

過共析鋼の低温焼戻し挙動におよぼす P の影響-2

Effect of P on quench-tempering behavior of hypereutectoid steel -2

特殊金属エクセル 細谷 佳弘、松村 雄太、土屋 栄司

東北大金研 大洗センター 戸村 恵子、井上 耕治、永井 康介

1. 緒言

ϵ 炭化物は高炭素鋼を焼入れ後 250°C以下で焼戻した際に観察され、①フィルム状または網目状の形態を示す、② $Fe_{2.4}C$ の組成を有する、③セメンタイト (θ) が析出する 300°C以上では母相中に再固溶するなどの現象が知られている。最近では、④ ϵ 炭化物析出の前駆段階として 10at%程度まで C が濃化する⁽¹⁾、⑤ ϵ 炭化物中の固溶 C による内部摩擦現象が観察される⁽²⁾などの報告もあるが、 ϵ 炭化物の析出 (Clustering) サイトや素過程については明らかにされていない。

今回、過共析鋼の低温焼戻し挙動におよぼす P の影響について 3 次元アトムプローブ (APT) 観察を重ねる過程で、 ϵ 炭化物の析出前駆段階とされる C の Clustering⁽¹⁾ に対して P が重要な役割を果たす結果が得られたので報告する。

2. 実験方法と結果

実験方法は前報記載の通りであるが、供試鋼は従来鋼並の P 量である HP (0.023mass%) と極低 P の LP (0.005mass%) を用いた。それぞれ 800°C から焼入れまま (As-Q) と 250°C で焼戻した (QT) サンプルについて、APT で $5 \times 5 \times 200 \text{ nm}^3$ の領域における C と P の一次元濃度プロファイル进行分析した (Fig.1)。得られた結果を以下に列記する。

As-Q では、(1) LP, HP ともに共析組成 (3.6at%) に対して $\pm 2.5 \text{ at}\%$ 程度の C の濃度揺らぎが存在する。(2) HP では 5at% 以上の C のピークが周期的に観察される。(3) HP では 0~0.2at% の範囲で P の濃度揺らぎが観察されるが、周期性は認められない。LP:QT では、(4) C のピークは比較的 P 濃度の低い位置で観察され、 θ 炭化物と思われる 20at% を超える C のピーク位置には P の濃化は観察されない。HP:QT では、(5) 0.25at% (0.14mass%) に達する P の濃化が 10~20nm 間隔で観察される。(6) P のピーク位置には C が濃化する傾向が認められ、多くの位置で両者のピークは一致する。

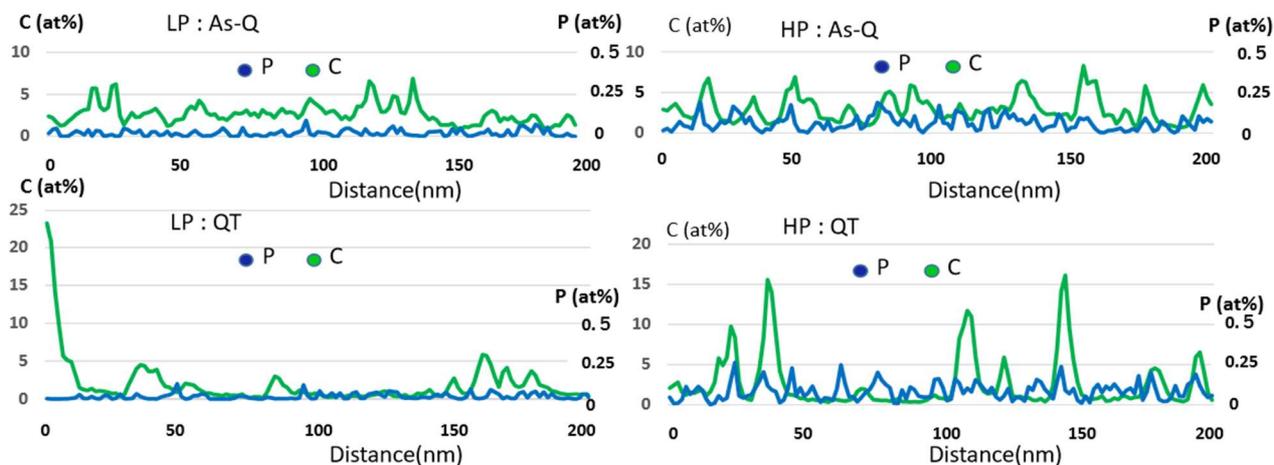


Fig.1 Concentration profiles of P and C atoms under as-Q and after tempered at 250°C in HP and LP detected with 3D-APT

3. ϵ 炭化物析出の前駆段階としての C の Clustering 現象に関する考察

以上の結果から、 ϵ 炭化物の析出前駆段階とされる C の濃化と θ 炭化物の析出は、先ず As-Q では P 原子は α' 相中で大きな濃度ゆらぎを伴う不安定な状態であり、250°C以下の焼戻しでも短範囲の再配置と Clustering が起こる。P の濃化による α' 相の弾性ひずみを緩和するため P の Cluster 近傍に C が濃化する。この状態が ϵ 炭化物析出の前駆段階⁽¹⁾ と思われる。C と P の原子間相互作用に対する明確な答えはないが、P 近傍の弾性応力場に C が引き寄せられていると考え、その熱活性化エネルギーは α 相中の Snoek ordering のそれよりは大きくなる⁽²⁾であろう。300°C以上では θ 炭化物が成長するため、多くの P 原子近傍の C Cluster は再固溶すると考えられる。LP では C の濃化は P の影響を受け難く、 θ 炭化物の析出が促進されると考えられる。これは、前報で LP の靱性回復温度が低温側にシフトした結果とも符合する。

参考文献 (1) C. Zhu, A. Cerezo and G.D.W. Smith: Ultramicroscopy, 109 (2009), pp. 545

(2) M. Shimotomai: Metallurgical and Materials Trans. A, Vol.47A, (2016), pp.1052-1060.

Yoshihiro Hosoya (Tokushu Kinzoku Excel Co., LTD., 56 Tamagawa, Tokigawa-cho, Hiki, Saitama 355-0342)