

新しい雰囲気炉と熱処理

オリエンタルエンジニアリング㈱ 村上 博充*

はじめに

鋼材部品の熱処理作業と、その製品の品質に対する要求は、昨今の産業構造の変化に伴い、大きく変化してきた。産業構造が、省資源省エネルギーであること、人と地球に優しく無公害であることなど、労働環境や地球環境を重視するようになって久しいものがあるが、熱処理工場の現場においても、このような時代の流れの中で、設備、作業共に大きく変化してきている。

熱処理作業は、省力化、自動化が進み、パターン化された熱処理条件を予約登録すれば、全自動で前洗浄から焼戻しまでの処理工程を完了させ、途中で人手を必要とすることの一切ない工場も珍しくなくなってきた。このような工場の中では、より環境に配慮した、安全性の高い、高精度の設備が要求されるようになり、密閉型で炎の出ない設備、可燃性や爆発性ガスの使用を極力抑えて不活性ガスを活用した設備が、設備検討の中心になっている。

さらにこのような新しい雰囲気炉では、自動化、安全性、作業環境といった面だけでなく、同時に、今までとは違った多くの特徴が、熱処

理技術上の面でも、有しているものと考えられた。今回は、この新しい雰囲気炉を使って得られた熱処理技術のいくつかについて、その内容を簡単に紹介する。

1. 新しい雰囲気炉

鋼部品はその機能を満足するためにさまざまな熱処理が施される。そしてこの熱処理の際に、鋼表面は雰囲気によって大きな影響を受ける。熱処理には、この雰囲気の影響を積極的に活用したものと、出来るだけ雰囲気の影響を受けないことが望まれるものがある。前者は浸炭や窒素化などの処理であり、後者は焼入れや焼なましなどの処理である。このように雰囲気熱処理においては、処理の目的に合わせて適切な雰囲気を選ぶことと、雰囲気の組成を正確に調節することが重要な点となっている。写真-1及び図-1には、真空雰囲気ガス置換方式の密閉型多目的熱処理炉を示す。

このような密閉型炉では、炉の気密性が良く、真空ガス置換とあわせて、空気の影響を炉内に及ぼさないために、雰囲気ガスの選択範囲が広がり、その制御精度も著しく向上している。写

