現用肌焼鋼の熱処理性質におよぼす 浸炭処理法の効果について*

清 永 欣 吾** 倭 文 邦 郎**

Kingo Kiyonaga and Kunio Shitori: On the Effect of Carburizing and Quenching Conditions on the Properties of Some Practical Case Hardening Steels. (Studies on the Gas Carburizing of Some Practical Case Hardening Steels, 2nd Report). The carburized case properties of some practical case hardening steels were studied under gas carburizing and direct quenching conditions. The results obtained are as follows: The case properties such as case hardness, micro structures, toughness and retained austenite contents could be improved by lowering carburizing temperature and controlling surface carbon content within nearly the eutectoid range. Although case hardenability varied over a wide range depending on the type of steel and carbon content, it rose to maximum at about 0.6 % carbon in all alloy steels examined.

(Received February 9, 1961)

I. 緒 言

前報において現用肌焼鋼のガス浸炭性、すなわち表面炭素量、炭素濃度分布、浸炭深さ、あるいは拡散恒数におよぼす鋼種および浸炭条件の影響について報告した⁽¹⁾。しかしながら最良の性能を与えるべき操業条件の設定については別途に研究されるべきものであり、これは種々のガス浸炭条件、すなわち浸炭温度、時間および雰囲気ガスのカーボ

ン・ポテンシャルおよび浸炭後の焼入方法、すなわち浸炭後一度 A_{r1} 点以下に冷却してから焼入処理を行なう間接焼入法および浸炭後焼入温度まで冷却して焼入処理を行なう直接焼入法およびそれらの焼入温度などによる表面硬度、組織、機械的性質、変形、耐摩耗性および耐疲労性等によつて決定される。これらに関する基礎的研究はすでに数多く発表されているが⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾、実際の浸炭焼入層自体の研究

** 日立金属工業株式会社安米工場

* 1960 年 10 月本会札幌大会に発表；現用肌焼鋼のガス浸炭に関する研究(第 2 報)

(1) 清永、奥野：本誌，**24**(1960)，727.

(2) 筒井、市原：本誌，**22**(1958)，337.

(3) 河上、小室：鉄と鋼，**43**(1957)，232.

(4) T.W. Ruffle: Iron & Steel, **30**(1957)，441.

はすくなく、経済的ではあるが性能の劣化するとされている直接焼入法の場合に浸炭条件の設定いかんにより、どの程度まで性能が改善されるかについては明らかといえない。今回は前報と同じく現用肌焼鋼中より JIS-S 15 CK, SCM 22, SNC 22, SNCM 21 および SNCM 23 の 5 鋼種を選定し、これらの焼入硬度、残留オーステナイト量、浸炭層の靱性および浸炭層の焼入性などにおよぼすガス浸炭直接焼入条件の影響について検討した結果について報告する。

II. 試料および実験方法

1. 試料

前報とおなじくアーク炉によつて溶製した圧延、焼鈍材を使用した。その化学成分およびオーステナイト結晶粒度(浸炭法, 925°C×6 hr)を Table 1 に示す。

Table 1 Chemical composition of specimens.

Specimen	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Austenite Grain Size
S 15 CK	0.16	0.30	0.46	0.06	0.06	—	8
SCM 22	0.19	0.18	0.76	0.08	1.19	0.25	8.5
SNC 22	0.12	0.22	0.59	3.18	0.89	0.05	8
SNCM 21	0.19	0.23	0.89	0.54	0.54	0.18	8.5
SNCM 23	0.19	0.23	0.56	1.80	0.60	0.21	6

ーステナイト)量測定用試験片を削出し、Table 2 に示す浸炭、焼入処理を行なつた。浸炭はプロパン変成による気流中で行ない、パッチ型ガス浸炭炉を使用した。露点測定は直読式露点指示計によつた。

