

高炭素鋼の Ms 點について

(昭和 26 年 10 月本會講演大會にて講演)

岡本正三*・小高良平**

ON THE Ms TEMPERATURES FOR HIGH-CARBON STEELS

Masazō Okamoto, Dr. Eng., and Ryōhei Odaka

Synopsis: The Ms temperatures of high-carbon steels containing 1.07, 1.16 or 1.25% C quenched from the temperature range at which austenite and cementite coexist were measured by the quench-temper procedure of Greninger and Troiano (T.A.S.M. 28 (1940) 537).

The results obtained were as follows:

(1) With increasing of austenitizing temperature, Ms point is lowered markedly and gradually approaches to the constant temperature when austenitizing temperature rise beyond Acm line.

(2) The steels having globular pearlitic structure before the austenitizing, showed slightly higher Ms points than those of steels having lamellar pearlitic structure, but the difference was small and diminished with increasing of both austenitizing temperature and heating time.

(3) The Ms temperatures seems to depend on the carbon content of austenite, but not on the amount of coexisting cementite.

(4) The Ms temperatures for practical quenching of the high-carbon steels used in this study are about 240°C, and are much higher than those for quenched steels from the temperature range of austenite only.

I. 緒言

近年“割れず硬く”の根本原則に適合する焼入方法の一つとして、Martempering なる熱処理法^{1)~5)}が提唱されつゝある。これは鋼を一旦その Ms 點直上の熱浴中に焼入して鋼材内外の温度を均一化した後、適宜な方法で緩冷してマルテンサイト變態を徐々に起さしめ、油焼入とほぼ同じ硬さであり乍ら、著しく残留應力の少い状態を得るものである。従つてこの方法を利用するには、その鋼の Ms 點に關する正確な知識が必要となる。

従来より Ms 點の測定は數多く行われて居り、最近では各種元素の影響に關する定量的な研究も行われ、合金元素量より Ms 點を算出する實驗式も幾つか報告されているが⁶⁾、それ等は殆ど全部、オーステナイト單獨の温度範圍より焼入した場合の測定である。然し工具鋼

は普通その各種性能の面からオーステナイトと炭化物の共存する温度から焼入するのが常識であり、斯かる條件の下に於ける Ms 點の測定値が實際に要求される。

著者等はこれに關する基礎的資料を得る目的で、數種の高炭素鋼を種々の温度から焼入して Ms 點を測定し、炭素含量、共存セメントイト量、及び焼鈍組織等の影響を調べ、實用的焼入温度に對應する種々の條件下の鋼の Ms 點を明かにした。

II. 試料及び實驗方法

實驗に用いた三種の高炭素鋼の化學組成及び焼鈍状態の硬度を第 1 表に示す。

* 東京工業大學金屬工學教室 工博

** 東京工業大學金屬工學教室 工

焼入前の焼鈍組織は球状パーライト組織にするのが普通であるが、比較の爲別に、層状パーライト組織のものについても測定を行つた。各鋼共焼鈍後 8mmφ×2.5 mm の薄い圓板状とし、中心より少しずらして 2mmφ の孔をあけ、細い電熱線を通して吊し、熱處理に供した。

Ms 點の測定方法として従來利用されて來たものは、

第1表 試料の化學組成と焼鈍硬度

記號	化學組成 (%)					焼鈍硬度 (Rc)	
	C	Si	Mn	P	S	球状パーライト	層状パーライト
A	1.07	0.37	0.33	0.011	0.008	7.4	16.2
B	1.16	0.31	0.28	0.011	0.010	8.1	16.6
C	1.25	0.35	0.30	0.011	0.011	9.3	17.8