写真-1
密閉型多目的
熱処理炉

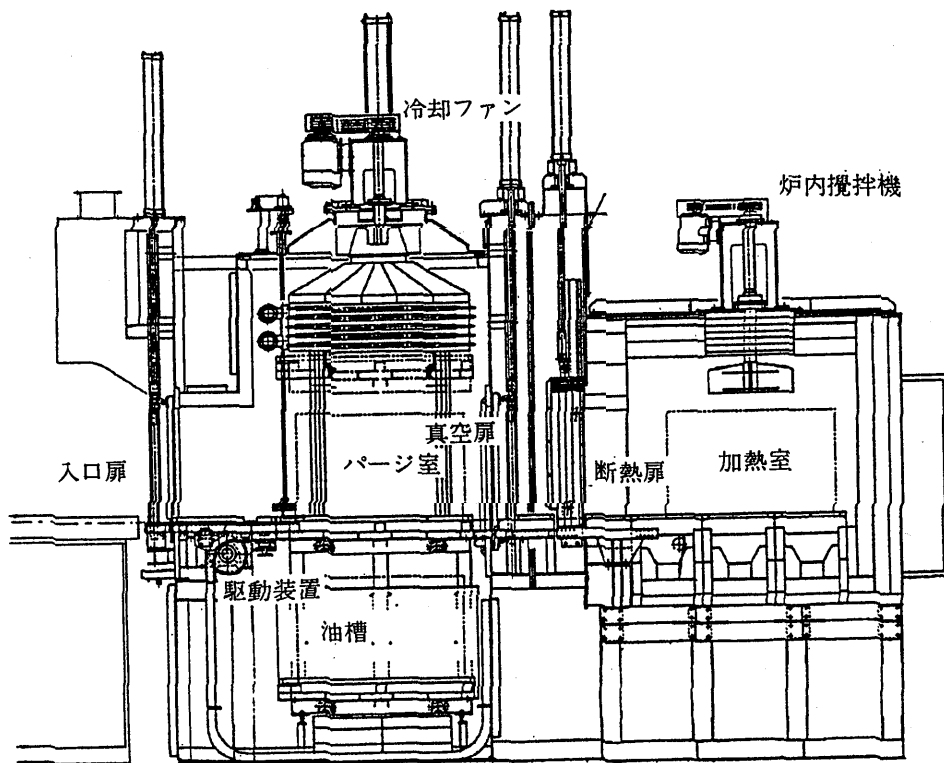
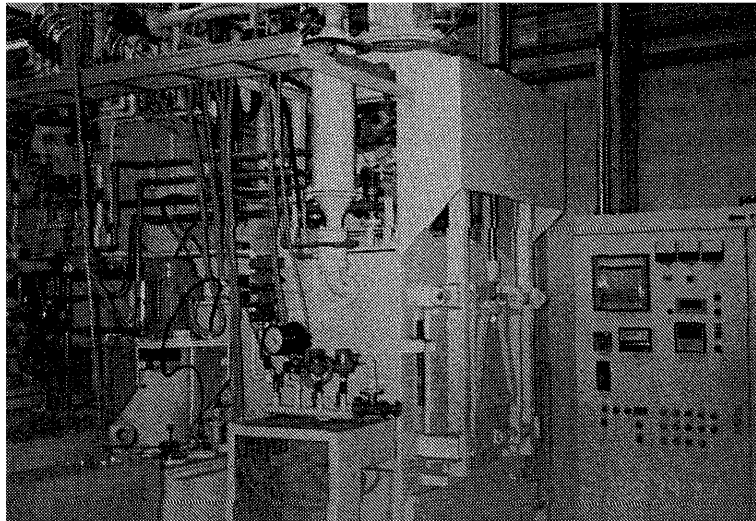


図-1 密閉型多目的熱処理炉 (BBH型炉)

真に示した設備では、多目的炉として、浸炭焼入れ、浸炭焼なまし、金型などの光輝焼入れ、ガス窒化、ガス軟窒化、窒素雰囲気による光輝焼入れや焼なまし、水素雰囲気による焼なましなど、多彩な処理を高精度にこなすことができる。またこのような方式は、処理の目的に合せた専用炉としても、その効果を十分に発揮する。表-1には真空ガス置換方式を採用した密閉型炉の一覧と、適応する処理の内容、使用する雰

囲気とその制御方法について示す。

2. 雰囲気ガスと鋼の化学反応

鋼は高温で雰囲気ガスにさらされると、雰囲気ガスとの間で次に示されるような様々な反応を生ずる。

酸化還元反応としては、

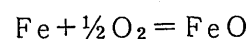
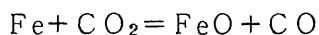
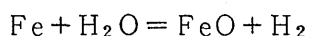
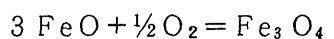
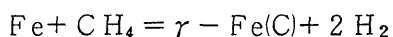
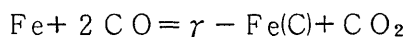


表-1 密閉型炉の型式と処理内容

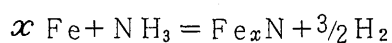
炉型式	型式	適応する処理	主な雰囲気	雰囲気制御
箱型	BBH	浸炭焼入れ, 光輝焼入れ	滴注	炭素
		光輝焼入れ	窒素	酸素
	BBN	軟窒化	アンモニア, 窒素, 炭酸ガス	アンモニア
		窒化	アンモニア, 窒素	アンモニア
	BBA	各種光輝焼鈍	窒素	酸素
		浸炭焼鈍	滴注, 窒素	炭素, 酸素
		ロー付け	窒素, 水素	酸素
	BBT	光輝焼戻し	窒素	
ピット型	PBN	軟窒化	アンモニア, 窒素, 炭酸ガス	アンモニア
		窒化	アンモニア, 窒素	アンモニア
	PBA	各種光輝焼鈍	窒素	酸素
		浸炭焼鈍	滴注, 窒素	炭素, 酸素
		ロー付け	窒素, 水素	酸素
	PBT	光輝焼戻し	窒素	
連続型 (プッシャー式)	CBH	浸炭焼入れ, 光輝焼入れ	滴注	炭素
		光輝焼入れ	窒素	酸素
	CBN	軟窒化	アンモニア, 窒素, 炭酸ガス	アンモニア
		窒化	アンモニア, 窒素	アンモニア
	CBA	各種光輝焼鈍	窒素	酸素
		光輝焼準	窒素	酸素
		ロー付け	窒素, 水素	酸素
CBT	焼結	窒素, 水素	酸素	
	光輝焼戻し	窒素		



