

鉄鋼材料における熱処理過程中の共析変態挙動測定

株式会社プロテリアル 中野洋佑 松本大成

茨城大学 佐藤成男 星川晃範

1. Introduction

鉄鋼材料中の炭化物および組織状態はその材料特性を支配する重要因子である。原料の調達リスクや材料のリサイクル性などの環境面を考慮すると、特殊元素の添加に頼らない特性向上手段が必須であり、加熱冷却に伴う相変態や加工熱処理を利用した組織制御の重要性は年々高まっている。本研究では、工場生産における不良率の低減、熱マネジメントの最適化によるCO₂排出量低減、および今後の開発において希少元素に頼らない成分設計の指針を得ることを目的としている。

これらの目的を達成するためには、熱処理中の非平衡炭化物の同定や共析変態を律速する現象の特定することが重要である。熱処理過程中の鉄鋼材料の変態挙動や炭化物の固溶／析出挙動は、加熱ホルダーを装着した電子顕微鏡や高温X線回折、高温中性子回折等により高温下でのその場観察が行われている。電子顕微鏡やX線回折は微小領域や表層の変化しか捉えることが出来ないのに対し、中性子回折は他の量子線と比べて透過能が高いため、バルク試料に対して炭化物を含めた構成相の体積率などの変化を捉えるのに適している。そのため、中性子回折を用いた熱処理過程中のその場観察は、実工程中の変化により近い現象を捉えることが期待できる。

本研究の対象としているJIS SKD61(Fe-0.4%C-1%Si-0.4%Mn-5%Cr-1.2%Mo-0.9%V)はダイカストなどの鑄造金型や鍛造金型、押出成形金型などの熱間金型材料として幅広く使用されている。また、SKD61をベースとして種々の成分改良鋼が開発されており、現在でも汎用鋼として重要な鋼種である。SKD61は特にCr, Mo, Vといった炭化物形成能が強く、拡散が遅い元素が複数種添加されており、熱プロセスや前組織の状態によって形成される炭化物種が異なる事が予想される。

初回測定の今回は、ベース鋼種であるJIS SKD61を測定試料として熱処理過程中的中性子線回折その場観察を行い、 α 相/ γ 相の変態挙動だけでなく、微量炭化物のピーク検出と相同定が可能なことを把握することが目的である。

2. Experiment

鍛造工程後のJIS SKD61鋼から70×20×2 mmに切り出した試料について、焼なまし工程を模した熱処理プロファイルで加熱・冷却を行い、その場回折測定により熱処理過程中的の変化を観察した。測定にはBL20(iMATERIA)を使用し、試料環境機器として雰囲気制御高温炉を用いた。

Ar雰囲気下で室温から20°C/minで750°Cまで昇温して10min保持後、2°C/minで870°Cまで昇温した。870°Cで3hr保持したのち、-0.5°C/minで650°Cまで降温した。本報告では、背面検出器バンクで熱処理過程に連続して計測したデータから、昇温速度や降温速度などに合わせて100～600sec間隔で取り出した回折プロファイルを解析に用いた。

3. Results

図1に熱処理過程中的中性子回折プロファイルの変化を示す。860°C付近から α 相から γ 相への変態が確認された。870°Cキープ中は α 相が減少して γ 相が増加しているが、すべてが γ 相には変態せず、一部 α 相が残存した。冷却過程では775°Cで γ 相から α 相への変態が完了した。一方、炭化物の回折ピークは熱

処理過程中で大きな変化はなかった。これは昇温・保持中に炭素の固溶限の高い γ 相への変態が完了せずに α 相が残存していたため、炭化物の固溶が進まず、冷却中の $\gamma \rightarrow \alpha$ への変態時にも共析炭化物の結晶相にも影響がなかったためだと考えられる。室温で含有される炭化物は、主にM7C3, MC, M23C6と推定され、リートベルト解析の結果、室温の含有炭化物量はトータルで4mass%程度であった。

