

イオン浸炭法による高炭素浸炭

古谷 国夫

High Carbon Carburizing by Ion carburizing Method

Kunio FURUYA

1. はじめに

表面硬化処理の1つである浸炭法は機械部品などの耐摩耗性や疲れ強さ向上の手段として、幅広く利用されてきた。従来、この方法は低炭素鋼、低合金鋼などの材料に、浸炭層の炭素量が0.8~1.0%程度となるようにカーボンポテンシャルをコントロールしてガス浸炭法あるいは真空浸炭法により行っているのが普通である。

近年、機械の小型化、高性能化などに伴い、機械部品には高い耐久性と信頼性が求められる傾向になってきた。したがって、従来の浸炭法で得られる材料強度よりも高い強度が必要とされ、材料及び熱処理の改善が要求されるようになってきた。

そのため、最近では0.8~1.0%以上の表面炭素量で浸炭する高炭素浸炭法あるいはC・D浸炭法(炭化物の分散を伴う浸炭)と言われる方法¹⁾が注目されている。

そこで、本年度はイオン浸炭法(最近ではプラズマ浸炭法と呼ばれることが多い)による高炭素浸炭を試み、処理条件に関する基礎的データをを得る目的で、若干の実験を行ったので報告する。

2. 実験方法

供試材は表1に示した化学成分の合金工具鋼を28.5mmφ×10mm(試料台にセットするため一箇所、径方向に1mmカット)に機械加工し、試料平面部

表1 供試材の化学成分

合金工具鋼	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Co	V	P	S
	0.41	0.46	0.88	3.12	2.21	1.03	1.05	0.60	0.027	0.003

を400#のエメリー紙で研磨後、アセトンで脱脂・洗浄を行ってから実験に供した。

イオン浸炭は、イオン窒化装置の反応炉内に浸炭性のCH₄ガスを導入し、図1に示すような補助陰極法²⁾を用い、ガス比率及び全ガス圧を一定とし、浸炭温度を変化させて、次に示す(1)の条件で処理した。また、イオン浸炭後の焼入・焼もどしは、焼もどし温度及び時間を一定とし、焼入温度を変化させて、次に示す(2)の条件で処理した。

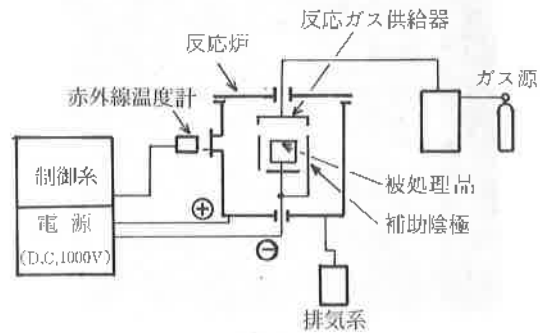


図1 イオン浸炭装置の概要

(1) イオン浸炭処理条件

温度×時間; 850°C、900°C、950°C及び1000°Cで各60min

全ガス圧 ; 1.3 Torr

ガス比率 ; 昇温 Ar : H₂ = 3.5 : 3

浸炭 Ar : H₂ : CH₄ = 3.5 : 3 : 0.6

冷却 Ar : H₂ = 3.5 : 3 (炉冷)

(2) 焼入・焼もどし条件

焼入加熱温度×時間; 850°C、900°C、950°C及び1000°Cで各30min
(真空熱処理炉)

焼もどし温度×時間；150°C×60min

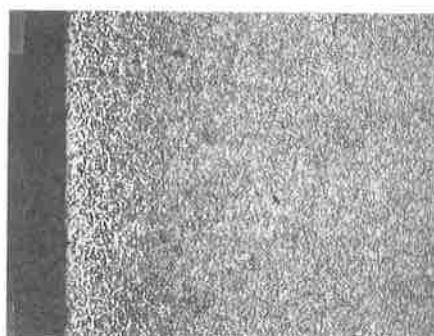
(オイルテンパー炉)

前記の補助陰極法によるイオン浸炭は補助陰極と被処理品の間において、グロー放電の際、電離された電子、イオン及び活性原子の増加により、電流密度が極めて高く、また、この部分は輻射熱発散の防壁となるため、1) 浸炭温度までの昇温が早い、2) 放電電圧を低下することができ、消費電力も少ない、3) 被処理品の浸炭部以外の部分では電流密度が低く、余り加熱されないのがガス消費量が少ない等の特徴がある。

