

鉄鋼材料の組織形成および変形・破壊挙動の中性子回折解析

物質・材料研究機構 柴田暁伸

輸送機器の燃費向上や国土強靱化に資する建築材開発を実現するためには、鉄鋼材料に代表される構造用金属材料の更なる高強度化・高性能化が必要不可欠である。500℃～1000℃のような高温での加工と熱処理を組合わせた「加工熱処理」は、1000年以上前の刀鍛冶から現在の自動車用鋼板や建築材などの鉄鋼材料製造にも引続き適用されている製造プロセスである。しかし、高温度域での加工熱処理中にどのようにマイクロ組織が形成されるかを直接観察することは困難であるため、現行の加工熱処理は依然として経験的な側面に大きく依存しているのが現状である。鉄鋼材料の高強度化・高性能化を実現していくためには、加工熱処理中のマイクロ組織形成過程を明らかにし、メカニズムに基づいた加工熱処理によってマイクロ組織を制御していくことが必要である。我々は、J-PARCのMLFビームライン19(匠)に、実際の鉄鋼材料製造プロセスを模擬した加工熱処理中のその場中性子回折実験が可能で高温加工熱処理シミュレータを導入した(図1)。本研究では、「動的フェライト変態」と呼ばれる、今後の加工熱処理の基礎となる新しいメタラジとして注目されている相変態を研究対象にした。

動的フェライト変態は母相オーステナイトの加工中に生じる相変態であり、動的フェライト変態を含む加工熱処理によって結晶粒径が1 μm以下の超微細粒マイクロ組織が得られることがわかっている。通常、超微細粒マイクロ組織の形成は、繰り返し重ね接合圧延に代表されるような巨大ひずみ加工が必要である。しかし動的フェライト変態を含む加工熱処理では比較的小さなひずみ量で超微細粒マイクロ組織を得ることが可能であることが大きな特徴である[1]。しかし、その変態メカニズムや超微細粒マイクロ組織形成メカニズムは不明のままであり、そもそも変形中に相変態が生じているかどうか議論の対象となっている。そこで本研究では、その場中性子回折実験によって動的フェライト変態におけるマイクロ組織形成過程を明らかにすることを目的として実験を行った。

加工熱処理中に得られたその場中性子回折プロファイル解析の結果、圧縮加工を荷重し始めてからフェライトに対応する回折ピークが現れていることが明らかとなった[2]。これは動的フェライト変態が母相オーステナイト中の加工中に生じていることを実証した非常に重要な成果である。また中性子回折プロファイルからフェライト相とオーステナイト相の格子定数変化を解析し、変態に伴って生成した動的フェライト相の格子定数が減少していくことを明らかにした。これは、変態中に平衡モードがパラ平衡からオルソ平衡へと遷移することに起因すると考えられる。これまで動的フェライト変態の変態機構については、「せん断型変態」、「マッシュ変態」、「拡散型変態」など種々の変態機構が提案されてきているが[3]、上述の変態中の格子定数変化は拡散型変態を仮定しないと説明できないため、本研究によって動的フェライト変態は拡散型変態であることを明確に示すことができた。さらに加工熱処理中の母相オーステナイトの格子欠陥密度(転位密度)変化を定量評価することがわかった(図2)[2]。通常、母相オーステナイトは室温への冷却中にフェライトもしくはマルテンサイトに変態して消失してしまうため、バルク材において高温度域でのオーステナイトの加工状態を直接評価することはほぼ不可能であった。しかし、本研究で用いたその場中性子

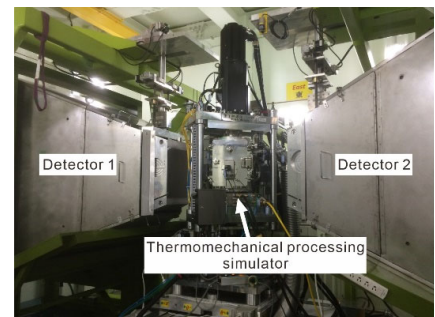


図1 その場中性子回折実験用高温加工熱処理シミュレータ。

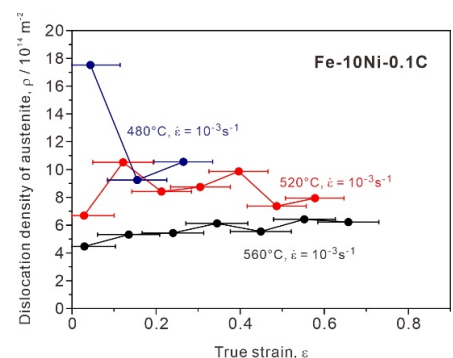


図2 動的フェライト変態に伴う母相オーステナイト中の転位密度変化。

回折実験用加工熱処理シミュレータは、高温状態での加工状態を直接評価することが可能である。母相オーステナイトの転位密度変化の結果から、動的フェライト変態を含む加工熱処理によって得られる超微細粒マイクロ組織は、動的再結晶によって生じていることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 牧正志ら: 鉄と鋼, 100 (2014), 1062-1075.
- [2] A. Shibata et al.: Scripta Mater., 165 (2019) 44-49.
- [3] L. Zhao et al.: Adv. Eng. Mater., 20 (2018) 1701016.