

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2014

課題番号：26630365

研究課題名(和文) 平衡変態点以上の温度における鋼の動的相変態

研究課題名(英文) Dynamic Phase Transformation above Equilibrium Transformation Temperature in Steels

研究代表者

辻 伸泰 (Tsuji, Nobuhiro)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30263213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：低炭素鋼の加工熱処理物理シミュレーション実験を種々の温度・歪み速度で行い、動的フェライト変態挙動を調べた。6Ni-0.1C鋼および2Mn-0.1C鋼において、平衡変態点・Ae3温度以上で動的変態による変形応力の低下と、急冷材におけるフェライト相の形成が確認された。同じ温度で加工後静的保持すると、一旦生成したフェライトが消滅することも確認できた。これらより、平衡変態点以上の温度における動的フェライト変態の発現を証明することができた。同じ条件における変形中の中性子その場回折実験を、J-PARCのBL19において実施したが、時間分解能の限界から、中性子回折による確認は現時点では得られていない。

研究成果の概要(英文)：Dynamic ferrite transformation behavior was investigated in a wide temperature range using 6Ni-0.1C and 2Mn-0.1C steels. Softening in flow stress due to dynamic transformation was observed at temperatures above Ae3 in both steels. Microstructural observation revealed that ferrite grains formed at temperature above Ae3 showed deformation microstructures, and those grains were reversely transformed to austenite during subsequent holding at the same temperature. Therefore, we concluded that dynamic ferrite transformation could certainly occur even above Ae3. In-situ neutron diffraction experiments during the hot-deformation under the same conditions as mentioned above was carried out using a thermomechanical processing simulator settled at BL 19 TAKUMI in J-PARC, but the dynamic transformation could not be clearly confirmed because of the limitation of time resolution in the neutron diffraction experiment.

研究分野：金属材料学、材料組織学、材料強度学

キーワード：鉄鋼材料 加工熱処理 動的変態 微細粒フェライト 中性子回折

1. 研究開始当初の背景

鉄(Fe)におけるオーステナイト相(γ 相、面心立方(FCC)構造)からフェライト相(α 相、体心立方(BCC)構造)への同素変態は、鉄鋼(Fe-C合金)の組織制御の基本となる重要な相変態である。近年、低炭素鋼において、高温変形中の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態、すなわち動的フェライト変態(Dynamic Transformation)が、超微細粒フェライト相を得るための新しい機構として注目されている。中でも、平衡変態点以上の温度での動的フェライト変態の発現が一部で議論されており、注目を受けている。しかしながら、動的フェライト変態に関する正確で信頼に足りうる研究結果は限られており、その多くは不明であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、平衡変態点(A_{e3} 点)以上の温度における動的フェライト変態の発現を、高温変形中のその場中性子回折実験などにより、直接的に証明することである。

3. 研究の方法

低炭素鋼に対して、研究代表者の研究室において種々の温度・ひずみ速度等の条件下で系統的な高温圧縮試験(加工熱処理試験)を行い、平衡変態点以上で動的相変態が発現すると考えられる変形条件をまず明らかにする。その上で、J-PARCにおいてその条件での高温圧縮試験中のその場中性子回折実験を行い、変形中の γ (FCC) $\rightarrow \alpha$ (BCC)変態を直接的に証明する。研究代表者も参画している文部科学省・元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>京都大学構造材料元素戦略研究拠点(ESISM)の活動により、J-PARCのBL19(TAKUMI)に、高温加工熱処理シミュレータ(富士電波工機製・Thermecmator-Z)を導入し、高温加工熱処理中のその場中性子回折実験が可能な環境を、世界で初めて構築した。導入や安全性点検のため多少遅延したが、2014年11月に、最初の高温加工その場中性子回折実験を実施することができた。

本成果報告書では、2Mn-0.1C鋼の結果を示す。2Mn-0.1C(wt%)鋼の板材に対して真空中で1150°C、12hrの均一化処理を行った後、氷食塩水焼き入れによりマルテンサイト単相組織を得た。均一化処理後の試料から切り出した8mmφ×12mmの円柱状試験片に対して加工熱処理シミュレーターによる熱間圧縮実験を行った。Ar雰囲気中で850°Cおよび1000°C・300sのオーステナイト化処理後、

加工温度(700°C~1000°C)へ30°C s⁻¹で冷却し、同温度で10s保持した後、ひずみ速度10⁻¹s⁻¹~10⁻²s⁻¹で60%の単軸圧縮加工を施した。圧縮試験後、試験片を直ちに室温まで水冷した。圧縮試験後の試験片の組織は光学顕微鏡およびSEMにより観察した。また、J-PARC/MLFのBL19(匠)にて、高温圧縮加工中の試験片に白色中性子パルスビームを照射することにより、動的フェライト変態挙動をその場観察・解析した。

4. 研究成果

Figure 1に、700°C~1000°Cの種々の温度でひずみ速度10⁻²s⁻¹にて圧縮試験を行うことによって得られた真応力-真ひずみ曲線を示す。1000°Cでの真応力-真ひずみ曲線は、初期の加工硬化後に軟化する典型的な動的再結晶型の形状を示す。加工温度の低下に伴って軟化が生じ始めるひずみ量が大きくなっていくが、700°Cでは750°Cよりも小さなひずみ量で軟化が起こっている。これはオーステナイトよりも変形応力の低いフェライト相の生成によるものと考えられ、動的フェライト変態が生じていることを意味している。J-PARCで行った熱間加工その場中性子回折実験によっても、加工中に動的フェライト変態が生じていることを確認できた。