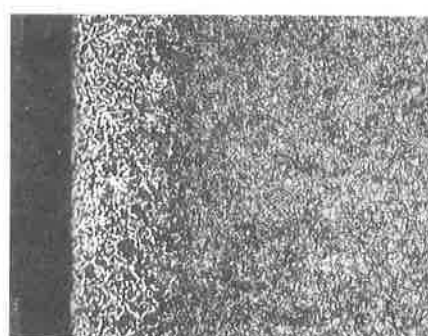
イオン浸炭後の試料について浸炭層の炭素濃度の測定及び顕微鏡組織観察ならびにイオン浸炭後、焼入・焼もどしを行った試料について顕微鏡組織観察、硬さ測定及びX線回折を行い、高炭素浸炭における浸炭温度及びオーステナイト化温度(以下、単に焼入温度と記す)の影響を調べ、最適な浸炭温度及び焼入温度を検討した。

3 結果と考察

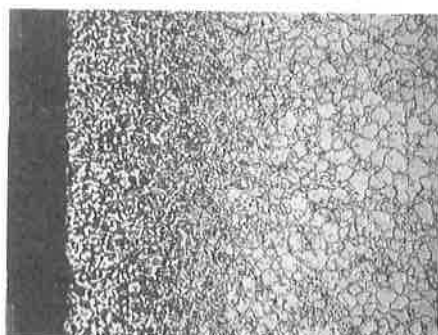
3-1 イオン浸炭後の顕微鏡組織



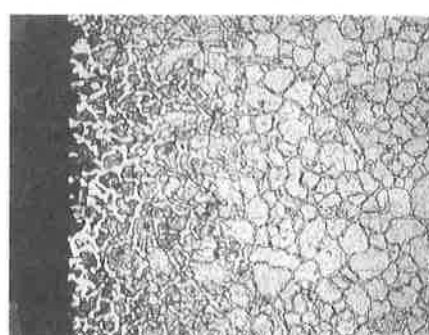
(a) 850°C×60min



(b) 900°C×60min



(c) 950°C×60min



(d) 1000°C×60min

写真1 各浸炭温度における顕微鏡組織 ×400× $\frac{3}{5}$ (4%ナイトール)

高炭素浸炭層の光学顕微鏡組織を写真1に示す。写真1の(a)~(d)の表面近くに見える白色層は炭化物粒の分布層であって、顕微鏡写真から知られるように多量の炭化物からなり、X線回折の結果、 Fe_3C 及び Cr_7C_3 と推定された。しかし、先の化学成分表からも知られるように、この供試材にはCr元素が入っており、当然、セメントイト(Fe_3C)に固溶していると思われる⁹⁾ので $(Cr, Fe)_7C_3$ および $(Cr, Fe)_3C_2$ の可能性も考えられる。

浸炭温度が850°C、900°C、950°C及び1000°Cと高くなるに従い、分布層の炭化物粒は次第に凝集して粗大になると同時に、内部の組織も粗大化し、大きく成長した結晶粒界に炭化物の析出が認められるようになる。この傾向は950°C以上の浸炭温度において顕著である。

3-2 浸炭層の炭素濃度

高炭素浸炭層の炭素濃度についてスイスのARL社製の発光分光分析装置により、深さ方向で0.1mm以内の領域を測定した結果を表2に示す。

850°C及び950°Cでイオン浸炭した表面部の炭素濃度は、それぞれ2.89%C及び3.10%Cであって、

多量の炭化物が浸炭によって形成されたことがわかる。

表2 浸炭層の炭素濃度

	浸炭温度	
	850°C	950°C
炭素量 (%)	2.89	3.10
備考	素材	0.41%

3-3 焼入・焼もどし後の顕微鏡組織

写真2は、850°C、900°C、950°C及び1000°Cの各温度でそれぞれイオン浸炭及び焼入れを行い、150°Cの焼もどしを行った試料表面の代表的顕微鏡組織である。

表面附近は焼もどしマルテンサイトの基地中に写真3の高倍率な走査電子顕微鏡写真からわかるように粗大な炭化物粒が多量に分布して、白色層が形成されている。しかし、図2の試料表面におけるX線回折結果に示すように α -Fe、 M_3C 、及び M_7C_3 の回折線以外に γ -Feの回折線が認められ、焼もどしマルテンサイト、炭化物及び残留オーステナイトから成る組織である。ただし、炭化物については先に述べたように $(Cr, Fe)_3C$ 及び $(Cr, Fe)_7C_3$ の可能性があり、ここではそれぞれ M_3C 及び M_7C_3 と表現した。内部の組織は写真4の高倍率の顕微鏡写真からわかるように、焼もどしマルテンサイトの基地中に微細な炭化物が析出した均一な組織である。浸炭温度及び焼入温度が高くなるに従い、炭化物分布層における炭化物粒は

