとして熱力学理論計算やマテリアルズ・インフォマティクス等に活用でき, C14 Laves 相を強化相あるいは機能付与相とする高 Cr フェライト系ステンレス鋼の組織制御に役立つとともに, 総じて鉄鋼材料の機能向上のための新たな材料設計についての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。