

普通炭素鋼の焼入組織に関する研究 (第5報)

—低炭素マルテンサイトの生成条件について—

福井 昂*・時弘 義雄*・田村 虎雄**

Study on the Quenching Structure of a Plain Carbon Steel (5th Report)

—On Formative Condition of Low Carbon Martensite—

Takashi FUKUI, Yoshio TOKIHIRO and Torao TAMURA

Abstract

It was generally believed that the mechanical properties of carbon steel were remarkably changed by heat treatment. But, generally speaking, in the case that the carbon content was below 0.2% it was difficult to expect the effect of heat treatment.

In this paper, the present investigators, therefore, made a study of the effect of the quenching temperature and coolant on formative condition of low carbon martensite in the mild steel with carbon 0.07% preceded by normalizing at appropriate temperature through means of hardness, impact and metallography test.

A summary of the results is shown below :

- (1) Except for spindle oil, in order to produce the maximum quench hardening effect it is necessary to quench after keeping 10 minutes about 900°C, and it is unconcerned in coolant.
- (2) 10% NaCl solution is best for coolant.
- (3) Factors affected on Charpy's impact value on the quenched mild steel are not hardness but its structure and austenite grain size.

1. 緒 言

一般に鉄鋼材料は、熱処理を行なうことによって、その機械的性質を大幅にかえることができる。このとき熱処理として最もよく行なわれるのが、焼入れ、焼戻しであるが、炭素含有量により、その効果は大きく影響され炭素含有量が0.2%以下のものについては、実際的には行なわれていないようである。また焼入効果があるとしても、細い針金などの場合をのぞいては、普通の方法では困難といわれており、少なくとも10mm以上の実用材力試験片での実験は不可能とされている。

そこで著者らは、19φの機械構造用炭素鋼 (S10C)

を用いて、普通の熱処理方法で焼入効果について実験をしたところ、大沢、萩原¹⁾の言っているような高温でなくとも、十分な焼入硬度の得られることを知った。したがって、まず焼入組織観察とシャルピ衝撃試験を行なって、低炭素マルテンサイト形成条件との関係を検討したので、その結果について報告する。

2. 試料および実験方法

2.1 試 料

Table 1は試料の化学分析値を示したものである。試料には、市販の19φの機械構造用炭素鋼 (S10C) を使用した。試料の寸法は顕微鏡組織観察用として、

Table 1 Chemical composition and hardness of the normalizing specimen (wt %)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Hv
S 10 C	0.07	0.15	0.50	0.004	0.013	0.08	110

* 工業短期大学部機械工学教室

** 宇部工業高等専門学校

17φ×20mm および衝撃試験片用として 11□×56mm に旋盤加工により整形した。

2.2 熱処理

試料の熱処理は、すべて電気マツフル炉を用いて空気中で行なった。まず焼入処理に先立って、試料の組織を均一にするために、6時間で900°Cに昇温し、その温度に2時間保持した後、空中(平均20°C)冷却した。その組織を Fig. 1に示す。つぎに焼入処理のための加熱温度は、Table 2のように定めた。なお、その温度での保持時間は、福井、時弘²⁾より Table 2に定めた温度に保持された炉中に装入して、5分、10分および20分とし、液量5lの水(2°Cおよび20°C)、10%食塩水(2°Cおよび10°C)およびスピンドル油(20°C)に焼入れた。また温度調節は電子管式調節

器(±3°C)で行なった。

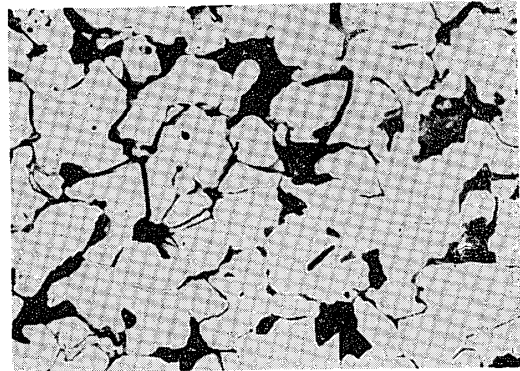


Fig.1 Microstructure of specimen which was air-cooling from 900°C for 2 hours

Magnif. : ×400

Table 2 Quenching temperature and coolant

Coolant	Quenching temperature (°C)
Water (2°C)	900, 950, 1000, 1050, 1100, 1200
Water (20°C)	900, 950, 1000, 1050, 1100
10% NaCl solution(2°C)	900, 950, 1000, 1050
10% NaCl solution(10°C)	900, 950, 1000, 1050
Spindle oil(20°C)	900, 1000, 1100