(a) 2 段焼入試料の顯微鏡検査に依る方法

(b) 急冷の途中の性質の變化を調べる方法

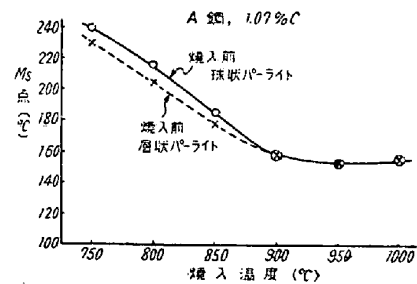
の2つに大別出来るが、こゝでは簡便で然も實用的に充分な精度が期待出来る前者を採用した。この方法は Greninger 及び Troiano⁷⁾ 以來廣く用いられて居る方法で、焼戻マルテンサイトと α- マルテンサイトとが、ピクリン酸アルコール腐蝕によつて、明瞭に識別されることを利用したものである。即ち一旦 Ms 點附近の一定温度に保持せる熱浴中に焼入してから、これを冷却することなく直ちに 280°C 前後の焼戻浴中に移して數秒間焼戻した後、水焼入し研磨檢鏡する。若し最初の熱浴の温度が Ms 點より下であれば、その時に生じたマルテンサイトは次の 280°C 數秒の加熱に依つて焼戻され、一方、オーステナイトの部分は最後の水焼入によつて α- マルテンサイト+オーステナイトになり、腐蝕度が焼戻マルテンサイトに比して著しく弱く容易に識別される。此の焼戻マルテンサイトが顯微鏡下に認められるや否やの限界となる熱浴温度を以て Ms 點とするのである。従つて、最初の熱浴に浸漬する時間は、マルテンサイト變態の特性上、試料全體が完全にその温度に到達するに必要な時間だけで良く、又焼戻時間は、最初生じたマルテンサイトが焼戻されて、後に生ずる α- マルテンサイトと充分識別され、且つオーステナイトの部分がベイナイト變態を始めるには未だ充分餘裕のある如き時間を選ばなければならない。豫備實驗の結果より、最初の熱浴に浸漬する時間を 10 秒、焼戻處理を 275~280°C、15~20 秒とした。

オーステナイト化處理は、750~1050°C を 50°C おきにとり、各温度 5 分加熱、但し 750°C のみ Ac₁ 變態

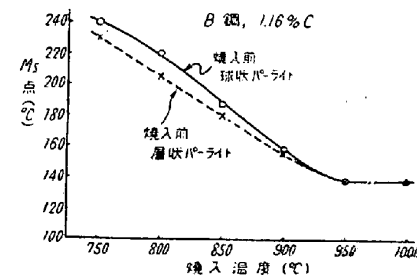
の完了に約 10 分を要するので 15 分加熱とした。之等の時間は必ずしもその温度の平衡に達するには充分ではないが、實用に即して定めたものである。試料の加熱は縦型ニクロム線電氣爐中に熔融せる鉛浴により、又焼入浴及び焼戻浴は共に硝石系鹽浴剤を熔融して用いた。熱處理後圓板状試料の一端を 2~3mm 削り落して研磨し、研磨面全面を仔細に檢鏡して焼戻マルテンサイトの存否を調べた。

III. 實驗結果及びその考察

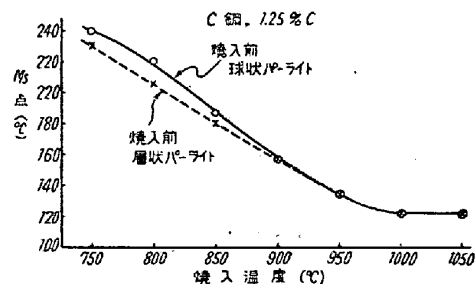
(1) 焼入温度の影響



第1圖 焼入温度と Ms 點, 各温度 5 分加熱 (750°C のみ 15 分加熱)



第2圖 焼入温度と Ms 點, 各温度 5 分加熱 (750°C のみ 15 分加熱)



第3圖 焼入温度と Ms 點, 各温度 5 分加熱 (750°C のみ 15 分加熱)

第1~3圖はABC各鋼を前記各温度から焼入した場合の Ms 點と焼入温度との關係を示したものである。一般に焼入温度が高くなつて Ac_m 線に近づく程、Ms 點は著しく降下して居り、之はセメントタイトの溶解度の増加に伴つて、オーステナイト地の炭素濃度が増して行

