

浸炭焼入れ鋼中の残留オーステナイト量の評価

Evaluation of Retained Austenite Amount in Carburizing and Quenching Steel

松田知子

Tomoko Matsuda

機械素材研究所 無機材料担当

残留オーステナイトは鋼の熱処理後に生じ、硬さ不足、時間経過とともに寸法変化や割れなどを生じ、製品不良につながる。鳥取県産業技術センターにおける残留オーステナイト相量推定についての取り組みを紹介する。

1. はじめに

残留オーステナイトとは、鋼をオーステナイト化温度以上まで加熱したときのオーステナイト状態から、焼入れしたときマルテンサイト相に変態しきれず残留するオーステナイト相のことをいう^{1), 2)}。残留オーステナイト相は、硬さ不足や熱処理後時間の経過とともに寸法変化を生じたり、外部からの応力によってマルテンサイト相に変態するなど、不安定な要素を含む²⁾。鳥取県産業技術センターではこれまで、硬さ試験や組織観察で残留オーステナイト相の評価に取り組んできた。今回、これらの解析方法に加え、X線回折測定、電子線後方散乱回折 (Electron BackScattered Diffraction Pattern ; EBSD) 法による結晶方位解析装置を用いた評価方法に取り組んだ事例を紹介する。

2. 実験方法

2.1 供試材料

残留オーステナイトを生じさせる試験片には、寸法が径 10mm×長さ 50mm のニッケルクロム鋼

表 1 試験片の化学成分値

| 化学成分 (%) | | | | | | | |
|----------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr |
| 0.15 | 0.29 | 0.51 | 0.010 | 0.013 | 0.04 | 3.28 | 0.85 |

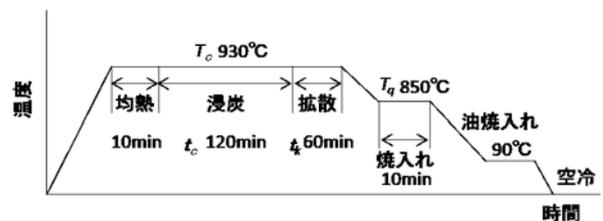


図 1 浸炭焼入れ処理条件

SNC815 を用いた。化学成分値を表 1 に示す。この試験片に、図 1 に示す浸炭焼入れ処理を施した。狙い有効硬化層深さは 0.6mm である。

2.2 測定方法

試験片の残留オーステナイト相評価のためレーザー顕微鏡による組織観察、X線回折測定、および電界放出型走査電子顕微鏡に搭載された結晶方位解析装置を用いた結晶相解析による残留オーステナイト量の見積もりを行った。表 2 に、X線回折測定条件を示す。また、熱処理シミュレーションによって見

表 2 X線回折測定の条件

| 項目 | 条件 |
|----------|-----------|
| 管球 | Cu |
| 走査角 (2θ) | 70° - 95° |
| 走査速度 | 1.00°/min |
| 検出器 | 高速半導体検出器 |

積もられた残留オーステナイト量と実験結果の比較を行った。

3. 結果と考察

図2に、レーザー顕微鏡 (SFT4500、(株) 島津製作所) を用いて観察した試験片の浸炭焼入れ層 (a) と芯部 (b) の組織写真を示す。

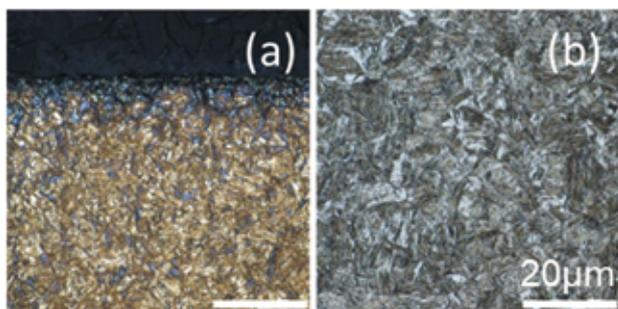


図2 浸炭焼入れ層 (a) と芯部 (b) の組織写真

図2 (a) の浸炭焼入れ層には微細な焼入れマルテンサイト組織が観察されている。この浸炭層中には残留オーステナイト相が現れていると考えられるが、図2に示すようなレーザー顕微鏡像では、判定が難しい。そこで、X線回折測定から残留オーステナイト相量を調べた結果を示す。図3は、試験片表面から得られた回折図形である。このピーク強度から、 $V_\gamma = \frac{1.4I_\gamma}{(I_\alpha + 1.4I_\gamma)}$ の式^{3,4)}を用いて、残留オーステナイト量を求めた。ここで、 I_γ はオーステナイト相 220_γ と 311_γ ピークからの回折積分強度の平均値であり、 I_α は、マルテンサイト相 211_α ピークからの回折積分強度である。この式から、残留オーステナイト量は約 10% と見積もられた。