2.3 顕微鏡による組織観察

試料は脱炭層を除去するために端面を約3mm削り落とし、高速鏡面仕上げ機で研磨後、バフ仕上げを行ない、腐食は2%硝酸アルコールで行なった。組織の観察は、各焼入温度について各保持時間ごとの顕微鏡写真をとり、焼入組織をその写真より比較した。

2.4 硬度測定

硬度はピッカース硬度計を用いて測定した。測定にあたっては、誤差を少なくするため、各試料とも顕微鏡組織観察に使用したものを、再度バフ研磨し周囲の脱炭による影響を除くため、1φの同心円上で10個所を測定し、その平均値をもって硬度とした。また焼入組織の判別を必要とするものについては、マイクロピッカース硬度計を用いて、荷重保持時間を20秒とし、測定荷重としては、50g、100g、および200gのいずれかを用いて4個所を測定し、その平均値をもって硬度とした。

2.5 シャルピ衝撃試験

19φの素材より荒加工したものを焼入れし、ふたたび加熱しないように十分注意して機械加工し、Fig. 2(a)のごとき形状・寸法に仕上げ、同一の焼入処理をしたもの3個について、30kgmシャルピ衝撃試験機を

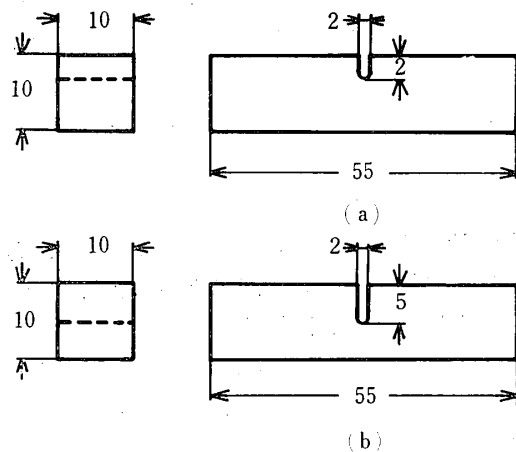


Fig 2 Shape and dimension of test piece for Charpy's impact test

用いて試験し、その平均値をもって衝撃値とした。なお焼準材については、Fig. 2(b)のごとき試験片を使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 加熱保持時間について

Fig. 3に冷却液として水(2°C)および10%食塩

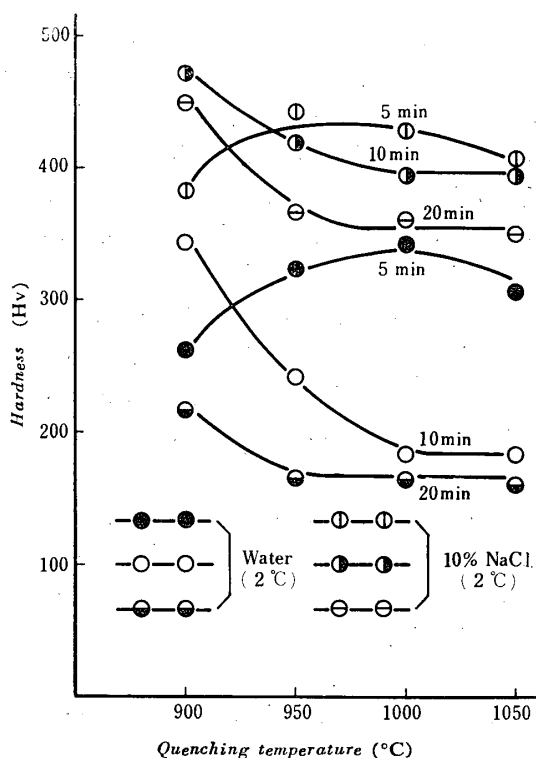


Fig. 3 Relation between hardness and keeping time of specimen quenched at various temperature

