

雰囲気熱処理炉による鋼のガス窒化処理に関する研究

浜石和人, 瀬戸口正和, 清藤純一

Study on The Gas Nitriding of Steel in Controlled Atmospher Furnace

Kazuto HAMAISHI, Masakazu SETOGUCHI and Jun'ichi KIYOFUJI

滴下式雰囲気熱処理炉による各種鋼のガス窒化処理条件と物性について検討した。この結果次のことがわかった。

- (1)表面硬さは処理時間が長いほど硬くなる傾向がみられた。
- (2)表面硬さに及ぼす炭素の効果は明らかではない。
- (3)表面硬さはCr, Mo, Alなどの合金元素を含むと高くなる傾向が大となる。
- (4)硬化深さは処理時間が長いほど深くなる傾向がある。
- (5)組織試験で表面の化合物層に引きつぎ拡散層が明瞭に認められるものとそうでないものとにわけられることがわかった。

1. はじめに

鋼の表面硬化法として浸炭, 浸炭窒化, 窒化などがある。このうちの窒化は変態を伴う硬化法でないため歪や変寸が少ないなどの特徴がある。

窒化方法として塩浴窒化, ガス窒化, イオン窒化などがあり, 塩浴窒化はシアン化合物を使用しているため作業環境, 作業方法などに十分注意するとか, あるいは使用後の処理などの問題があつて県内業者もこの方法は中止した。また, イオン窒化は, 窒素ガスと水素ガスを炉中に導入し被処理物を陰極にセットし数Torr下で電圧をかけ発生する異常放電を利用した窒化方法で, 無公害, ステンレス鋼やチタンなど窒化の困難な材料も簡単に処理でき, 化合物層の制御もできるなどの長所がある。このため, 昭和56年にこの設備を導入し金型・治工具などへの利用技術について指導普及して来て今日に至っている。しかし, 小物品の大量処理には被処理品のセットの不向な点が多いなどの問題点がある。このような点においてはガス

窒化法が有利である。

最近, イオン窒化処理炉で処理できない小物部品や寸法の大きい金型・治工具などの窒化処理を必要とする製品の受注が多くなってきており, 各種類の鋼のガス窒化技術の確立が関連業界より強く要請されている。

従つて, これに対応して昭和60年度に導入した雰囲気熱処理炉による各種鋼材の窒化技術を確立するため検討を加えたので報告する。

2. 雰囲気熱処理炉の概要

雰囲気熱処理炉の外観を図1に構造を図2に示す。図1に見るように全体は炉本体, 制御盤, C O₂分析装置で構成されている。また, 炉本体は図2に示すようにテーブル, パージ室, 油層, 加熱室(SUS製マッフル構造)から成っている。