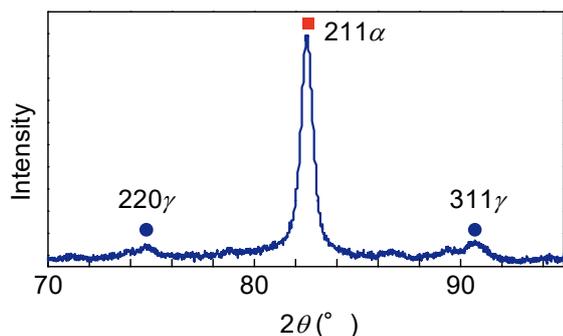


図3 浸炭焼入れ層のX線回折図形

次に、浸炭焼入れ層および芯部それぞれについて、EBSD法による結晶相の解析結果を図4に示す。解析には、電界放出型走査電子顕微鏡 (SU5000、(株) 日立ハイテクノロジー) に搭載された結晶方位解析装置 (Digiview5、(株) TSL ソリューションズ) を用いた。図4 (a) は浸炭焼入れ層、(b) は芯部の解析結果である。図4の黒い部分は残留オーステナイト相が現れていることを示し、それ以外の白い領域はマルテンサイト相である。得られた画像から、残留オーステナイト量は約 4% と算出された。一方、芯部の残留オーステナイト量は、ほぼ 0% であると示された。

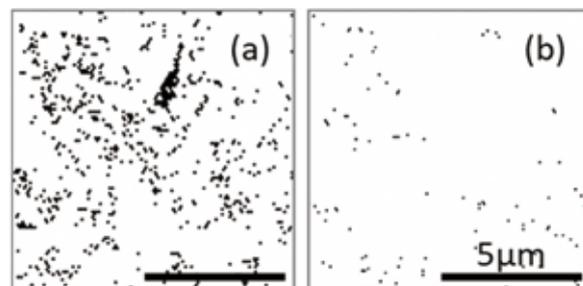


図4 浸炭焼入れ層 (a) と芯部 (b) の結晶相解析結果。黒色がオーステナイト相、それ以外の白い領域はマルテンサイト相

EBSD法によって測定された残留オーステナイト量は面積率である。八十八は、残留オーステナイト組織は3次元組織であるが、2次元組織とみなして大差ないものとして考えており⁶⁾、この考えと同様にEBSD法により測定された残留オーステナイト量を体積率とした。

最後に、同様の試験片に関して、浸炭焼入れ層の残留オーステナイト量の有限要素法による熱処理シミュレーションした結果を図5に示す。計算には、

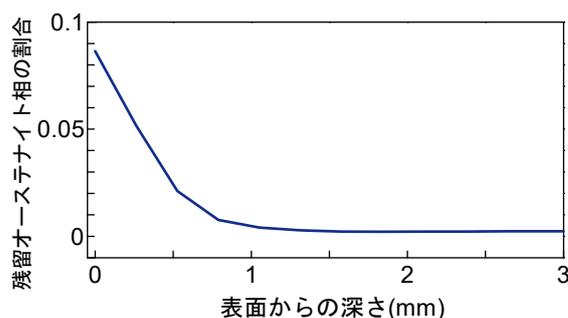


図5 試験片の残留オーステナイト相量のシミュレーション結果

DEFORM® Ver.11.1 (HT) を用い、野嶋ら⁵⁾と同様の有限要素法による熱処理シミュレーションを行った。その結果、残留オーステナイトは最表面近傍で約8%、表面から1mm以上深い位置では、ほぼ0%となった。

今回の取り組みにおいて、X線回折測定で得られた残留オーステナイト量は高めの値を示したが、結晶方位解析装置・シミュレーションで得られた値は、同程度のオーダーであることを確認した。

4. おわりに

熱処理後の鋼に生じる残留オーステナイトは、鋼製品の形状や寸法、機械的強度特性に影響を及ぼす。鳥取県産業技術センターでも、複数の手法による結晶相解析に取り組んでおり、評価方法の知見の蓄積を進めている。熱処理後の鋼など鉄鋼材料の特性評価にご利用いただきたい。

謝 辞

実験に使用した試験片の熱処理は、鳥取県金属熱処理協業組合様にご協力いただきました。

本研究では、平成29年度公益財団法人JKA公設工業試験研究所等における研究開発型機械設備拡充補助事業を受けた設備を利用しました。

ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) (社)日本熱処理技術協会; 熱処理ガイドブック, 大河出版, p.78(2002).
- 2) 大和久 重雄; 熱処理ノート 第2版, 日刊工業新聞社, p.87-88(2008).
- 3) R. L. Miller; Trans. Am. Soc. Met., 57, p.892(1964).
- 4) R. L. Miller; Trans. Am. Soc. Met., 61, p.592(1968).
- 5) Muneo, Y., et al., J.Japan Inst. Metals, 73, 11, p.852-856(2009)
- 6) Kengo, N., et al., Journal of Japan Society for Design Engineering, 54, 1, p.45-60(2018).