

Phase-Field 法と均質化法による Fe-C 合金の組織・強度評価シミュレーション

Simulation of Microstructural Formation and Mechanical Properties

By Phase-Field Method and Homogenization Method

神戸大学・院 ○山中晃徳, 海科 高木知弘, 工 富田佳宏

1. 緒言

鉄鋼材料の機械的特性は、材料内部の微視組織形態に依存して変化する。従って、効率的に組織制御を行い、所望の機械的特性を有する鉄鋼材料を創製するために、数値シミュレーションによる材質予測に関する研究が盛んに行われている。本研究では、Fe-C 合金の熱処理における $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による組織形成過程を Phase-Field (PF)法によって予測し、得られた組織形態に依存した機械的特性を均質化法に基づく有限要素解析により評価し、組織形成予測から力学特性評価までを一貫して実施可能な材質予測手法を構築する。

2. 材質予測シミュレーション手法

本研究では、PF法を用いてFe-C合金の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による組織形成予測を行うが、PFモデルの詳細については、文献(1)で報告しているので参照されたい。Fe-C合金の力学特性評価では、Fe-C合金の微視組織を構成する各相の弾塑性変形挙動が、大変形がを考慮可能なKirchhoff応力のJaumann速度で表現されたJ₂流れ理論による構成式を用いる²⁾。さらに、構成式を仮想仕事の原理式に代入し、可容変位速度および速度変位を、微視領域と巨視領域の座標系 x_i, y_i の2変数関数として扱う、2変数漸近展開理論に基づく均質化法を適用することにより、材料の巨視的および微視的な変形挙動を記述する発展方程式が導出される³⁾。本研究では、これらの発展方程式を有限要素法により離散化し、Fe-C合金の力学特性評価を行う。

3. 解析モデル

PF法による組織形成予測においては、六角形状の γ 粒界に初析 α 相が形成されることを想定して、解析領域内に初期 α 相を配置し、各 α 相に優先成長方向を与える。熱処理条件は温度 1000K一定、初期濃度は α 相で平衡組成、 γ 相で過飽和としている。一方、有限要素解析においては、2次元平面ひずみ状態で、ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 10^{-3}/s$ の一様な引張り変形を与える。巨視領域の任意点近傍には、組織形成予測で得られる画像データより作成された、unit-cellが周期的に配列しているとする。なお、組織形成予測で未変態 γ 相であった領域は、室温への冷却過程でパーライト組織に相変化するものとして各相の物性値を与えている。

4. 解析結果

図 1(a)に、PF法を用いた組織形成予測で得られる、Fe-C合金の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による α 相形成過程を炭素濃度で示す。強い界面異方性により、初期 α 相の α/γ 界面から鋭い先端形状を有するWidmanstättenフェライト(α_w)が形成し、成長していることが観察できる。

図 1(b), (c)に、図 1(a)の 3000 μs における α_w 組織形態を表現するunit-cellと、有限要素解析で得られた、微視組織内部の相当塑性ひずみ分布を示す。巨視的な変形が進行するにつれて、微視領域では組織形態に依存して、不均一なひずみ分布を呈しており、軟質な α_w に塑性変形が集中することが示唆される。講演会当日は、より詳細な解析方法や解析結果について報告する。

参考文献

- 1) A. Yamanaka et al, Mater. Trans., 47, (2006), 2725-2731
- 2) Y. Tomita, Elasto-Plastic Mechanics, (1990), YOKENDO, Ltd.
- 3) Y. Higa et al, Trans. JSME, 66, (2001), 1441-1446.

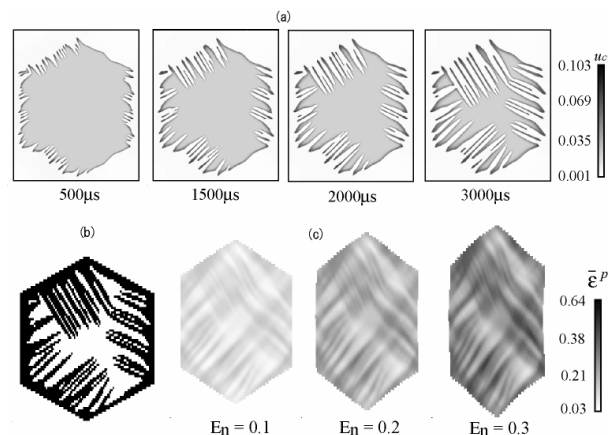


Fig. 1 (a) Distribution of carbon concentration during the growth of Widmanstätten ferrite, (b) unit-cell model for finite element analysis and (c) distribution of equivalent plastic strain in microscopic region