硬度試料は浸炭処理後の表面硬度の測定ならびに組織の観察に用い、抗折試験片は透過浸炭を行ない、浸炭焼入層の靱性測定に用いた。これは 10 トン・アムスラー型万能試験機を使用し、スパン 50 mm の両端支持梁の中央に 静荷重を加え、荷重および撓みを測定するものである。抗折力は次式により算出した。

$$\sigma = 3 LP/2 bh^2$$

ただし、 σ = 抗折力 (kg/mm²)、 L = スパン長さ (mm)、 P = 破断時の荷重 (kg)、 b = 試験片の巾 (mm)、 h = 試験片の厚さ (mm)

残留オーステナイト量は弾動検流計法により各試料の飽和磁化強さ I および同種試料の焼鈍材の飽和磁化強さ I_0 を求めることによつて、次式により算定した。

$$\gamma_R(\%) = \{(I_0 - I)/I_0\} \times 100$$

浸炭層の焼入性は試料の化学成分はもとより、浸炭炭素量によつてもかなり変化するものと考えられる。この点を確認するために標準焼入性試験片 (JIS-G 0561) を作製し、

Table 2 Test conditions for specimens.

Mark	Carburizing method		Deduced surface C content (%)	Heat treatment		Kinds of test applied
	Medium	Condition		Quenching	Tempering	
A	Gas	925°×6 hr D.P-12°	1.0	925° oil D.Q.	— 175°×1 hr	Surface hardness, γ_R Bending
B	〃	〃	〃	875° oil D.Q.	— 175°×1 hr	Surface hardness, γ_R Bending
C	〃	〃	〃	825° oil D.Q.	— 175°×1 hr	Surface hardness, γ_R Bending
D	〃	〃	〃	775° oil D.Q.	— 175°×1 hr	Surface hardness, γ_R Bending
E	〃	925°×6 hr D.P-8°	0.8	825° oil D.Q.	— 175°×1 hr	surface hardness, γ_R Bending
F	〃	925°×6 hr D.P-4°	0.6	〃	—	Surface hardness, γ_R
G	〃	900°×6 hr D.P-8°	1.0	〃	— 175°×1 hr	Surface hardness, γ_R Bending
H	〃	875°×6 hr D.P-4°	1.0	〃	— 175°×1 hr	Surface hardness, γ_R Bending

注 D.P.=露点 oil D.Q.=油直接焼入

2. 実験方法

上記焼鈍材より 15×15×10 mm の硬度試料、2×20×70 mm の板状抗折試験片および 1×20×30 mm の γ_R (残留オ

20mm ϕ ×100 l mm の炭素分析用試験片とともに 925°C×8 hr, 露点 -12°C の条件でガス浸炭した。浸炭後空冷し、次に環状電気炉中で 850°C×20 min 加熱後、JIS 法にした

がつて一端焼入した。これを表面より 0.1 mm づつ順次研摩して除去し、研摩面の硬度分布をビッカース硬度計 (荷重 10 kg) により測定した。一方焼入性試験片と同時に浸炭した炭素分析用試験片の炭素濃度分布を旋削法によって決定し、この値より焼入性試験片の硬度測定面の炭素量を推定した。

III. 実験結果およびその考察

1. 表面硬度の挙動

Fig. 1. Surface hardness of directly quenched specimens, gas carburized at 925°C, D.P. -12°C.

Fig. 2. Surface hardness of directly quenched specimens, gas carburized at 925°C, and quenched at 825°C.

Fig. 3. Surface hardness of directly quenched specimens, treatments being A, G and H.

度の関係を示すが、875~900°C 浸炭の場合と比較して

ガス浸炭後の直接焼入温度と表面硬度の関係は処理 A, B, C, D によって比較すれば Fig. 1 のごとくである。浸炭後の間接焼入硬度が一般に焼入温度の上昇とともに低下するのに対して、直接焼入の場合は焼入温度と硬度の間に明瞭な関係は認められずむしろ焼入温度が上昇するにしたがつて硬度が増加するような傾向さえみられる。Fig. 1 は同一熱処理条件における表面硬度が鋼種によりかなり異なることを示しており、とくに高 Ni 系試料の硬度は低い値を示している。次にガス浸炭時の露点の影響を示すと Fig. 2 のごとく、925°C 浸炭の場合露点 -8°C で最高硬度を示す。これは前報で報告したように Table 2 に示すごとく表面炭素量が約 0.8% に相当する。同様に他の浸炭温度でも共析炭素量程度の表面炭素量の場合に最高硬度を与えることがわかつている。

