

浸炭焼入れ鋼の組織微細化を目指した繰返し熱処理

Cyclic Heat Treatment for Grain Refinement of Carburized and Quenched Steel

松田知子

Tomoko Matsuda

機械素材研究所 無機材料担当

機械要素部品に用いられる浸炭焼入れした低合金鋼 SCM415 の強度向上を目指し、高周波焼入れの繰返し処理を行った。高周波焼入れ処理後の金属組織（旧オーステナイト組織、マルテンサイト組織）は、1 回処理では結晶粒サイズが様々な混粒であったが、繰返し処理することによって、均一に微細化することがわかった。

1. はじめに

機械要素部品に用いられる低合金鋼クロムモリブデン鋼 (SCM415) には、機械的強度特性を付与するため浸炭焼入れ処理が施される。浸炭焼入れ処理中の浸炭工程では、 A_3 変態点を超える高温で数時間保持し炭素を鋼材表面に侵入させ、その後の焼入れ処理によって浸炭部分の組織がマルテンサイト化することで表面強度が増加する。この浸炭工程における高温保持によって、焼入れ前の組織である旧オーステナイト組織は、粗大化する傾向にある。旧オーステナイト組織は、粒径が小さいほど種々の強度が向上すると考えられている^{1)~3)}。低合金鋼の結晶粒の微細化には、一般的に微量の合金元素を添加する手法が用いられてきたが、添加量に制約があることや添加による加工性の悪化、また合金元素価格の高騰などの理由から、合金元素添加によらない微細化方法が求められている。合金元素を添加せずに低合金鋼を高強度化する手法のひとつに結晶粒の微細化がある。結晶粒の微細化は、材料の延性や靱性を顕著に害することなく高強度化することができるといわれている⁴⁾。旧オーステナイト組織の微細化において、浸炭焼入れされた SCr420 に真空焼入れと焼戻しの繰返し熱処理が有効であると西川らによって報告されている⁵⁾。また、織田らによって浸炭材に高

周波焼入れを 1 回施すと旧オーステナイト粒径が微細化することが報告されている⁶⁾。西川らや織田らの報告では、結晶粒微細化元素 (Ti⁵⁾、Nb⁶⁾) を含有する合金鋼が用いられている。

本報では、一般的に流通している SCM415 に対して結晶粒の微細化を狙い、浸炭焼入れされてある SCM415 に高周波焼入れを繰り返した場合の旧オーステナイト組織と焼入れマルテンサイト組織の微細化について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

本研究で用いた試料クロムモリブデン鋼 (SCM415) の化学成分を表 1 に示す。試料の寸法は、径 10mm、高さ 20mm とした。焼ならし (180°C、3 時間) を施したのち、図 1 に示す条件の浸炭焼入れ処理を行った。浸炭焼入れ後、表 2 に示す条件の高周波焼入れを行った。高周波焼入れの条件は、浸炭焼入れで得られた硬化層深さの領域に重ねて焼入れをするものである。各熱処理を施した試験片の断面の表面近傍について組織観察を行った。旧オーステナイト組織の観察にレーザー顕微鏡 (SFT4500、(株) 島津製作所)、焼入れマルテンサイト組織の観察に電子顕微鏡 ((株) 日立ハイテク、SU5000) と EBSD (Electron Back Scatter Diffraction) 検出器 ((株)

TSL ソリューションズ、Digiview5) を用いた。硬さ試験には、マイクロビッカース硬さ試験機 ((株) ミツトヨ、HM-220D) を用いた。

表 1 供試物件の化学成分 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.17	0.27	0.79	0.012	0.016	0.02	0.01	1.13	0.16

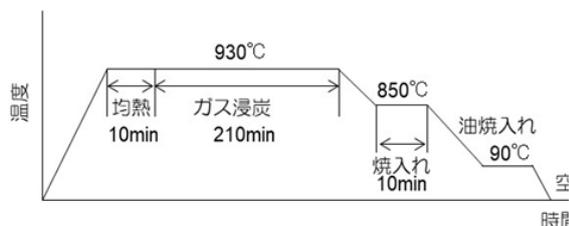


図 1 浸炭焼入れの作業図

表 2 高周波焼入れ条件

条件	
周波数	200kHz
電力	27kW
移動焼入れ (速度)	15mm/min
冷却方法	水冷
回数	1回/5回

3. 結果と考察

図 2 に各熱処理後試験片の旧オーステナイト組織のレーザー顕微鏡による観察像を示す。図 2 の (a) は浸炭焼入れ後、(b) は (a) に高周波焼入れ 1 回、および (c) は (a) に高周波焼入れ 5 回繰り返し処理したときの旧オーステナイト組織である。