大きく成長・凝集して、その数は減少する様相を呈するとともに、図2のX線回折図形における γ -Feピークの積分強度も高くなり、多量に残留オ-

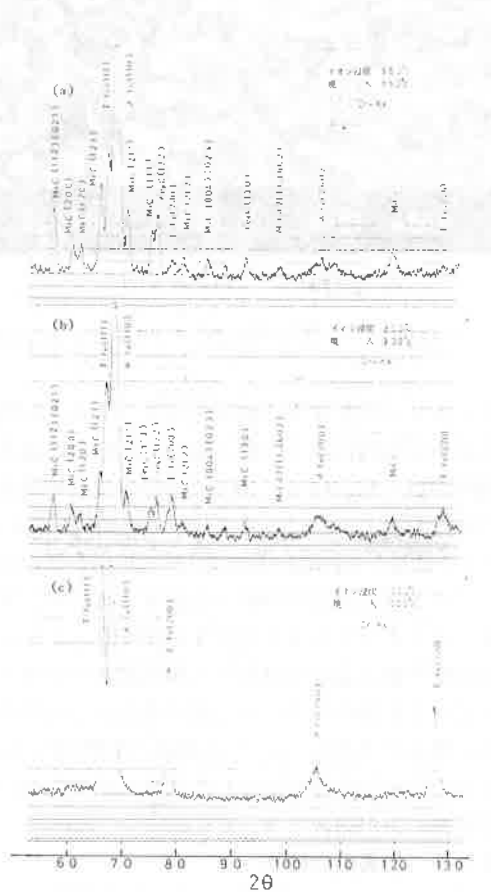
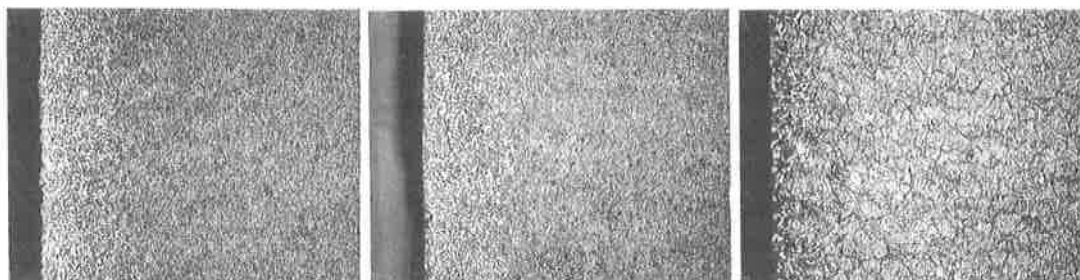


図2 焼入・焼もどし後のX線回折図形



(a) 焼入れ : 850°C×30min →ガス急冷
焼もどし : 150°C×60min
(850°C×60minのイオン浸炭)

(b) 焼入れ : 900°C×30min →ガス急冷
焼もどし : 150°C×60min
(900°C×60minのイオン浸炭)

(c) 焼入れ : 1000°C×30min →ガス急冷
焼もどし : 150°C×60min
(1000°C×60minのイオン浸炭)