水 (2°C) を使用して、各焼入温度について焼入硬度と保持時間の関係を示す。これからわかるように、冷却液には無関係に、10分間保持のものかいずれも900°Cにおいて最高の焼入硬度を示している。しかし、5分間保持については、水 (2°C) を冷却液として使用した時には、1000°Cにおいて最高焼入硬度とほぼ同じ硬度を示し、10%食塩水 (2°C) については、950°Cにおいて最高焼入硬度とは、わずかに低い5分間保持での最高硬度を示している。これは後述するように、水と10%食塩水の冷却能力の差によるもので、冷却能力の大きい10%食塩水の時は、焼入性を向上させる結晶粒の粗大化の影響は、ほとんどみられず冷却能力の小さい時には結晶粒の粗大化が焼入性にかなり影響しているためと思われる。なお10%食塩水 (2°C) に焼入れたものが、すべての焼入温度について水 (2°C) より、はるかに高い硬度を示しているが、これは水 (2°C) と10%食塩水 (2°C) の冷却能力を考えてみると、小柴³⁾の言っているように、18°Cの水の冷却能力を1.00とすれば、焼入処理で最も大切な720°C~550°Cにおける冷却能力が、それぞれ1.06および1.96となっており、各加熱時間での溶体化処理で同一のオーステナイト組織になっている場合に

は、Pilling⁴⁾の言っている焼入れの際における温度降下の3段階のうち第1段階、すなわち試料表面が蒸気膜でおおわれた冷却の非常におそい時間が著しく短縮されるためと思われる。また焼入温度が900°Cで、すべての冷却液について硬度が最も高くなっているが、これは Fig. 4 からわかるように、試料の表面に形成される酸化皮膜重量が950°Cより保持時間の増加と共に急速に増加し、しかも加熱保持時間が一定の場合は高温で生成される酸化皮膜ほど素地金属からはがれにくいことより、この酸化皮膜の生成が焼入れの際の冷却の第1段階にある時間を、なんらかの理由で延長させるためと思われるが、詳細については今後の研究とする。

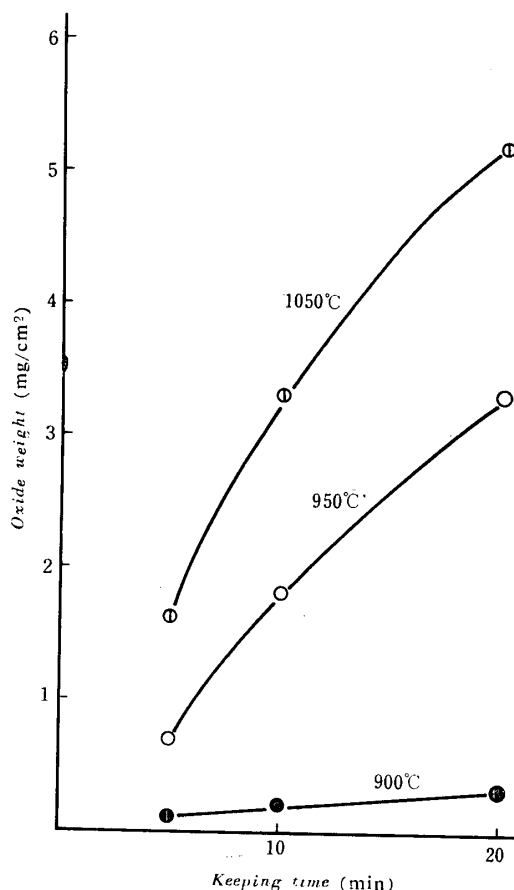


Fig. 4 Relation between oxide weight and keeping time

3.2 冷却液と焼入硬度の関係について

Fig. 5に、それぞれの焼入温度に10分間保持し、各冷却液に焼入れした場合の硬度を示す。これより冷却液としては、10%食塩水が最もよくついで水、スピンドル油の順になっている。また焼入硬度は約1000°Cより、ほぼ一定となり最高焼入硬度よりも、かなり低い硬度を示している。つぎに各冷却液について最高焼入