加熱室にはファンが取り付けられており, 炉内の雰囲気ガスが均一になるように配慮している。

この炉の基本的な仕様は次の通りである。

①型 式 EQ-3型



図1 雰囲気熱処理炉の外観

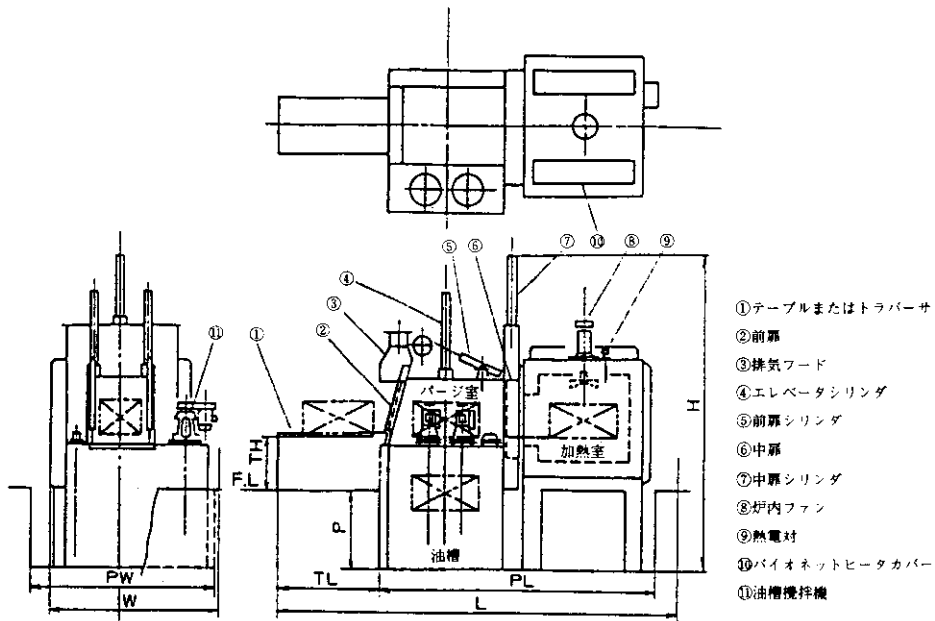


図2 雰囲気熱処理炉の構造図

- ②有効寸法 450W×600L×380H
- ③使用温度 950℃MAX
- ④処理重量 150Kg グロス
- ⑤ヒーター電力 40KW
- ⑥燃き入れ油槽 加熱ヒーター 23KW
油量 1,900 l
- ⑦可能な処理 浸炭, 浸炭窒化, ガス窒化, 光輝焼き入れ, 窒素焼き入れ

また、この炉の特徴は以下の通りである。

- ①SUS製のマッフル炉構造のため間欠操業でもシーズニングは不用。長時間休止しても、ごく短時間で雰囲気安定し、ロス時間が少ない。
- ②セラミックファイバー断熱材の採用により昇温時間が短く、また放散熱量が小さくなり、熱ロスが少ない。
- ③多様な熱処理ができる。
- ④アルコール滴下方式の炉のため変成炉が不用である。
- ⑤自動操作ができる。

3. 実験方法

3.1 供試材料

実験に供した鉄鋼材料は、化学成分の窒化後の物性に及ぼす影響を検討するために、JIS規格の中からSS41, S45C, SCM415, SACM645, SK3, SKS3, SKD11など幅広く選定し、窒化処理後の表面硬さや硬化深さ及び組織試験を行いやすくするために表面を鏡面加工してそれぞれの条件で窒化処理した。

これらの化学成分のJIS規格を表1に示す。

3.2 窒化試験条件

窒化試験条件は、処理温度570℃でアルコール滴下量0.30l/Hそしてアンモニア流量は2.8m³/Hの一定とし、加熱時間のみを3, 5時間の2条件とした。

3.3 処理試料の物性試験と評価

窒化処理後の試料表面のピッカース硬さの測定と試料断面表面を鏡面仕上げして、5%硝酸アル

表1 供試材料のJIS化学成分

鋼の種類	化 学 成 分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Al
SS41	0.050 以下	0.050 以下					
S45C	0.42 ~0.48	0.15 ~0.35	0.60 ~0.90	0.030 以下	0.035 以下					
SCM415	0.13 ~0.18	0.15 ~0.35	0.60 ~0.85	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.15 ~0.30			
SCM435	0.33 ~0.38	0.15 ~0.35	0.60 ~0.85	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.15 ~0.30			
SACM645	0.40 ~0.50	1.15 ~0.50	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.70	0.15 ~0.30			0.70 ~1.20
SK3	1.00 ~1.10	0.35 以下	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下					
SKS3	0.90 ~1.00	0.35 以下	0.90 ~1.20	0.030 以下	0.030 以下	0.59 ~1.00	...	0.50 ~1.00		
SKD11	1.40 ~1.60	0.40 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	11.00 ~13.0	0.80 ~1.20	...	0.20 ~0.50	