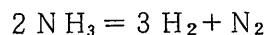
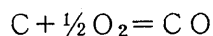
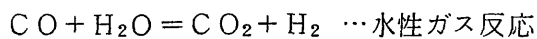
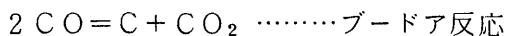
などがあり, 浸炭脱炭反応としては,



窒化反応としては,

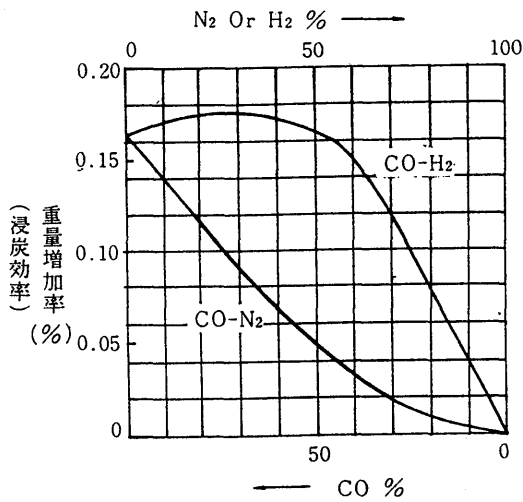


などがある。また雰囲気ガス同士の間でも次に示されるような反応を生じている。

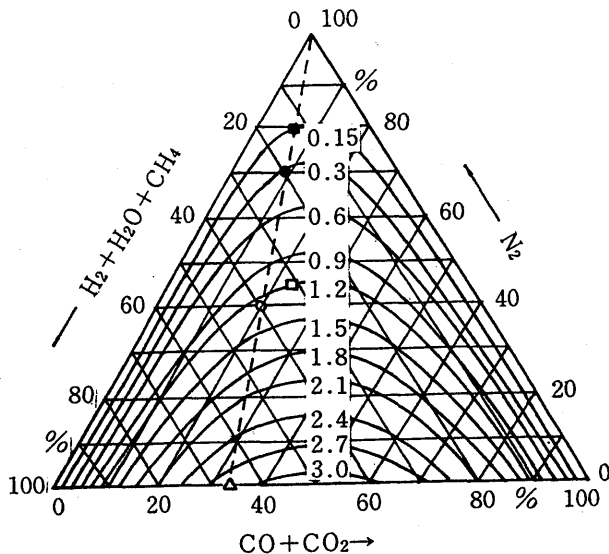


これらの反応は, それぞれの温度で平衡状態を保とうとし, また鋼中の炭素や窒素の間でも平衡関係にある。従って, このような反応を利用し, 浸炭や窒化などの処理を行うことが, 雰囲気気の積極的活用ということになる。

一方これらの反応は, もともとの材料の組成に平衡する雰囲気気に合わせてすることもできることから, 材料に影響を及ぼさないように, 雰囲気



CO-N₂系とCO-H₂系の浸炭効率



- N₂中に20%(CH₃OH+CH₃COOC₂H₅) $\beta=0.15 \cdot 10^{-5}$
- N₂中に30%(CH₃OH+CH₃COOC₂H₅) $\beta=0.35 \cdot 10^{-5}$
- プロパン変成ガス $\beta=1.2 \cdot 10^{-5}$
- メタン変成ガス $\beta=1.3 \cdot 10^{-5}$
- △ CH₃OH+CH₃COOC₂H₅ $\beta=2.8 \cdot 10^{-5}$