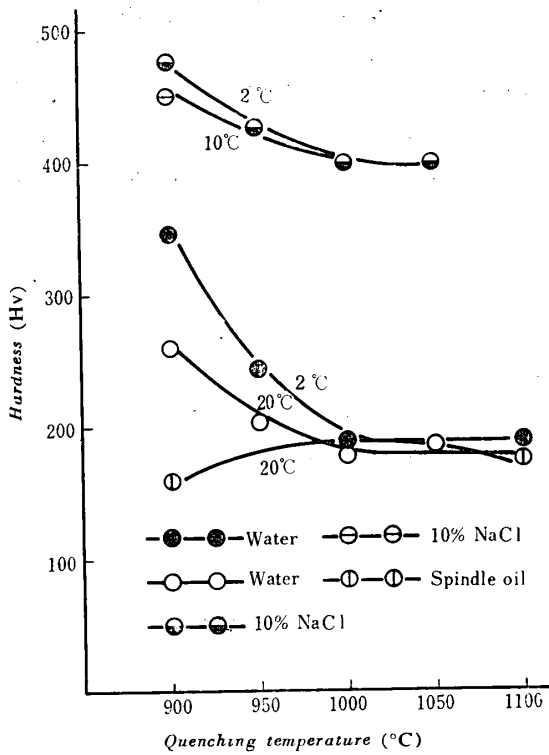


Fig.5 Relation between hardness and quenching temperature

硬度を示した組織を Fig. 6 に示す。これより最も高い硬度を示した10%食塩水 (2°C), ついで高い硬度を示した10%食塩水 (10°C) では、ほぼ完全な低炭素マルテンサイトになっている。また水の場合についてみると2°Cの場合においても完全な焼入組織とならず、わずかの初析フェライト網、微細パーライトおよび低炭素マルテンサイトの混合組織となっており、20°Cの場合には、2°Cの場合より、焼入組織に含まれている初析フェライトおよび微細パーライトの占める組織割合が増加していることがわかる。なおスピンドル油 (20°C) の場合については、ウィッドマンステッテン状の組織になっているが、これは S10C のとき亜共折鋼をオーステナイト域の温度で加熱して、均一なオーステナイトになっているものを、比較的ゆっくり冷却したために A_3 線に達して初析フェライトを生じたもので、この初析フェライトの核がオーステナイト粒内に向って板状、針状あるいは鋸歯状に発達したためと思われる⁶⁾。これは Fig. 7 (e) からわかるように加熱温度が低い場合には、均一なオーステナイトになっていないためと、酸化皮膜による冷却能力の低下作用のないために、一部分にウィッドマンステッテン状に析出した初析フェライトがみられるのみで



(a)



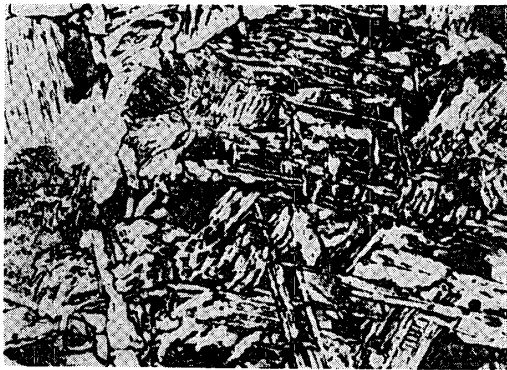
(c)



(b)



(d)

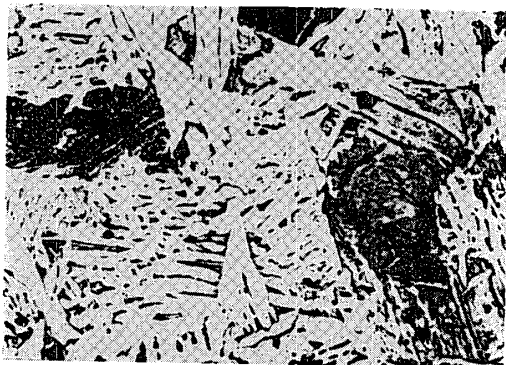


(e)

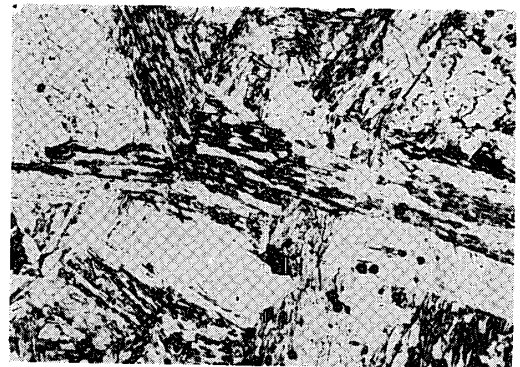
Fig.6 Microstructure of maximum hardness at various coolant

- (a) *Heated at 900 °C for 10 min and quenched in water (2°C)*
- (b) *Heated at 900 °C for 10 min and quenched in water (2°C)*
- (c) *Heated at 900 °C for 10 min and quenched in 10% NaCl solution (2°C)*
- (d) *Heated at 900 °C for 10 min and quenched in 10% NaCl solution (10°C)*
- (e) *Heated at 1000 °C for 10 min and quenched in spindle oil (20°C)*

Magnif. : ×400



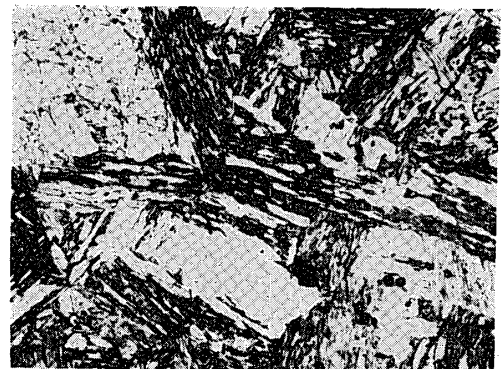
(a)



(c)



(b)



(d)



(e)

Fig.7 Microstructure of minimum hardness at various coolant

- (a) Heated at 1050 °C for 10 min and quenched in water (2°C)
- (b) Heated at 1050 °C for 10 min and quenched in water (20°C)
- (c) Heated at 1050 °C for 10 min and quenched in 10% NaCl solution (2°C)
- (d) Heated at 1050 °C for 10 min and quenched in 10% NaCl solution (20°C)
- (e) Heated at 900 °C for 10 min and quenched in spindle oil (20°C)

Magnif. : ×400

ある。つぎに各冷却液について、最低の焼入硬度を示した組織を Fig. 7 に示す。これらの組織写真および微量硬度測定結果よりつぎのことが判明した。すなわち、水 (2°C) の場合には、粗大化した低炭素マルテンサイトと、かなりの大きさのウィッドマンステッテン状の組織よりなっている。また20°Cの水の場合には、オーステナイト粒界では薄いフェライトを骨として羽毛状ペーナイトを形成しているが、これは Fig. 4 からわかるように、酸化皮膜も相当厚く、冷却液温も20°Cで冷却能力が低下しているため、焼入れの際に450°C~300°C附近で一種の恒温変態をうけて部分的にペーナイトを発生したものである⁶⁾。したがって2°Cの水の場合と硬度的には大差がないものと思われる。また10%食塩水の場合は、いずれも微細な低炭素マルテンサイトと粗大な低炭素マルテンサイトの混合組織となり、初析フェライトは、ほとんどみられない。なおスピンドル油の場合は前述のように、低炭素マルテンサイトはみられず、一部にウィッドマンステッテン状に析出したフェライトと微細パーライトの混合組織になっている。またスピンドル油を除いては、すべて結晶粒がかなり粗大化しているが、これは加熱温度が高いため、保持時間が短かくても、この傾向を示したものである。つぎに大沢、萩原⁷⁾によれば、1200°Cよりの水焼入れによって Hv 440 ぐらいの最高焼入硬度になったと言っているので、著者らも1200°Cに10分間保持して2°Cの水に焼入れを行ってみた結果について、その組織を Fig. 8 に示す。また