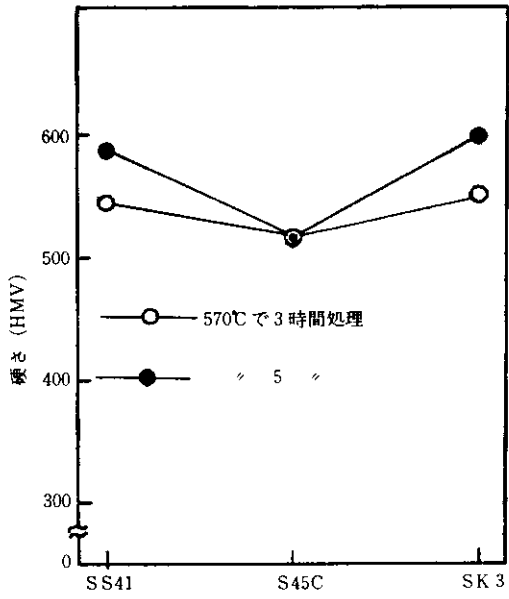


図3 SS41, S45C, SK3の窒化後の表面硬さ

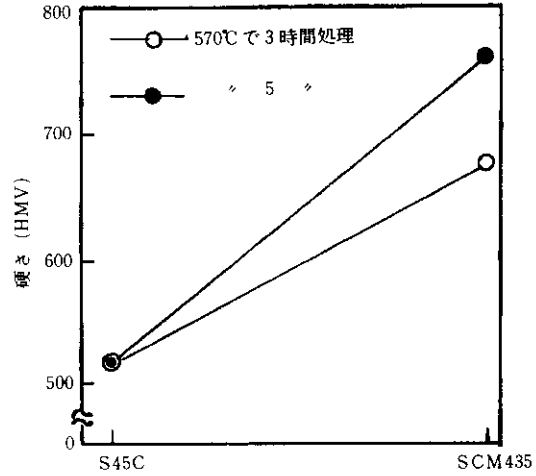


図5 S45C, SCM435の窒化後の硬さ

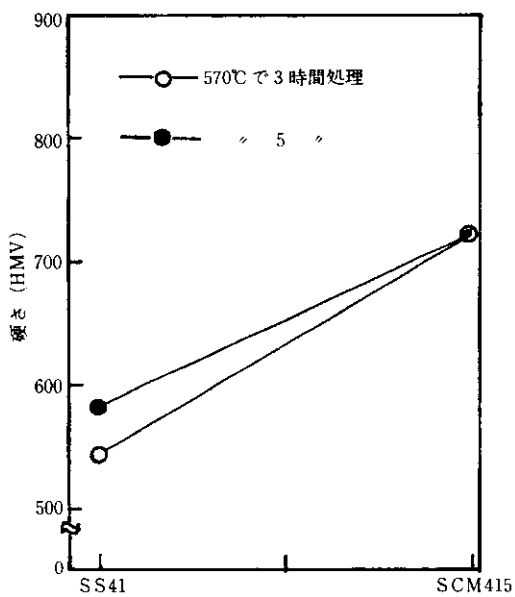


図4 SS41SCM415の窒化後の表面硬さ

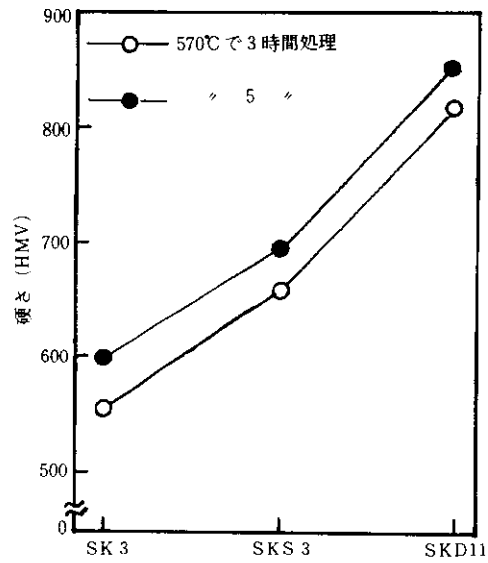


図6 SK3, SKS3, SKD11の窒化後の硬さ

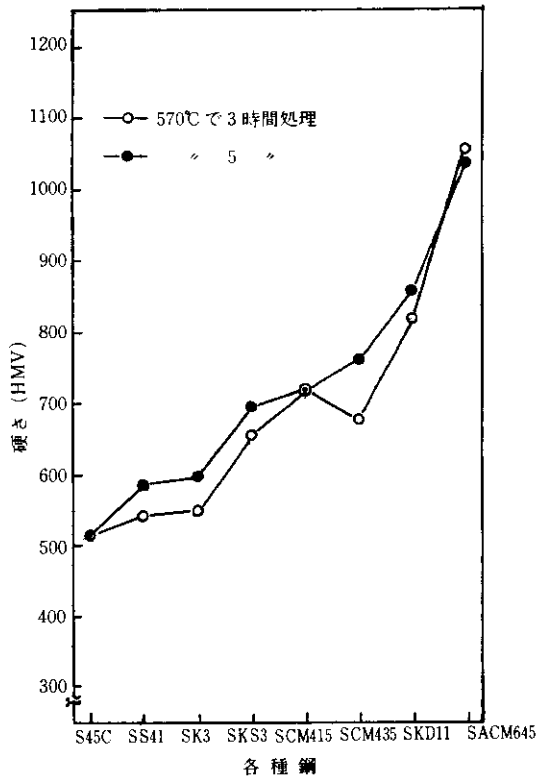
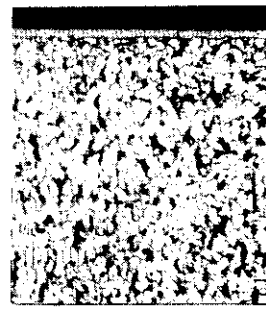
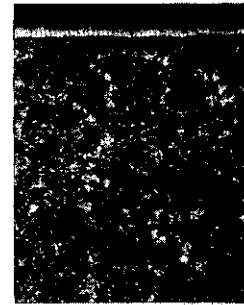


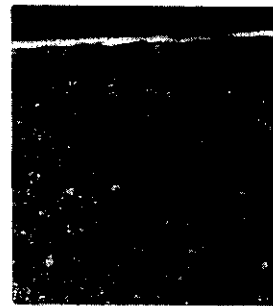
図7 全試料の窒化処理後の硬さ



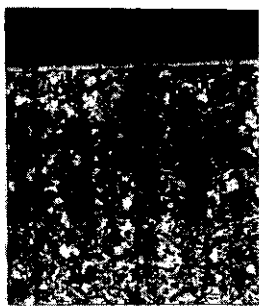
SS41



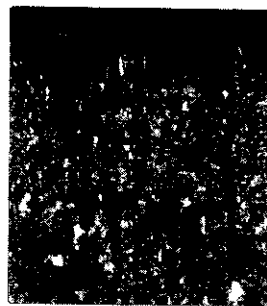
SK3



SKS3



SCM435



SKD11



SACM435

図8 SS41, SK3, SKS3, SCM435, SKD11, SACM645の窒化層の断面
光学顕微鏡組織 (×100)