浸炭雰囲気組成による
炭素移行係数(β)の値(900℃)

図-2 浸炭効率と炭素移行係数

を調節する場合もある。しかしこの場合は、雰囲気と鋼の反応は望まないものであるから、不活性ガスの使用も非常に有効である。

3. 雰囲気ガスと熱処理

鋼の熱処理においては、雰囲気ガスの選択と

<処理品材料> S CM 415

<処理条件>

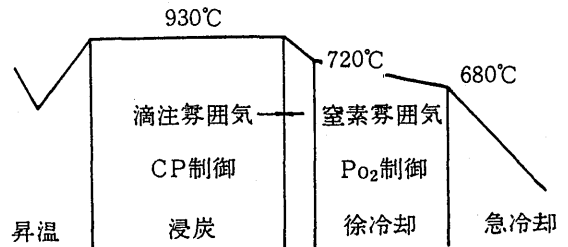
浸炭炉 密閉型滴注式多目的炉

(BBH-50MkII)

雰囲気 浸炭時 滴注剤, プロパン

冷却時 窒素

ヒートサイクル



<結果>

表面組織写真(×400, 3%ナイトル腐食)

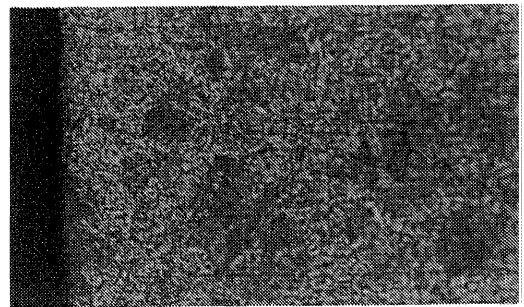


図-3 浸炭球状化焼鈍処理

設備の構造は重要な点である。浸炭処理の場合は、COガスによって浸炭が進められるため、CO濃度は浸炭効率を示す重要な因子となる。しかしCO濃度だけによって、浸炭効率は決まる訳ではない。図-2にはCOとH₂とN₂濃度を変えた場合の、浸炭効率と炭素移行係数について示す。この図からも明らかなように、浸炭処理に当っては、COとH₂の混合ガスが良く、CO濃度は高過ぎても良くない。

また浸炭処理に求められる要求は、単に良く制御された炭素濃度が得られることばかりではない。ガス浸炭によって生ずる粒界酸化の現象などは、出来るだけ防止されることが望まれている。このような場合は、効率良く浸炭させるためには、浸炭中は浸炭効率の高い雰囲気を使用し、その他の工程である昇温や均熱、温度降下や焼入れ温度保持中は、N₂雰囲気を基本とし