Fig. 3 は表面炭素量が約 1.0% になるように露点調整を行なった場合の表面硬度と浸炭温度の関係を示すが、875~900°C 浸炭の場合と比較して

925°C 浸炭の場合にやや硬度低下がみられる。以上のごとく浸炭層の焼入硬度は浸炭温度、露点および鋼種により大きな差を生ずるものである。一般に間接焼入によれば直接焼入の場合より高硬度を示すので、最高硬度を得るには間接焼入で焼入温度を低くすることが望ましいけれども、直接焼入の場合でも浸炭温度を比較的低く、露点をほぼ共析炭素量を目標とするならばかなりの効果が期待できよう。しかも、かかる条件による浸炭層のミクロ組織はきわめて微細なマルテンサイト組織となり、 γ_R 量も少なく靱性も大であると思われる。

2. 浸炭焼入層の靱性

肌焼部品の芯部の機械的性質がしばしば問題とされ、規格化されているのに対して、浸炭焼入層は硬度あるいは組織的に問題とされる程度でその機械的性質については比較的等閑視されているようである。それは浸炭層の性質が浸炭条件によって鋭敏に左右されること、および試験に際して浸炭層のみを抽出することが困難であることなどによるものと考えられる。しかし強い曲げ応力、圧縮応力あるいは衝撃応力などのかかる部品では浸炭焼入層の靱性は重大な問題であり、これと鋼の化学成分、浸炭焼入条件などの関係を解明する必要がある。したがって薄板状抗折試験片を内部まで透過浸炭させ、かかる試料の靱性を抗折試験によって比較した。Fig. 4 は浸炭温度 925°C、露点 -12°C

Fig. 4. Toughness of directly quenched case, gas carburized at 925°C D.P. -12°C.

の条件で浸炭後直接焼入した試料の抗折力および撓みと焼入温度の関係を示すが、焼入温度が 775°C まで低下した場合に靱性の顕著な低下が認められる。しかし 825~925°C の焼入温度では大差ない。次に浸炭時のガス雰囲気条件の

影響を Fig. 5 に示すが、A, G および H は表面炭素量約 1.0% を目標とした場合の浸炭温度の影響を示し、A およ

Fig. 5 Toughness of directly quenched case, showing effect of carburizing temp. (A, G, H) and dew point (A, E).

び E は 925°C 浸炭の際の露点、つまり表面炭素量の影響を示す。この場合の表面炭素量は A で約 1.0%, E は約 0.8% である。この結果によれば浸炭温度が低い場合とくに 875°C の場合に靱性の増加が大であり、また表面炭素量の減少によっても靱性の向上が認められる。また間接焼入法によれば靱性は上昇するが、固形浸炭の場合には間接焼入法によっても靱性の低下は著しい。

3. 浸炭焼入層の γ_R 量

浸炭層の焼入硬度が浸炭焼入条件により異なることはすでに示したが、これらは主として浸炭層に生ずる γ_R 量の変化によるものと推定される。この点について定量的に把握するために浸炭焼入層の γ_R 量を磁気的に決定し、考察の資料とした。Fig. 6 は浸炭後の直接焼入温度の影響を示すものであるが、焼入温度との明瞭な関係は認められないが、焼入温度の低下にしたがつて増加する傾向がみられる。一方間接焼入によれば γ_R は減少し、固形浸炭ではやや増加する。Fig. 7 は浸炭条件の影響を示

Fig. 6 γ_R content of directly quenched case, gas carburized at 925°C, D.P. -12°C.

すが、浸炭温度の低下ならびに露点の上昇により γ_R 量の減少することが判る。とくに露点の影響は顕著である。

Fig. 7 γ_R content of directly quenched case, showing effect of carburizing temp. (A, G, H) and dew point (A, E).

