

討13

炭素鋼の焼戻し過程に現われる χ -炭化物について

東北大学名誉教授 今井勇之進

東北大学 金研 小倉次夫

東北大学 大学院。井上明久

1. 目的

炭素鋼の焼戻し過程における炭化物析出の問題に関しては、古くから多くの研究が行なわれているが、未だ不明な点が少なくない。とくに、 χ -炭化物存在の有無については未知の点が多い。本研究は、 χ を主体とした鋼の焼戻し過程における炭化物析出挙動ならびに結晶学的な諸特性を主として電子顕微鏡による透過観察によって追究することを目的としている。

2. 方法

用いた試料は、電解鉄と白鉄とをアルゴン雰囲気中で高周波溶解した6種類の炭素鋼(1.34%, 1.11%, 0.86%, 0.48%, 0.15%, 0.01% C)である。このような試料を熱間鍛造および冷間圧延によって0.2~0.4mm厚の板とした。次に、この試験片をアルゴン雰囲気中で溶体化(1000°C, 30分)後、米食塩不中へ焼入れ、さらに液体窒素中に保持した。その後、150°C~450°C(25°C間隔)で、おのおの1, 3, 5時間焼戻し、これらから薄膜を得て検鏡に供した。使用した電子顕微鏡の加速電圧は100kVであった。なお、比較のため磁気測定および熱膨張測定をも併せ行なった。

3. 結果および考察

(1) ϵ , χ および θ の形態ならびにその存在領域について

1.34% C鋼を250°C, 5時間焼戻した時の炭化物析出状態の一例を写真1に示す。写真には、比較的微細な ϵ がフェライトの(100) α トレース方向に沿って一様に析出しており、同時にフェライトの $\{211\}\alpha$ トレース方向に沿って ϵ と形態を異にする炭化物が析出を始めている。写真2は、275°C, 5時間焼戻した同じ鋼における炭化物析出状態を示す。写真においては、 ϵ は量的に微小となり、代わって上述した $\{211\}\alpha$ トレース方向に沿う炭化物が著しく成長している。電子線回折によると、(B)に示したように χ の回折像が得られ、これからこのような炭化物は χ であると考えられる。 ϵ と χ とは、その形態が全く異なっており、また電子顕微鏡的にみてその優先成長方向も異なっているようである。これから ϵ → χ への変化は、seperate nucleationによるものと推察される。

375°C, 1時間焼戻した1.11% C鋼における炭化物析出状態の一例を写真3に示す。(B)は(A)における領域Aから得た電子線回折像である。(A)に見られる炭化物は θ であるが、写真から明らかなようにフェライトの(121) α トレース方向に沿って析出しているものとそうでないものとがある。前者はこれまで述べてきた χ とその形態がきわめて類似

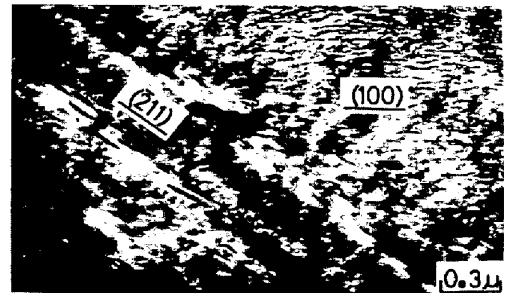


写真1. 1.34% C鋼における ϵ 炭化物の析出(250°C, 5時間焼戻)

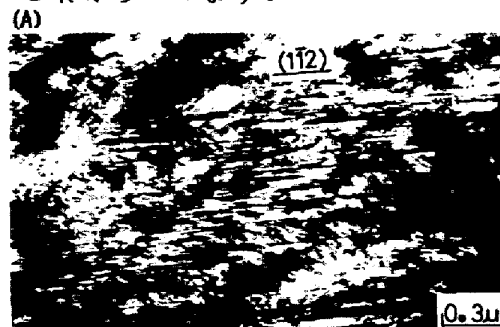
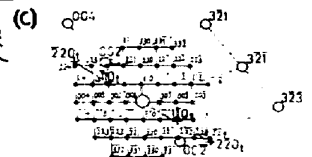
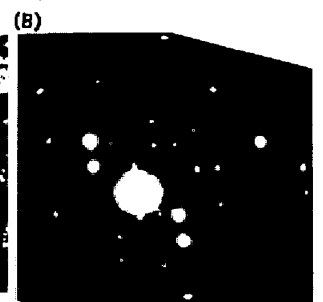


写真2. 1.34% C鋼における χ -炭化物析出(275°C, 5時間焼戻)

- フェライト
- χ -炭化物
- + 双晶
- * χ -炭化物から二重反射



してあり、またその晶癖面も λ と同じく $\{112\}_\lambda$ である。これらの点から考えて、この種の θ は双晶界面上に析出した λ から *in situ*変態によって生じたものと推定される。0.86% C 鋼を275°C, 5時間焼戻した時の炭化物析出状態の一例を写真4に示す。電子線回折像(c)内のフェライトおよび双晶以外の回折斑点は、 λ の $(1\bar{1}0)_\lambda^*$ と一致している。(B)の暗視野像は $(22\bar{1})_\lambda$ 回折斑点から得たものである。これから明らかた、 λ はフェライトの $(1\bar{1}2)_\alpha$ トレース方向に沿って析出していることがわかる。

0.48% C 鋼を275°C, 5時間焼戻した時の λ の析出状態の一例を写真5に示す。(B)の暗視野像は $(2\bar{2}1)_\lambda$ から得たものである。高炭素鋼におけると同様、 λ はフェライトの $(1\bar{1}2)_\alpha$ トレース方向に沿って析出している。