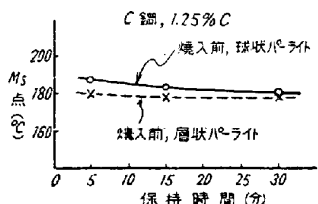
くことから當然期待される所である。共存するセメンタイトが、完全に溶解してしまへばオーステナイト地の炭素濃度はそれ以上増すことなく、Ms 點は次第に一定値に近づいて行く筈である。A鋼では 900°C 5 分で既に顕微鏡下に遊離のセメンタイトを認め得ないが、微視的な炭素濃度の不均一が解消するに伴つて、920~930°C 附近で漸く Ms 點が一定値に達する様である。B, C 鋼もほぼ同様の傾向を示し、夫々 950°C 及び 1000°C で一定値に達する。

(2) 焼鈍組織の影響

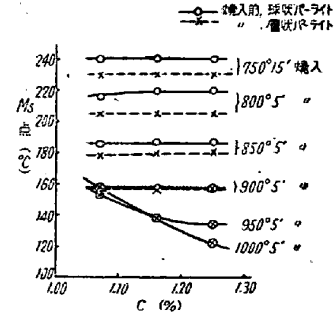
第 1~3 圖に於て、焼入前層狀パーライトであつた試料と球狀パーライトであつた試料とを比較するに明かに後者の方が高い Ms 點を示して居るが、その差は僅かで、850°C 以下で 10°C 前後、900°C 以上では殆ど差が認められなくなる。焼鈍組織の影響に就いては、近藤博士の佐藤式焼入試験機による研究⁵⁾があり、1.2% C 鋼を 800°C より焼入した場合、加熱時間 3 分では球狀パーライトであつたものが 350°C 層狀パーライトであつたものが 220°C に Ms 點を示し、加熱時間 80 分で尙前者が 200°C 後者が 150°C でその差 50°C と報告されて居る。これは著者等の結果とは、大分大きな距りがあるが、測定方法、試料の大きさ、形状及び冷却の條件等が全く異つて居る爲である。球狀パーライトと層狀パーライトとで Ms 點に差を生ずるのは、前者ではセメンタイトの形が球狀で、後者に於ける板狀に比し、單位體積當りの表面積が小である爲、焼入温度に於けるセメンタイトの溶解速度が遅く、従つて比較的短時間の加熱ではオーステナイト地の固溶炭素量が少く、Ms 點が高く現われるものと考えられる。加熱温度の上昇と共にその差の少くなることも容易に推論される。

(3) 加熱時間の影響

上述の考えから比較的短時間の加熱で球狀パーライトと層狀パーライトとで Ms 點を若干異にする場合でも、適當に時間が長くなるにつれて、その差は減少し一定値に落着くことが豫想される。第 4 圖は C 鋼を 850°C に加熱した場合の Ms 點と加熱時間との關係を示し、30 分位で約 180°C に Ms 點が落着いて行くことがわかる。



第 4 圖 加熱保持時間と Ms 點, C 鋼, 850°C 加熱.



第 5 圖 鋼の炭素含有量と Ms 點

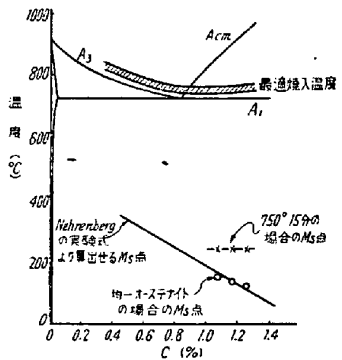
(4) 炭素含量, 従つて共存セメンタイト量の影響

第 1~3 圖の結果をまとめて鋼の炭素含有量に對して圖示すると第 5 圖の如くなる。三種の鋼とも過共析であるから A, B, C の順に共存セメンタイト量が多くなつて居るが、その影響は殆ど認められない。マルテンサイト變態は所謂 Umklapp 變態で、格子缺陷や、界面及び表面エネルギーの量に支配されることが著しいと考えられる故に共存するセメンタイト量の相異によつて、多少なりとも Ms 點の變化することが期待されたが、本實驗の範圍内では、殆どそれが認められなかつた。即ちオーステナイト地の炭素濃度が支配的因子をなし、鋼の全炭素量には直接關係しないものと思われる。