テンサイト組織となる。これは間接焼入により比較的容易に達成することができるが、直接焼入の場合でも表面炭素量を共析範囲に制御し、浸炭温度を低下させることによって十分目的を達することができる。しかしながら鋼の化学成分によつてこれらの関係はかなり異なるものであり、たとえば合金を含まない S15CK の場合は浸炭焼入条件の変化にかかわらずほぼ一定した硬度と靱性を与える。大きな焼入性が要求される場合は合金元素の添加はさけられないが、とくに γ_R の生成を促進しやすい元素を多く含む場合はそれだけ浸炭熱処理法の管理に十分注意しなければならない。かかる意味で SCM 22 は比較的とりあつかい易い鋼種といえよう。

Fig. 8 Hardenability of carburized case, quenched at 850°C.

Fig. 8 は浸炭層の焼入性試験結果を示すものであつて、鋼種ならびに炭素量によつてかなりの差がみられる。SNC22 がもつとも大であり、つぎに SNCM 23, SCM 22, SNCM 21 の順となり S15CK は著しく小である。S15CK を除く他の合金鋼は、いずれも炭素量 0.6% の近傍で最大の焼入性を示す傾向があり、SNC 22, SNCM

以上浸炭焼入層の浸炭熱処理条件における表面硬度、組織、靱性、 γ_R 量などについて記述したが、これらは互に関連するものである。要するに高い硬度と靱性の組合せが優秀な性能を賦与するのであるから、これを満足する組織は γ_R 量の少ない極めて微細なマルテンサイト組織となる。これは間接焼入により比較的容易に達成することができるが、直接焼入の場合でも表面炭素量を共析範囲に制御し、浸炭温度を低下させることによって十分目的を達することができる。しかしながら鋼の化学成分によつてこれらの関係はかなり異なるものであり、たとえば合金を含まない S15CK の場合は浸炭焼入条件の変化にかかわらずほぼ一定した硬度と靱性を与える。大きな焼入性が要求される場合は合金元素の添加はさけられないが、とくに γ_R の生成を促進しやすい元素を多く含む場合はそれだけ浸炭熱処理法の管理に十分注意しなければならない。かかる意味で SCM 22 は比較的とりあつかい易い鋼種といえよう。

4. 浸炭層の焼入性

Fig. 8 は浸炭層の焼入性試験結果を示すものであつて、鋼種ならびに炭素量によつてかなりの差がみられる。SNC22 がもつとも大であり、つぎに SNCM 23, SCM 22, SNCM 21 の順となり S15CK は著しく小である。S15CK を除く他の合金鋼は、いずれも炭素量 0.6% の近傍で最大の焼入性を示す傾向があり、SNC 22, SNCM

23 および SCM 22 はこの場合水冷端から空冷端にいたるまでほとんど硬度低下がない。

IV. 結 言

前報に引き続き現用肌焼鋼 5 種の熱処理の性質を研究し、浸炭条件、焼入条件、鋼種などのこれら諸性質におよぼす効果を明らかにした。その結果を要約すれば下記の通りである。

(1) 浸炭層の焼入硬度は浸炭温度の比較的 low (875~900°C), かつ表面炭素量が共析範囲にあるとき最高硬度を示す。この場合、焼入温度とはあまり関係しない。

(2) 浸炭層の焼入硬度は同一浸炭焼入条件において、高 Ni 系材料ほど出難い。一方炭素鋼および合金量の少ない低合金鋼は比較的浸炭熱処理条件による硬度の変動が少ない。

(3) 浸炭焼入層の靱性は浸炭温度および表面炭素量の低いほど一般に靱性は改善される。焼入温度が 800°C 以下に低下すると減少するが、それ以上であれば焼入温度にあまり影響されない。

(4) 浸炭焼入層の γ_R 量は浸炭温度を低く、かつ表面炭素量を低下することにより減少する。同一熱処理条件で鋼種により大きく変動し、焼入温度の影響は少ない。

(5) 浸炭層の焼入性は高合金鋼ほど増大し、合金鋼においては炭素量約 0.6% で最大となる。

(6) 以上総括して経済的に直接焼入法の採用が要請される場合、現用鋼において良好な熱処理性質を与えるためには浸炭温度の低下および共析炭素量を目標とする露点制御が望ましい。

最後に本研究に対し終始御指導いただいた小柴冶金研究所長に深く謝意を表する。