Figure 2に、820°C、ひずみ速度10⁻¹s⁻¹加工後に水冷した試験片のSEM像を示す。加工温度が A_{e3} 温度(806°C)よりも高温であるにもかかわらず、フェライト相が生成している(Figure 2中のF)。我々が以前に行った6Ni-0.1C鋼を用いた研究では、加工条件によっては A_{e3} 温度以上でも動的フェライト変態が発現しうることが確認されており、変態温度が比較的高い2Mn-0.1C鋼においても A_{e3} 温度以上で動的フェライト変態が発現することが示唆された。同じ条件での高温加工中のその場中性子回折実験をJ-PARCで実施したが、十分な量のフェライトを得るための加工条件下では加工時間が短く、J-PARCにおいて現状可能な回折線検知の時間分解能との兼ね合いで、明確な動的相変態を中性子回折により得るには至らなかった。今後、鋼種や加工条件を変えるなどして、検知可能な実験条件下でのその場中性子回折実験を継続する予定である。

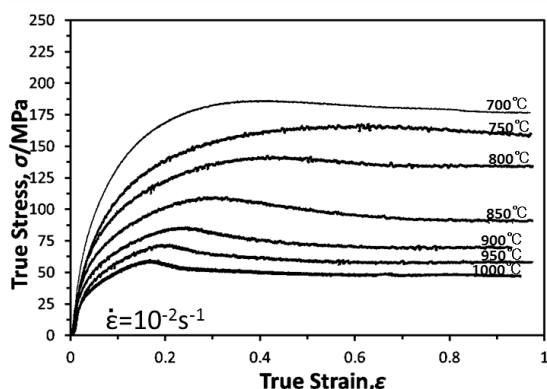


Figure 1 True stress – true strain curves of the 2Mn-0.1C steel deformed at various temperatures at a strain rate of 10^{-2}s^{-1} .

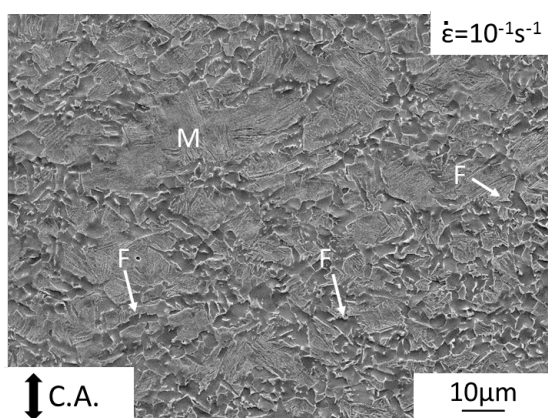


Figure 2 An SEM image of the specimen deformed to a strain of 0.92 (60% compression) at 820 °C and a strain rate of 10^{-1}s^{-1} . ‘F’ and ‘M’ indicate ferrite and martensite, respectively.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Nokeun Park, Lijia Zhao, Akinobu Shibata, Nobuhiro Tsuji, “Dynamic Ferrite Transformation Behaviors in 6Ni-0.1C Steel”: JOM, Vol.66, No.5 (2014), pp.765-773. DOI: 10.1007/s11837-014-0913-3
- ② Lijia Zhao, Nokeun Park, Akinobu Shibata, Nobuhiro Tsuji, “Microstructural Evolution of Ferrite Grains during Dynamic Transformation in 10Ni-0.1C Steel”: TMS 2014 Annual Meeting Supplemental Proceedings, TMS (2014), pp.919-926.

- ③ L.J.Zhao, N.Park, S.Chen, Y.Z.Tian, A.Shibata and N.Tsuji, “Nanostructured Ferrite Formation in Low-Carbon Steel through Thermo-Mechanical Controlled Processing”: Proc. of the 35th Riso Int. Symp. on Mater. Science, "New Frontiers of Nanometals", Dept. Wind Energy, Riso Campus, DTU (2014), pp.529-536.

[学会発表] (計 3 件)

- ① L.J.Zhao, N.Park, S.Chen, Y.Z.Tian, A.Shibata and N.Tsuji, “Nanostructured Ferrite Formation in Low-Carbon Steel through Thermo-Mechanical Controlled Processing”: The 35th Riso Int. Symp. on Mater. Science, "New Frontiers of Nanometals", Dept. Wind Energy, Riso Campus, DTU, 2014.9.1-5.
- ② 辻 伸泰、柴田暁伸、寺田大将、朴 魯謹、山崎慎太郎、林 杉、Stefanus Harjo、川崎卓郎、「鋼の加工熱処理過程で生じる固相反応の中性子その場解析」、第3回物構研サイエンスフェスタ、つくば、2015.3.17.
- ③ 柴田暁伸・朴 魯謹・山崎慎太郎・林 杉、ステファヌスハルヨ、辻 伸泰、「その場中性子回折による動的フェライト変態挙動の解析」、日本鉄鋼協会春季講演大会、東京大学駒場キャンパス、2015.3.18-20.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：

権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.tsujilab.mtl.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

辻 伸泰 (TSUJI, Nobuhiro)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30263213

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし