焼入炭素鋼の機械的性質および焼入性におよぼす オーステナイト化条件の影響*

飯 島 一 昭**

Kazuaki Iijima: The Effect of Austenitizing Condition on Hardenability and on Mechanical Properties of Hardened Carbon Steel. The effects of austenitizing conditions, such as austenitizing temperature, austenitizing time and the austenitizing temperature in previous heat treatment, on the hardenability and the mechanical properties of hardened eutectoid carbon steel were determined, and the relations between those properties and the austenitic grain size were ascertained, with the following results: (i) The higher the austenitizing temperature, the lower the toughness of hardened steel, the greater its hardenability, and the coarser its austenitic grain size; (ii) a longer austenitizing time gives the same effect as higher austenitizing temperature on those properties, but in some cases, an abrupt change in toughness and hardenability unrelated with austenitic grain size was observed; (iii) even if the austenitizing temperature in final hardening was maintained constant (800°C), the toughness and the hardenability were remarkably affected by the austenitizing temperature in previous heat treatment, such as annealing, hardening and annealing after hardening, where the higher was the austenitizing temperature, the toughness fell the lower and the hardenability rose the higher. But, in all cases, the austenitic grain size was scarcely affected by previous heat treatment; (iv) the above results suggest that decrease in toughness and increase in hardenability due to overheating would be attributed to some change in austenite produced by the overheating process itself, in addition to austenitic grain coarsening.

(Received July 3, 1961)

I. 緒 言

焼入加熱の際、オーステナイト化温度を上昇せしめるに従い、焼入鋼の靱性低下や焼入性の増加などの現象がおこることは古くからよく知られているが、これらの原因はいずれも、加熱温度の上昇にともなう、オーステナイト結晶粒の粗大化によるものと考えられている^{(1)~(7)}。

しかし、焼入鋼の靱性に関しては、オーステナイト結晶粒度(以下単に粒度と称する)そのものが、それを支配するという考えには、未だ疑問の点が残されているようである。

** 鉄道技術研究所(The Railway Technical Research Institute, Tokyo)

* 機械的性質に関して: 1957年10月本会戸畑大会に発表; 焼入性に関して: 1958年10月本会名古屋大会に発表

- (1) E.S.Davenport, E.L.Roff, E.C.Bain: Trans. ASM, **22**(1934), 289.
- (2) E.S.Davenport, E.C.Bain: Trans. ASM, **22**(1934), 879.
- (3) P.Schane: Trans. ASM, **22**(1934), 1038.
- (4) C.H.Herty, D.L.McBride, E.H.Hollenback: Trans. ASM, **25**(1937), 297.
- (5) R.F.Mehl: Trans. ASM, **29**(1941), 813.
- (6) 佐藤, 真野, 戸谷, 吉米地: 本誌, **19**(1955), 177.
- (7) H.Borchers, G.Saur: Stahl u. Eisen, **78**(1958), 40.

る。例えば、Herresら⁽⁸⁾は鋼の靱性に対する粒度の影響は間接的であり、粒境界への析出物などの存在が大きい影響をもつといっており、また Bullens⁽⁹⁾はその著書において、鋼の靱性を支配するものは粒度そのものではなく、粒成長に並行して生ずる各種成分元素の固溶あるいは析出などによると信ずべき理由があると述べている。

著者は、焼入直前のオーステナイト結晶粒度と焼入鋼の機械的性質および焼入性との間にどのような関連性があるかを確かめるため、共析付近の炭素鋼について、オーステナイト化温度、時間および前熱処理などを種々変化せしめた場合の両者の関係を検討したのである。

II. 実 験 方 法

1. 試 料

Table 1は本実験に用いた試料の化学組成を示すものである。

0.80% C 鋼は振り試験に、また 0.85% C 鋼は焼入性試験にそれぞれ使用したものである。Fig. 1は試験片の形状

- (8) S.A.Herres, C.H.Lorig: Trans. ASM, **40**(1948), 775.
- (9) D.K.Bullens: *Steel and Its Heat Treatment*, Vol. 1, 5th Ed. (1948), 373, 386.

寸法を図示したもので、振り試験片(a)、焼入性試験片(b)をそれぞれ示すものである。

Table 1 Chemical composition of specimens (wt %).

C	Si	Mn	P	S
0.80	0.22	0.38	0.029	0.009
0.85	0.30	0.40	0.018	0.018

Fig.1 Dimensions of test piece.

2. 実験方法

(1) 熱処理

(i) オーステナイト化温度

振り試験片については750~1100°Cの、また焼入性試験片については750~1000°Cの各温度にいずれも1hr保持(真空炉中)後、その温度から焼入を行なった。

(ii) オーステナイト化時間

振り試験片については750, 800°および900°Cに、また焼入性試験片については900°Cに、それぞれオーステナイト化温度を一定し、保持時間を10 min~10 hrの範囲内で変化せしめた。

(iii) 前熱処理

最終焼入時のオーステナイト化温度を800°C、保持時間を1hrに一定し、前熱処理時のオーステナイト化温度を750~1100°Cの範囲内で変化せしめた。

振り試験片に対する前熱処理としては

(i) 焼なまし (750~1100°C)

(ii) 焼入 (750~1100°C)

(iii) 焼入 (750~1100°C)の後、焼なまし(800°C)

の3種を採用し、保持時間をいずれも1hrに一定せしめた。

また、焼入性試験片に対する前熱処理としては750~1000°Cの焼なまし(1hr)を採用した。

(2) 振り試験

試験はいずれも焼入(種油中焼入)ままのものについて行なった。試験機はアムスラー式振り試験機(容量30 kg-cm)を使用し、振り強さ(τ_B)および塑性振り角(θ_P) (Fig.2参照)を測定した。

なお、試験片のつかみ部について焼入硬さの測定を行なった。

Fig.2 Torque-torsion angle diagram. θ_P : plastic torsion angle.

での距離, mm

焼ならし硬さ: 空冷端の硬さ, Rc

をそれぞれ測定し、焼入性を示す尺度とした。

(4) 結晶粒度の測定

(i) 振り試験片

焼入後250°Cに30 min間加熱したものについてViellaおよびBain試薬⁽¹⁰⁾腐食を行ない顕出した。

(ii) 焼入性試験片

試験後マルテンサイト+トルースタイト組織の部位について測定した。

III. 実験結果

1. 振り試験

Fig.3はオーステナイト化温度を調べたときの諸性質変化を図示したものである。結晶粒は温度とともに次第に粗大化するが、振り強さおよび塑性振り角は約850°Cに極大値を示した後急激に低下する。950°Cを超すと塑性はほとんど認められなくなり、脆化が行なわれたことを示している。

Fig.4はオーステナイト化温度を一定とし、保持時間を変えた場合の諸性質の変化を示したものである。粒度には時間による変化はほとんど認められないが、振り強さおよび塑性振り角にはそれが明らかに認められる。とくに、900°C保持の場合約1hr保持後にいずれも極大を示した後、急激に脆化する傾向が示されている。

Fig.5は前熱処理時のオーステナイト化温度を変えた場合の最終焼入(800°C, 1hr)後の諸性質の変化を示すものである。粒度はほぼ一定値を示すが、強さおよび塑性には前熱処理におけるオーステナイト化温度の影響が顕著に認

(10) E.C.Bain, J.R.Vilella: ASM Metals Handbook (1948), 399.

められ、一度過熱による脆化をおこしたものは、少くともこの程度の後処理によつては恢復されないことを示している。

Fig. 3 The effect of austenitizing temperature on mechanical properties of hardened 0.80 % C steel.

Fig. 4 The effect of austenitizing time on the mechanical properties of hardened 0.80 % C steel.

2. 焼入性試験

Fig. 6は粒度および焼入性におよぼすオーステナイト化温度の影響を示すもので、温度上昇にともなう粒の粗大化および焼入性の向上が明らかに認められる。なお、図中、オーステナイト化温度の上昇にともなう焼ならし硬さの増加が認められるが、これは A_{r1} 変態点がオーステナイト化

温度の上昇に従つて降下し、そのために、生成されるパーライト組織（パーライトの間隔、地鉄の厚さ、セメントライトの厚さ）が微細化することによるものと考えられる。この

Fig. 5 The effect of austenitizing temperature in previous heat treatment on the mechanical properties of 0.80 % C steel, austenitizing temperature in final quenching is 800°C.

Fig. 6 The effect of austenitizing temperature on hardenability of 0.85 % C steel.
 D_M : Depth of Martensite zone.
 D_{M+T} : Depth of Martensite+Troostite zone.
 J_{40} : Distance from quenched end to the position showing Rc 40.

現象はオーステナイト化温度の上昇が、冷却時にパーライトの生成を遅らせるという点で、焼入性の向上を間接的に実証するものといえることができる。

Fig. 7 The effect of austenitizing time on hardenability of 0.85 % C steel, austenitizing temperature is 900°C.

オーステナイト化温度を 800°C, 1hr 保持に一定し、前熱処理(焼鈍) 温度を 750~1000°C に変えた場合の粒度および焼入性の変化を図示したものである。粒度はほぼ一定値を示すが、焼入性には前処理の影響が顕著に認められる。この現象も Fig. 5 振り強さおよび塑性の変化の場合と現象的によく一致する。

IV. 考 察

Fig. 3 および Fig. 6 のように、普通にオーステナイト化を行なった場合は、温度上昇にともなう、粒の粗大化、靱性の低下および焼入性の増加が認められ、これだけから判断すれば、粒の粗大化のみが靱性や焼入性を支配しているように考えられる。しかしながら、Fig. 5 および Fig. 8 のように前熱処理として過熱操作(燃焼組織を呈するに至らないが変態点以上相当に高い温度に加熱する)を加えることによって、たとえ最終焼入時のオーステナイト化温度を一定にし、粒度を同一にしても、靱性や焼入性とその前熱処理によって大きく変化すること、また、Fig. 4 および Fig. 7 のように、オーステナイト化時間を変えることによって、それらの諸性質が粒度とはほぼ無関係に変化することなどの現象は、靱性および焼入性を支配する因子が粒度

だけではなく、それ以外にも存在することを示すものと考えられる。

オーステナイトの温度上昇や保持時間の増加が、まず、

Fig. 8 The effect of austenitizing temperature in previous annealing on hardenability of 0.85 % C steel, austenitizing temperature in final quenching is 800°C.

セメンタイトあるいは炭化物の固溶によるオーステナイトの炭素濃度増加および均質化をもたらし、このために靱性低下や焼入性の増加がおこることはよく知られている^{(11)~(14)}。

しかしながら、Mehl⁽¹⁵⁾によれば、0.85% C 鋼におけるセメンタイトの固溶終了およびオーステナイトの炭素濃度均質化の終了に要する大よその時間は 800°C において 1 min および 30 min であり、840°C では 18 sec および 4 min である。従つて、本実験におけるような 900°C, 1 hr 以上の加熱(過熱)による靱性低下や焼入性増加はオーステナイト中へのセメンタイト固溶による

炭素濃度増加やその均質化に基因するものではなく、他の原因によるものと考えなければならない。

過熱による靱性低下が、粒界への不純物などの析出によるとする説⁽⁸⁾⁽⁹⁾があることについては緒言でも述べたが、この他にも、このような現象、すなわち、過熱に基づく粒界へのプラスまたはマイナスの吸着作用⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾による組成の不均質化や不純物析出量の濃化が靱性低下を招来することが認められている^{(18)~(21)}。

- (11) 山田, 横山: 本誌, **14** (1950), 42.
- (12) 大和久, 飯島: 本誌, **18** (1954), 362.
- (13) 田中: 本誌, **19** (1955), 509.
- (14) 原, 三浦, 杉山: 本誌, **20** (1956), 1.
- (15) R.F. Mehl: Trans. ASM, **29** (1941), 813.
- (16) J.W. Sprenak, R. Speiser: Trans. ASM, **43** (1951), 734.
- (17) L. Colombier: Metal Progress, **67** (1955), 116.
- (18) A. Preece, A. Hartley, S.E. Mayer, J. Nutting: J. Iron Steel Inst., **153** (1946), 237.
- (19) A. Preece, J. Nutting, A. Hartley: J. Iron Steel Inst., **164** (1950), 37.
- (20) A. Preece, J. Nutting: J. Iron Steel Inst., **164** (1950), 46.
- (21) T. Ko, D. Hanson: J. Iron Steel Inst., **164** (1950), 51.
- (22) 今井: 本誌, **19** (1955), 106.

焼入性に影響をおよぼす粒度以外の因子が何であるかはまだ明らかではないが、鋼への硼素添加の効果が、粒界への吸着濃化によるパーライト核の発生阻止作用によって説明⁽²²⁾されている例からも、このようなオーステナイト中における変化が靱性のみならず焼入性にもある程度の影響を与えることが考えられる。

V. 結 言

オーステナイト化温度、同時間および前熱処理時のオーステナイト化温度が焼入れした共析鋼の振り強さ、塑性振り角および焼入性などにおよぼす影響をオーステナイト結晶粒度との関連において検討した。その結果はつぎの通りである。

(1) オーステナイト化温度の上昇にともない、焼入鋼の靱性低下、焼入性の増加および結晶粒の粗大化が認められた。

(2) オーステナイト化時間を増加させることは、オース

テナイト化温度を上昇させるのとはほぼ同様の影響を与えるが、結晶粒成長とは無関係な靱性および焼入性の顕著な変化が認められた。

(3) 最終焼入時のオーステナイト化温度を一定とし、前熱処理時のオーステナイト化温度を変化させた場合、結晶粒度がほぼ一定値を示すのに反し、靱性および焼入性には前熱処理時のオーステナイト化温度の影響が明らかに認められた。

(4) 以上の諸結果は、過熱による靱性低下や焼入性増加が結晶粒の粗大化のみならず、過熱なる操作そのものに帰因する他の未知の変化にも原因することを示すものと考えられる。過熱がどのような変化をオーステナイトに与えるかについてはまだ明らかでないが、粒界吸着作用によるオーステナイトの組成不均質化や不純物析出量の濃化などが考えられる。

終りに、本実験を行なうにあたり御指導をいただいた当所金属材料研究室長大和久重雄博士に深く感謝する。