(a) は低合金鋼の浸炭焼入れ後、一般的にみられる旧オーステナイト組織であり、粒径が $50\mu\text{m}$ を超える粗大な結晶粒もみられるが、平均粒径は約 $18 \pm 9\mu\text{m}$ である。(b) には、粗大粒と微細化傾向のある結晶粒の混粒が現れていた。(c) には、粒径約 $5\mu\text{m}$ 以下の均一な微細粒が観察された。供試物件では、1 回の高周波焼入れでは、結晶粒が均一に微細化しなかった。

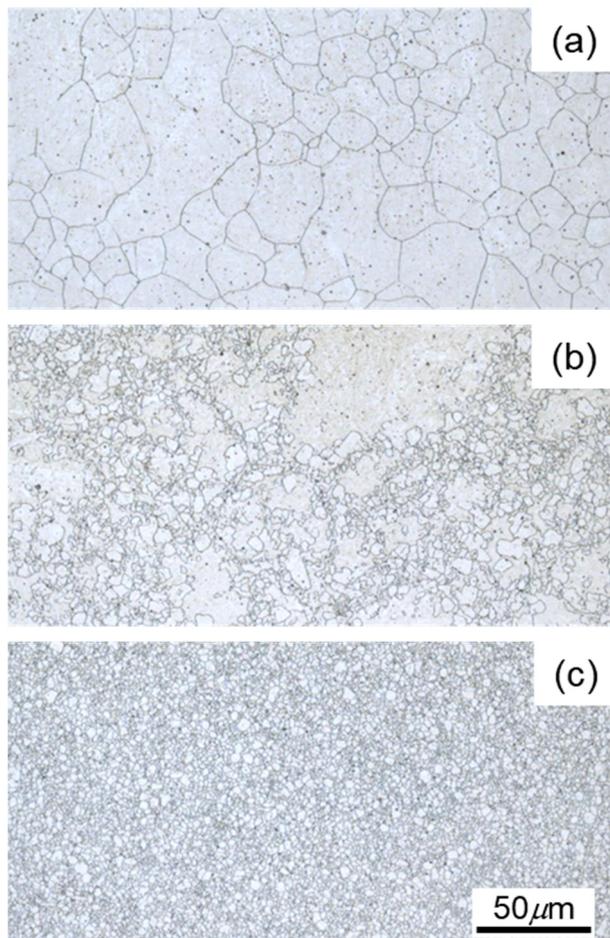


図 2 旧オーステナイト組織

(a) は浸炭焼入れ後、(b) は (a) に高周波焼入れ 1 回処理、(c) は (a) に高周波焼入れ 5 回処理

浸炭後 1 回の高周波焼入れで微細な旧オーステナイト組織が得られた報告では、鋼材中に組織の微細化に寄与する元素 (Al、Nb、Mo) が含まれている⁶⁾。このような元素を含まない SCM415 では、粒成長の抑制効果が期待できないため、浸炭焼入れ後 1 回の高周波焼入れでは均一に微細化されなかったと考えられる。高周波焼入れを 5 回繰り返し処理する間に組織は微細化されていたことから、組織の微細化に寄与する元素が含まれない場合、高周波焼入れの繰り返し処理が有効であると考えられるが、その閾値に関しては今後の検討事項である。

図 3 に、電子顕微鏡と EBSD 検出器によって得られた焼入れマルテンサイト組織の粒径分布マップを示す。浸炭焼入れ後の組織は、針状を呈している。高周波焼入れを 1 回施すと針状組織は微細化傾向にあ

