

中性子回折による低合金鋼の相分率のその場測定(その3)

日本製鉄株式会社 技術開発本部/田中 駿

日鉄テクノロジー株式会社 富津事業所/草間 一徳

1. Introduction

高強度鋼は、ベイナイト、マルテンサイト、オーステナイト、パーライトなどが複雑に形成した組織を有しており、これらの金属組織のサイズや分率の違いが、鋼の特性に大きく影響する。本研究は、高強度鋼の金属組織形成メカニズムを理解するため、高温からの冷却過程における $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態挙動と、それに伴う、炭素(C)の分配・析出挙動を明らかにすることを目的としている。本課題では、Fe-C-Si-Mn 合金を用いて、ベイナイト変態におけるCの分配挙動を明らかにするため、①ベイナイト変態率、② γ の格子定数、の時間変化を調査する。

前回(課題番号 2018AM0026)、Fe-0.1C-0.5Si-2.0Mn 鋼を 550°C で等温保持したときの γ の体積分率、格子定数の時間変化を調査した。しかしながら、ビーム出力の関係で測定区間に対して十分な回折強度が得られず $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態挙動を詳細に追うことが困難であった。

今回検討では、ビーム出力増強(500kW→700kW)に伴い、より高い分解能で $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態挙動を調査した。また、変態に伴う炭化物析出を極力抑制するため、Si 添加量を増加させた供試鋼を用いて検討した。

2. Experiment

2.1 Sample

供試鋼の化学成分を Table 1 に示す。真空溶解炉で鑄造したインゴットを 1100°C × 60min 加熱し、 γ 化したのち、板厚 20 mm まで圧延した。次に、1300°C × 8 h の均質化熱処理を施した。その後、Figure 1 に示す試験片を採取し、供試鋼とした。

2.2 Experimental procedure

iMATERIA に装備されている加熱冷却装置を用いて 950°C × 1800s 昇温保持して γ 化した後、550°C まで 40°C/s で冷却し、550°C で 1000s 保持しながら、その場中性子回折実験を行った。冷却は He により行った。1000s 保持後は 20°C/s で室温まで He で冷却した。温度履歴を Figure 2 に示す。また、保持温度を 600-500°C でさまざま変えて同様の実験を行った。

解析は Rietveld Texture Analysis 法を用いた。 α (110)、 γ (111)ピークの強度比や面間隔 d から、 α/γ の体積比および格子定数を求めた。データセットは Bank34,90,149 を用い、各時刻におけるデータは、10s ごとに区切り、その平均値をとった。ビームはシングルモードで出力 700 kW である。

Table 1 Chemical composition of specimen steel. (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	N	O
0.096	1.01	2.01	<0.002	0.0008	0.027	<0.001	0.0008	<0.001

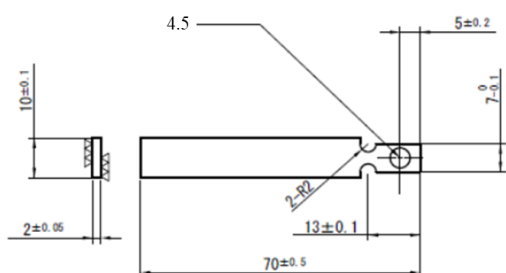


Figure 1 Configuration of plate specimen.

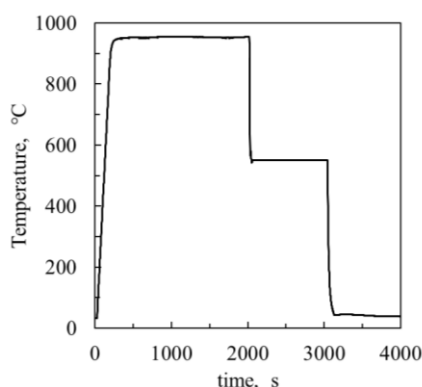


Figure 2 Example of temperature diagram.