Fig.8 Microstructure of quenched in water (20°C) after heating at 1200°C for 10 min Magnif. : ×400

硬度は1050°Cより水焼入れしたものとまったく同様で、本実験においては、そのような現象はみられなかった。なお Fig. 8 から萩原、高橋、大鈴⁶⁾の言うように羽毛状ペーナイトやウィッドマンステッテン状の組織はまったくみられず、低炭素マルテンサイトとわずかの微細パーライトおよび初析フェライトの混合組織よりなっていることがわかる。また結晶粒は1050°C加熱の場合よりも一段と粗大化している。

3.3 シャルピ衝撃試験について

焼準材ならびに水 (2°C) および10%食塩水 (2°C) に焼入れして最高焼入硬度および最低焼入硬度を示したものについて、その試験結果を Fig. 9 に示す。これからわかるように衝撃値は焼入処理を行なえば、

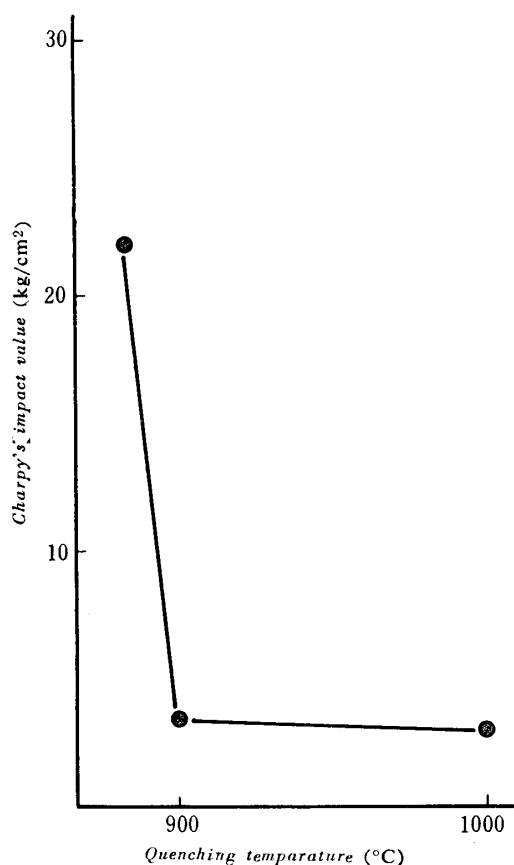


Fig.9 Relation between Charpy's impact value and quenching temperature

その硬度差には、ほとんど関係せず、むしろ組織に大きく影響されている。また1000°Cより焼入れしたも

のが、900°Cより焼入れしたものに比べて、わずかに衝撃値が低下しているが、これは結晶粒度の粗大化によるものと考えられる。なお、種々の温度で焼戻しを行なった場合の衝撃値の変化については後報に譲る。

4. 結 言

以上、機械構造用炭素鋼 (S10C) を使用して、軟鋼の最適焼入条件をシャルピ衝撃値、焼入温度、冷却液の種類および冷却液温の観点より検討した。その結果を要約するとつぎのとおりである。

(1) 焼入温度としては、スピンドル油を除けば、冷却液に関係なく900°Cがよい。

(2) 冷却液としては10%食塩水が最もよい。

(3) シャルピ衝撃値には硬度より、むしろ組織と結晶粒度が大きな影響をもっている。

参 考 文 献

- 1) 大沢敏一, 萩原巖: 鉄と鋼, **55**, 145 (1969)
- 2) 福井昂, 時弘義雄: 山口大学工学部研究報告, **18**, No. 1, 43 (1967)
- 3) 小柴定雄: 工具材料, 上, 丸善, (1956), p.70
- 4) N. B. Pilling and T. D. Lynch: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min. and Pet. Eng., LXII, 665 (1920)
- 5) 福井昂, 時弘義雄: 山口大学工学部研究報告, **18**, No. 3, 1 (1967)
- 6) 萩原巖, 高橋忠義, 大鈴弘忠: 鉄と鋼, **55**, 721 (1966)

(昭和45年9月14日受理)