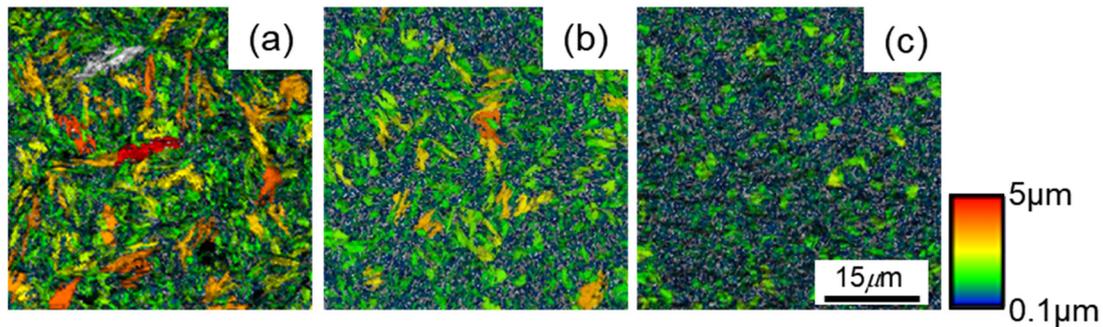


図3 焼入れマルテンサイト組織の結晶粒径カラーマップ

り、5回繰返し処理を施すとさらに均一に微細化された焼入れマルテンサイト組織が現れている。図2の旧オーステナイト組織の微細化に伴って、焼入れマルテンサイト組織も均一に微細化する傾向である。

図4に焼入れ硬化層のビッカース硬さを示す。浸炭焼入れ後、それに高周波焼入れを繰返した試験片の焼入れ硬化層硬さはほとんど変化していない。低合金鋼の浸炭焼入れ材には、残留オーステナイトが一定量発生するといわれている⁷⁾。浸炭焼入れ材に高周波焼入れを繰返しても表面近傍のビッカース硬さが同水準であったことは、浸炭焼入れ時に現れていた残留オーステナイト量に変化がなかったためであると推測される。

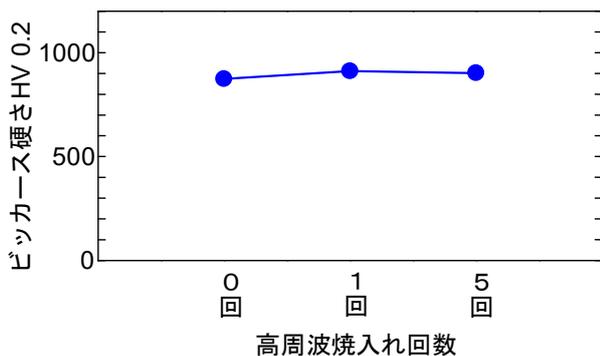


図4 浸炭焼入れ、高周波焼入れ後の表面硬さ

4. おわりに

浸炭焼入れした低合金鋼 SCM415 に高周波焼入れを繰返し処理した金属組織について、以下の結果を得た。

高周波焼入れ1回ではさまざまな結晶粒サイズの混粒組織が得られた。5回繰返し処理を施すと、均一に微細な結晶粒となることがわかった。

焼入れマルテンサイト組織は、旧オーステナイト組織の微細化にともなって微細化していた。

浸炭焼入れ後と高周波焼入れの繰返し処理を施した試料の表面近傍のビッカース硬さは変化がなかった。

謝 辞

本実験にあたり、浸炭焼入れ処理、高周波焼入れ処理にご協力いただいた鳥取県金属熱処理協業組合生田様に感謝申し上げます。

本研究は、財団法人 JKA から競輪等の一部である機械工業振興資金の援助を受けた設備を利用して行いました。

文 献

- 1) Tatsuro, O.; et al.; Effect of Austenite Grain Size on the Fatigue Crack Growth and Arrest Behavior of Carburized Steel, 鉄と鋼, 97(11), p.52-56(2011).
- 2) Yoshiyuki, F., et al.; High-cycle fatigue properties for modified-ausformed SCM440 steels, CAMP-ISIJ, 14, p.635(2001).
- 3) Tohru, H. et al.; The Method of Prior Austenite Grain Refining Using Induction Hardening, JFE 技報, 23, p.4-9(2009).
- 4) 高木節雄; 鉄の強化機構と限界強度, までりあ, 36(7), p.675-679(1997).
- 5) Motohiro, N, et al.; Effect of Austenite Grain Size on Mechanical Properties of Carburized and repeatedly Quenched Case Hardening Steel, Sanyo Technical Report, 14, p.42-49(2007).

- 6) 織田和幸, 有見幸夫, 無田上章, 浸炭焼入れ方法, 4079139(2008).
- 7) Tadashi, M.; Retained Austenite and Its Role in the Improvement of Mechanical Properties of Steels, Sanyo Technical Report, 2(1), p.2-8(1995).