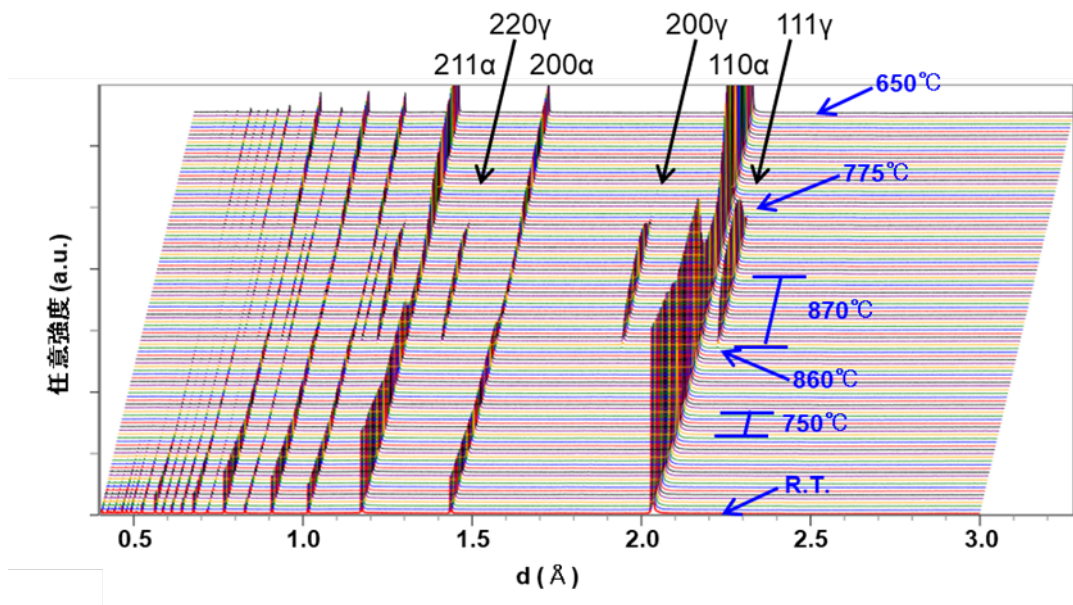


図1. 熱処理中の回折プロファイル変化

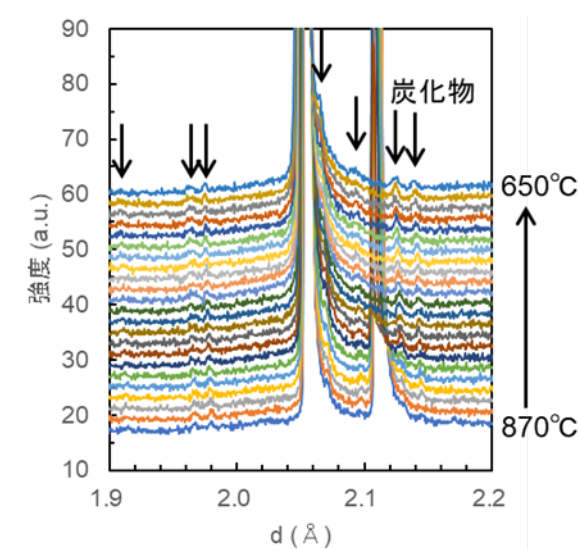


図2. 冷却中の回折プロファイル変化

4. Conclusion

本実験では主相の α/γ 変態だけでなく、ごく微量な炭化物のピークも十分に観測できることが分かった。今回のSKD61以外の開発鋼種での測定においても主相だけでなく炭化物も熱処理過程中的変化を追えると考えられる。本実験では α 相が残留したため炭化物の変化は認められなかった。 γ 変態が完了しなかった原因を調査するとともに、開発鋼種においても同様の観察を行い、相変態や炭化物形成の挙動を把握し、熱処理工程の改善などに繋げる。

5. References

- 1) Y. Tomota et al., 鉄と鋼, Vol.106(2020), No.5, pp.262-271