以上のように、主として双晶マルテンサイトからは明らかた λ が析出するようである。ところで、低炭素鋼の焼入れ組織はラスマルテンサイトから成っていることが知られている。⁽¹⁾以下においては、このように焼入れ組織が異なる場合に λ が析出するか否かを調べてみた。

0.017% C 鋼^{*}を300°C, 3時間焼戻した時の炭化物析出状態の一例を写真6に示す。電子線回折像(c)から明らかたように、この炭化物は λ である。暗視野像(B)は、 $(112)_\lambda$ 回折斑点から得たものである。高、中炭素鋼と同様に、 λ はフェライトの $\{112\}_\alpha$ トレース方向に沿って析出している。

以上のように、高炭素鋼および中炭素鋼のみならずラスマルテンサイトのみからなる極低炭素鋼にお

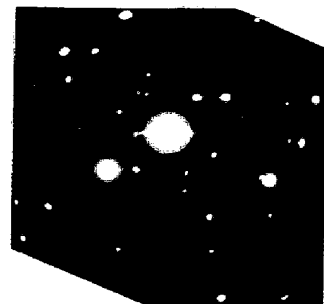
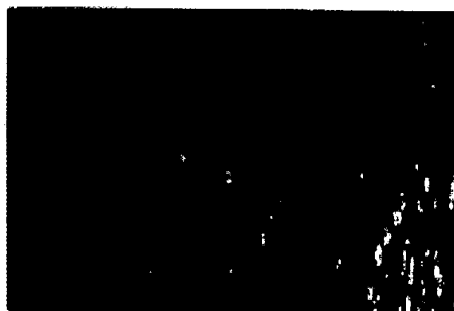


写真5. 0.48% C 鋼における λ -炭化物析出 (275°C, 5時間焼戻し)

* この鋼の焼入れ組織を調べた結果によれば、完全なラスマルテンサイトから成っている。

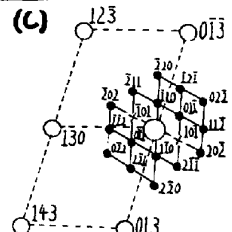
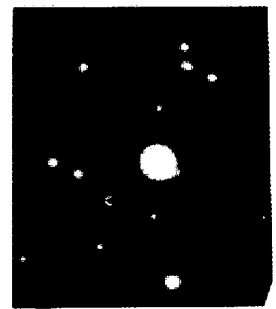
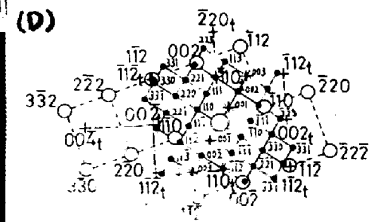


写真3. 1.11% C 鋼における θ -炭化物析出 (375°C, 1時間焼戻) ○フェライト ● θ -炭化物



○フェライト + 双晶
● λ -炭化物 * λ -炭化物からの二重反射

写真4. 0.86% C 鋼における λ -炭化物析出 (275°C, 5時間焼戻し)

(3) 磁気測定結果

鉄の低温浸炭などによって得た α については、それが常温で強磁性体であり、250°C附近にキュリー一点を持っていることはすでによく知られている。⁽³⁾上に述べたように、電子顕微鏡観察からは α の存在はほぼ確実と思われるが、以下においてはさらにこれを磁気的に検討する。

1.34% C 鋼を275°Cで5時間焼戻した後、3300 Oe 飽和磁場中で試料を加熱、冷却しながら試料の磁化の強さを測定した結果を図3に示す。測定値に多少のバラツキは見られるが、約210°Cと約250°Cで磁化曲線が異常に変化している。前者は θ のキュリー一点に、後者は α のキュリー一点にそれぞれ対応しており、磁気測定結果からも明らかに α の存在を検出できる。

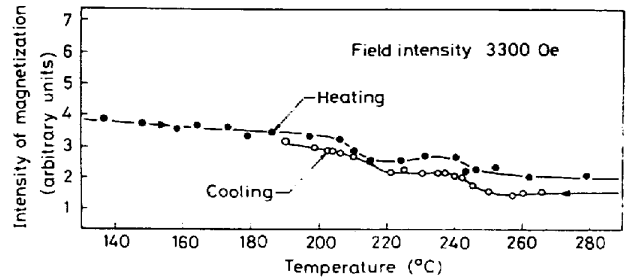


図3. 1.34% C 鋼を275°C, 5時間焼戻し後に得た磁気分析曲線

4. 総括

炭素鋼(0.017% ~ 1.34% C)の焼戻し過程には、 δ や θ の他に α が存在している。そして、 α は $\{112\}_\alpha$ を晶癖面としており、高炭素鋼の場合おそらく双晶界面上に優先的に析出するものと考えられる。さらに、フェライトと α との結晶方位関係を調べた結果、次の関係が得られた。

$$(100)_\alpha \approx // (\bar{1}21)_\delta, \quad (010)_\alpha \approx // (101)_\delta, \quad [001]_\alpha \approx // [\bar{1}11]_\delta$$

また、磁気測定結果からも炭素鋼の焼戻し過程に α が存在することが確認された。

文献

- 1) P. M. Kelly and J. Nutting: JISI, 197(1961), P. 199
- 2) M. Oka and C. M. Wayman: Trans. ASM, 62(1969), P. 370
- 3) L. J. E. Hofer, E. M. Cohn and W. C. Peebles: J. Amer. Chem. Soc., 71(1949), P. 89