コールで腐食後に光学顕微鏡で組織の観察を行った。

4. 実験結果と考察

4.1 窒化時間と鋼の化学成分の窒化後の表面硬さに及ぼす影響

炭素量と窒化処理時間の試料表面硬さに及ぼす影響を検討するために図3にSS41, S45C, SK3の窒化後の表面硬さを、図4にSS41とSCM415の窒化後の表面硬さを、図5にS45CとSCM435の窒化後の表面硬さを、そして図6にSK3, SKS3, SKD11の表面硬さを、また、図7に全試料の窒化後の硬さを示す。

処理時間の表面硬さに及ぼす影響についてみると図3～7に示すように表面硬さは、どの鋼種についても処理時間が3時間よりは5時間と長くなるほど高くなることがわかる。

鋼中の化学成分の表面硬さに及ぼす影響について検討してみると、まず炭素については図3より炭素量の低いSS41, 中炭素のS45C, 高炭素のSK3の表面硬さは、S45Cの3, 5時間処理材が同じであるものの、ほぼ同様な値を示している。つまり、炭素の窒化後の表面硬さへの影響はほとんどないといえる。

炭素以外の合金元素の影響については、図4から窒化後のSCM415の表面硬さはSS41より硬く、また、図5からSCM435の窒化後の硬さは、S45Cより硬くなっている。SCM415とSS41及びSCM435とS45Cはそれぞれ炭素含有量がほぼ同じであるがSCM415, SCM435はCr, Moをそれぞれ0.90～1.20%, 0.15～0.30%含んでいる。つまり、これらの合金元素は窒化層の硬さを高める効果があることを表している。