写真2 焼入れ・焼もどし後の顕微鏡組織 ×400×3/5

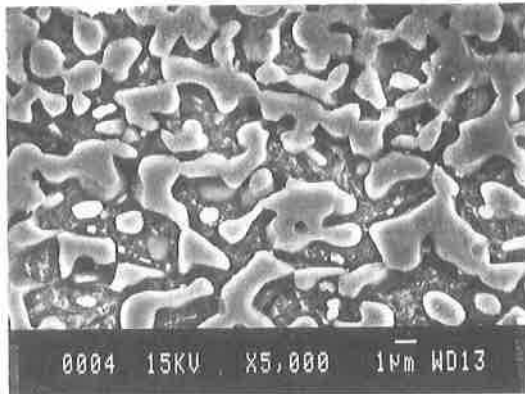


写真3 浸炭層表面

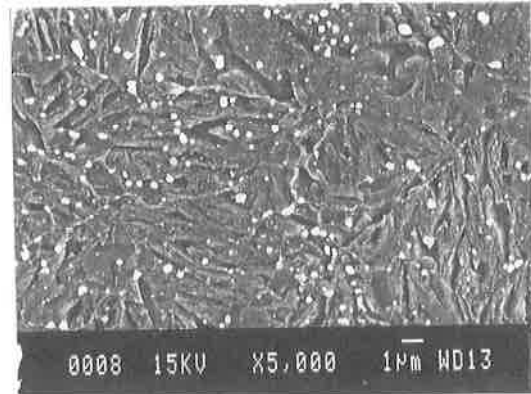


写真4 試料中心部

写真3, 写真4 850°C×11hrのイオン浸炭後850°Cで焼入れした試料の走査電子顕微鏡写真

ステナイトが存在する傾向を示す。それと同時に炭化物分布層に続く内側の領域では組織の粗大化傾向が見られ、特に、1000°Cの浸炭及び焼入れ試料では写真2-(c)に示すようにこの傾向が著しく、大きく成長した結晶粒界に炭化物の析出が見られる。

このように浸炭及び焼入れ温度が高い程、残留オーステナイトが多く存在する傾向を示すが、浸炭温度と焼入れ温度ではどちらが残留オーステナイトに対し影響が大きいのか調べるため、浸炭後焼入れ・焼もどしを行った全試料について γ -Feのピークの積分強度を比較した結果、焼入れ温度による影響の方が顕著であった。

3-4 最表面の硬さ

図3は、850°C、900°C、950°C及び1000°Cの各温度でイオン浸炭及び焼入れを行い、150°Cの焼もどしを行った試料について最表面の硬さに及ぼす浸炭温度と焼入れ温度の影響を調べた結果である。

図3から明らかな様に、最表面の硬さは浸炭温度より焼入れ温度の影響の方が大きい。また、各浸炭温度に共通して焼入れ温度が低い程、最表面の硬さは高くなる傾向を示し、浸炭温度及び焼入れ温度が850°Cの組合せの場合、Hv1006の最高硬さが得られる。この要因としては残留オーステナイトの他、炭化物粒の数、大きさなど分布状態が考えられる。

3-5 硬さ推移曲線

図4は上記の最も高い最表面の硬さが得られる850°Cの浸炭温度において、焼入れ温度を変化させた場合の硬さ推移曲線である。

焼入れ温度が850°Cの場合、0.025mmにおける硬さ

は小さな炭化物粒が緻密に分布していると同時に残留オーステナイトが少ないため、Hv890と最も高く、図4に示すような内部に向かって漸減する硬

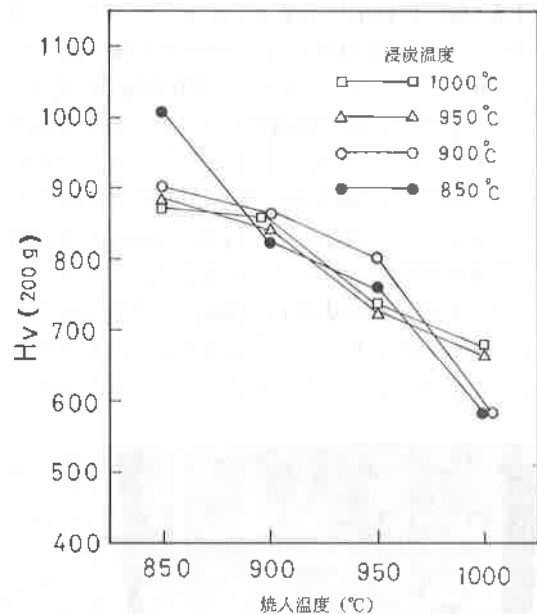


図3 最表面硬さに及ぼす焼入れ温度の影響

さ推移曲線となる。焼入れ温度が高くなる程、表面(0.025mm位置)から0.45mmの領域に残留オーステナイトに起因する硬さの低下が顕著に現われる。しかし、それより内側の領域では焼入れ温度の高い程、逆に硬さが増加する傾向を示し、図4のような硬さ推移曲線となっている。