焼入温度が充分高くなつて、オーステナイト單獨の領域に入れば、炭素含量の増加と共に Ms 點は低くなり、之は既に多くの研究者に依つて古くから指摘されて居る所とよく一致して居る。

(5) 實用的焼入に於ける Ms 點

實際の熱處理に於ける適正焼入温度を Fe-C 系状態圖上に示したものが第 6 圖である。之によれば本實驗に用いた程度の炭素含量の鋼では 750°C 附近が適當とされている。又先に述べた如く鋼は豫め球狀パーライト組織にして焼入するのが普通で、此の様な條件に對應する Ms 點は第 5 圖の最上部の曲線で示される。又比較の爲、A. E. Nehrenberg が提出した均一オーステナイトより



第 6 圖 最適焼入温度と Ms 點

焼入した場合の合金元素量と Ms 點との関係を示す実験式⁶⁾

$$Ms(^{\circ}F) = 930 - 540 \times \%C - 60 \times \%Mn$$

$$- 40 \times \%Cr - 30 \times \%Ni - 20 \times \%Si - 20 \times \%Mo$$

に $Mn=0.30\%$, $Si=0.35\%$ を代入し, $C\%$ と Ms 點の関係を求め著者の結果と総合して第 6 圖に圖示した。此の圖から解る如く, 所謂 Martemper 處理に於ける焼入の適正な浴温は, 均一オーステナイトから焼入した場合の Ms 點に比して, かなり高い温度にとらなければならないことが知られる。

V. 結 論

高炭素鋼に就いて, 主として實用的見地からオーステナイト・セメンタイト共存領域より焼入した場合の Ms 點を顯微鏡的に測定した。その結果は

(1) 焼入温度が上昇するにつれて, Ms 點は低温側に移動するが, オーステナイト單獨の領域に入れば次第に一定値に落ち着いて行く。

(2) 豫め球状パーライトであつた鋼は層状パーライトに比して, 一般に少々高い Ms 點を示すが, その差は僅かであり, 且つ焼入温度の上昇と共に, 又加熱時間の長くなると共に消失する。

(3) Ms 點は共存するセメンタイト量には餘り影響されずオーステナイト地の炭素濃度が支配的因子をなす様である。

(4) 1.07~1.25% C を含む高炭素鋼の實用的焼入に於ける Ms 點は約 240°C である。

終りに臨み本研究は昭和 26 年度文部省科學研究費によつて行われたものであることを附記して深く謝意を表します。(昭 27 年 4 月寄稿)

文 献

- 1) H. E. Boyer: Iron Age, **160** (1947) No.1. 49.
- 2) O. E. Brown: Iron Age, **159** (1947) No.16. 54.
- 3) C. J. Wilshaw: Metallurgia, **39** (1948) 3.
- 4) B. H. Born: Metal Progress, **55** (1949) 65.
- 5) R. P. Seeling: Iron Age, **164** (1949) No.9. 72
- 6) A. S. M. Metals Handbook, (1948) 611.
- 7) A. B. Greninger, A. R. Troiano: T. A. S. M., **28** (1940) 537.
- 8) 近藤: 日本金屬學會誌, **12** (1948) No.5~12. p. 25
- 9) 西山, 下村: 日本金屬學會誌, **12** (1948) No.2~3 p. 9. No. 5 p. 1.

別刷の件について御案内

御寄稿論文の別刷御入用の方に申し上げます。

別刷は御寄稿の際その旨原稿に, 必要部數その他と共に添書して頂けば, 作製して差

上げます(費用著者負擔)發行後の御申込みは受け付け兼ねます。