また、図6から窒化後のSK3, SKS3, SKD11の表面硬さは、SKD11, SKS3, SK3の順に高くなっている。これらの鋼の炭素以外の合金元素量について比較してみると、SKD11は

Cr, Mo, Vをそれぞれ11.00～13.00%, 0.80～1.20%, 0.20～0.50%含んでいて、SKS3はCr, Wを0.50～1.00%含んでいるがSK3はこれらの合金元素は含んでいない。これらのことからCr, Mo, V, Wなどの合金元素は窒化後の表面硬さを高める効果があり、その含有量が多いほどその効果も大きくなることを表している。

更に、図7から全鋼種のうち最も窒化後の表面硬さの高いのは、SACM645であることが解るが、この合金はCr, Moをそれぞれ1.30～1.70%含んでいる。これらの元素だけについてSCM415, 435と比較するとほぼ同程度であると言える。しかし、SACM645は0.70～1.20%のAlを含んでいる。このことからAlは窒化後の表面硬さを高める効果の大きいことが解る。

今回の実験では、窒化されにくい高炭素高合金鋼のSK3, SKS3, SKD11の窒化も容易に処理された。

4.2 窒化後の窒化層の深さ

5時間窒化処理後のSS41, SK3, SKS3, SCM435, SKD11, SACM645の硬化層の組織を図8に示す。また、組織観察より測定した化合物層と拡散層の厚さを表2に示す。図8と表2から明らかなようにどの材料も窒化時間が長くなるほど硬化深さは深くなることが解る。また、図8に明らかなようにSCM435の5時間処理、SKD11, SACM645の3, 5時間処理材には化合物層の下に拡散層が組織においてよく現れている。そして、これらの合金に形成された化合物層の厚さはSS41, S45C, SCM415, SKS3より薄くなっているが、これはSCM435, SKD11, SACM645は他の鋼に比較して窒素化合物形成速度より窒素の拡散速度が上回っているためと考えられる。

表2 組織観察による化合物層と拡散層の厚さ

試料	3時間窒化処理後の厚さ(μm)			5時間窒化処理の厚さ(μm)		
	化合物層	拡散層	合計	化合物層	拡散層	合計
SS41	15	0	15	12	0	12
S45C	20	0	20	20	0	20
SCM415	5	0	5	12	0	12
SCM435	5	0	5	15	200	215
SK3	15	0	15	20	0	20
SKS3	12	0	12	15	0	15
SKD11	5	20	25	10	50	60
SACM645	5	80	85	10	110	120

5. まとめ

雰囲気熱処理炉による各種鋼材のガス窒化に関する実験結果から次のようなことが解った。

- (1)処理時間の表面硬さに及ぼす影響については、SS41, S45C, SK3, SKS3, SCM415, SCM435, SKD11, SACM645のどの鋼においても窒化処理時間が長くなるほど硬くなる傾向を示した。
- (2)化学成分のうち炭素の表面硬さに及ぼす影響については、SS41, S45CとSK3の表面硬さの検討の結果、この三者間に大きな差がないことから、大きくないことが解った。
- (3)炭素以外の合金元素の表面硬さに及ぼす影響については、SS41とSCM415, S45CとSCM435, SK3とSKS3およびSKD11そしてこれらの鋼種とSACM645の表面硬さの比較からCr, Mo,

W, Vを含む鋼の表面硬さが、これらを含まない鋼種より高く、特にAlを含むSACM645の表面硬さが最も高かったことから、これらの合金元素の影響は大きく特にAlはその効果が大きいことが解った。

- (4)窒化後の硬化層の深さは、どの鋼種についても処理時間が長いほど深くなることが解った。
- (5)SCM435の5時間処理, SKD11, SACM645の3, 5時間処理材には表面の化合物層の下に拡散層が組織において良く現れていた。
- (6)拡散層が組織において良く現れていた材料の化合物層の厚さは他の材料の化合物層に比較して薄くなっていることが解った。
- (7)今回低炭素材料から窒化のされにくい高炭素高合金まで実験したが、どの材料も容易に窒化出来ることが解った。