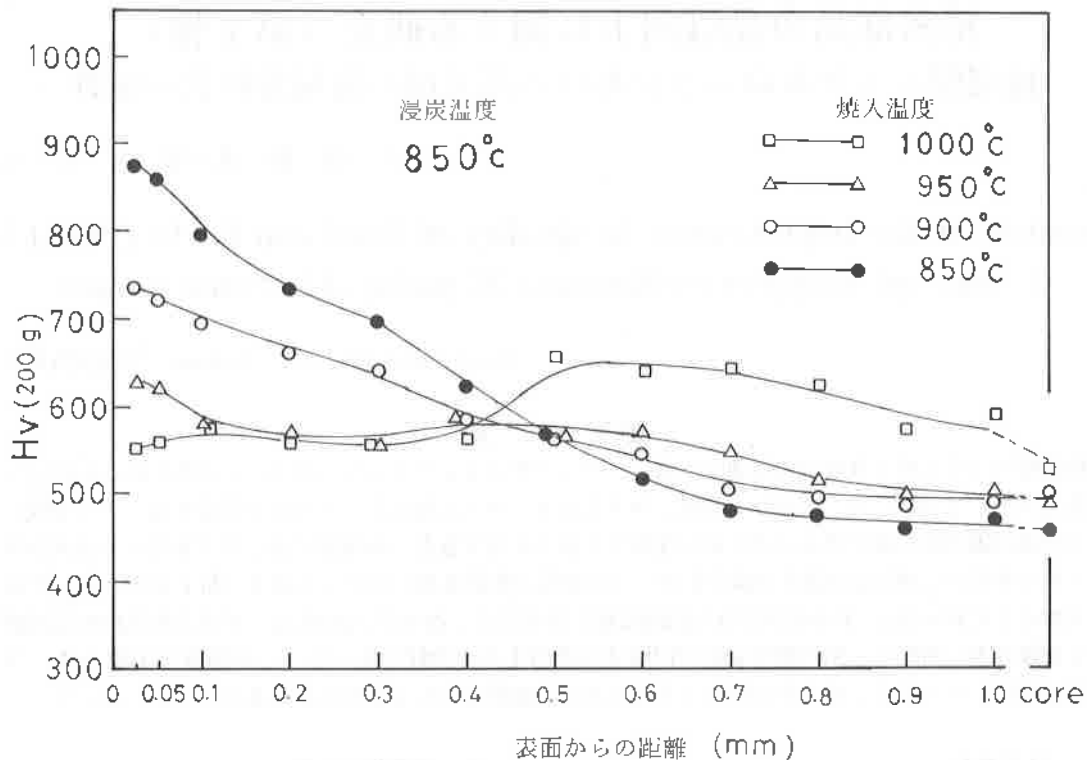


図4 焼入・焼もどし後の硬さ推移曲線

次に、浸炭温度が900°C、950°C及び1000°Cで、焼入温度を変化させた場合の表面から内部への硬さ推移曲線(図は省略)は各浸炭温度とも上記と同様な傾向を示すが、焼入温度の低い850°Cの場合でも0.025mm位置の硬さはHv750~820程度しか得られない。従って、浸炭及び焼入温度が850°Cと低い場合に良好な硬さ推移曲線が得られる。

4 おわりに

イオン浸炭法による合金工具鋼の高炭素浸炭を行い、浸炭温度及び焼入温度の影響を調べ、処理条件を検討した結果、次の点が明らかになった。

1) 高炭素浸炭はイオン浸炭法によっても可能であり、イオン浸炭後の試料表面附近における顕微鏡組織には白色の炭化物分布層が形成され、850°C及び950°Cでイオン浸炭した浸炭層(表面から0.1mm以内の領域)における炭素濃度はそれぞれ2.89%C及び3.10%Cである。

2) イオン浸炭後、焼入・焼もどしを行った試料最表面の最高硬さはHv1000程度である。

3) 高炭素浸炭におけるイオン浸炭温度及び焼入温度はいずれも、850°C附近の低い温度で処理した方が良い。この理由としては、850°C附近の処理では表面附近の炭化物分布層における炭化物粒は小さく、緻密に分布していると同時に焼入・焼もどし後の残留オーステナイトが少なく、最高の表面硬さが得られる。更に、表面から内部へは高い硬さレベルの推移曲線を示し、良好な浸炭硬化層が得られる。

文 献

- 1) 内藤武志他；熱処理 日本熱処理技術協会、26(2)、157 (1986)
- 2) 例えば、長田幸雄他：第6回イオン窒化研究会資料〔日本電子工業(株)〕6、(1987)
- 3) 金属便覧：日本金属学会編 改訂3版、丸善(株)、(1971)