3. Results

まず、室温において α -Feの格子定数を評価した。室温での α -Feの格子定数は0.286705nmであった。この値は合金元素の影響を考慮したフェライトの格子定数¹⁾と概ね一致した。

次に、950°Cで γ 化した後、550°Cで等温保持したときの中性子回折プロファイルを図3に示す。いずれの時刻においても種々の α の明瞭なピークと γ (111)および γ (200)ピークが観察された。 γ (111)ピークの拡大図を図4に示す。また、 γ (111)ピークから得られる γ の格子定数と γ の体積分率の時間変化を図5に示す。保持開始直後から100sまでは、 γ の体積分率が減少するとともに、 γ の格子定数が増加した。一方、100-1000sにかけては、 γ の体積分率が減少するとともに、 γ の格子定数が減少する傾向が得られた。

550°Cにおける γ の格子定数から推定される未変態 γ のC濃度の時間変化を図6に示す。未変態 γ のC濃度は、Leeら²⁾による合金元素および温度の影響を考慮した式により計算した。計算にあたり、供試鋼の置換型元素(Mn,Si,Al)は等温保持中に α - γ 間で分配が生じていないと仮定した。計算結果から、保持開始から100sまでに未変態 γ のC濃度は0.55-0.60mass%程度まで上昇し、その後、100sから1000sにかけて、未変態 γ のC濃度は約0.50 mass%程度まで減少していると考えられる。

これらの結果を総合すると、100sまでは、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が進行するとともに、 α から γ へのCの分配が進んだことを示唆する。一方、100-1000sにおいて、 γ の格子定数が減少した現象は、Cが濃化した γ の一部から炭化物が析出し、C濃度が低い γ が残存したことで説明されると考えられる。

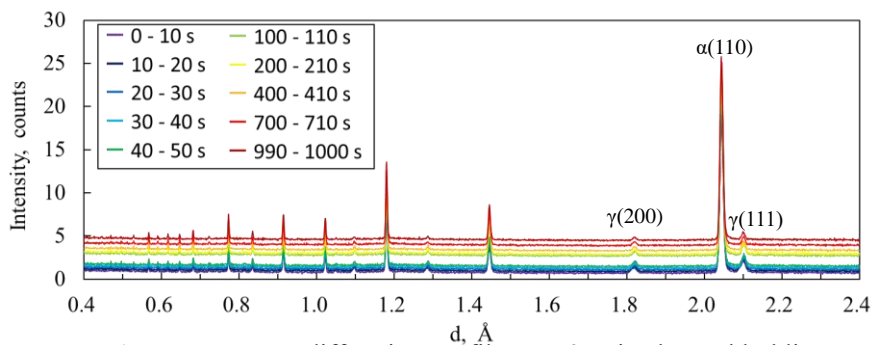


Figure 3 Neutron diffraction profile at 550°C isothermal holding.

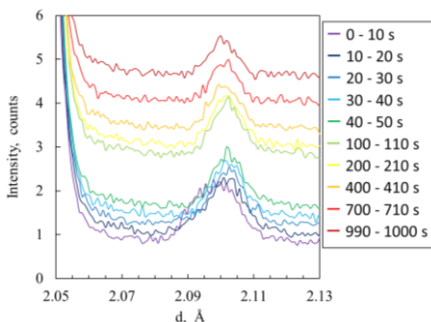


Figure 4 γ (111) peak at 550°C isothermal holding.

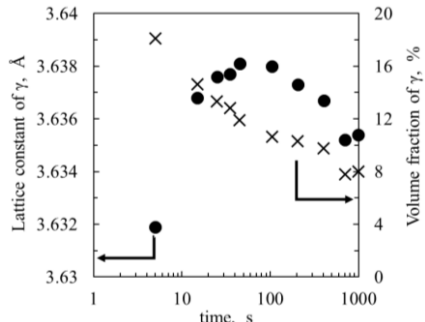


Figure 5 Change in lattice constant and volume fraction of austenite.

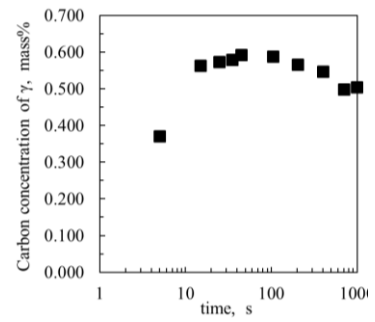


Figure 6 Change in carbon concentration of austenite.

4. Conclusion

- 0.1C-1.0Si-2.0Mn を 550°C保持したときの γ の格子定数(γ のC濃度)および体積分率の時間変化を得た。 γ の体積分率が単調に減少するのに対して、 γ の格子定数は増加したのち、減少に転じることを確認した。
- 今後は、 γ の最大格子定数を特徴づけるメカニズムの熱力学的検討を進める。

【References】

- 1) H.K.D.H. Bhadeshia *et al.*: Mater. Sci. Technol., 7(1991), 686.
- 2) S-J. Lee *et al.*: Scripta Mater., 64(2011), 649.