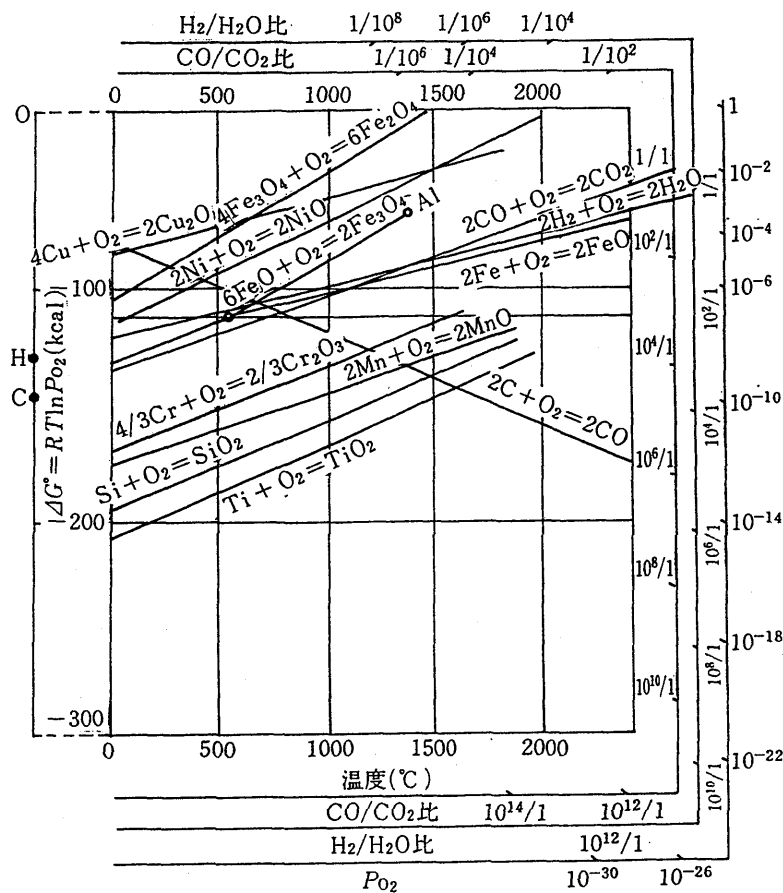


図-4 酸化物の標準ギブスエネルギー・温度図

て、雰囲気から受ける粒界酸化の影響を小さくした浸炭処理が考えられる。

降温中にN₂雰囲気を使用することは、浸炭焼なまし等の処理にとっても有効である。浸炭後光輝焼なましする場合、雰囲気調節は難しく、しばしば脱炭やスス発生の問題を生じ、安全上も問題になる場合があった。しかし密閉性が良く雰囲気ガス置換の出来る設備は、安全なN₂によって脱炭させることなく、自由な冷却速度で冷やすことが出来る。図-3には、浸炭後球状化焼なましした処理の、熱処理条件と処理後の表面組織を示す。

一方光輝焼入れ等の、雰囲気から受ける影響を防止した処理は、一般的に還元性雰囲気ガスが使われてきた。これは雰囲気組成を調節することによって、脱炭や浸炭を防止することができ、その調節も一定の許容範囲の中では簡単であることによる。雰囲気の影響を全く受けな

いようにするには、不活性ガスを雰囲気とすることが良いとの考えは古くからあるが、不活性ガスを使用した場合、微量の空気等の混入によって、光輝性を悪くしたり、脱炭の問題を生ずる場合があった。図-4には酸化物の標準生成自由エネルギー・温度図を示す。図から明らかなように、鉄が酸化されないように加熱する雰囲気としては、酸素分圧は10⁻¹⁸程度まで下げる必要がある。N₂のみの雰囲気にてこの酸素分圧まで下げることは簡単ではなく、このことが、不活性ガスによる光輝処理をあまり一般的にしなかった原因であるとも考えられる。

しかし、真空ガス置換方式の密閉型炉では、炉内の雰囲気を高い純度のN₂雰囲気に保つことが出

来ると同時に、炉中の微量酸素をジルコニア酸素センサーにて検知し、少量の炭化水素ガスを添加することによって、雰囲気制御出来るようにした。雰囲気ガス中の微量酸素は、炭化水素ガスの添加により、容易に還元雰囲気とすることが出来る。また添加する炭化水素ガスは非常に微量であるため、反応によって生ずるCOガスやH₂ガスも少い。図-2にも示した通り、CO濃度が低くなれば炭素移行係数は小さくなり、材料表面の雰囲気から受ける影響はほとんどなくなる。

図-5には、表面炭素量の違う表面を持つ部品について、互いに浸炭も脱炭もすることなく焼入れ処理した例の、処理条件と処理後の表面組織を示す。このような部品は、浸炭後機械加工をしてから焼入れ処理する場合にしばしば見られるものであるが、従来は、浸炭や脱炭を防止するために、防炭剤を塗布して処理する

<処理品> 浸炭焼鈍後一部切削加工

<処理品材料> S C M 415

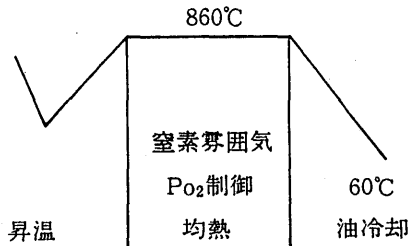
<処理条件>

浸炭炉 密閉型滴注式多目的炉
(BBH-50MkII)

雰囲気 窒素, プロパン

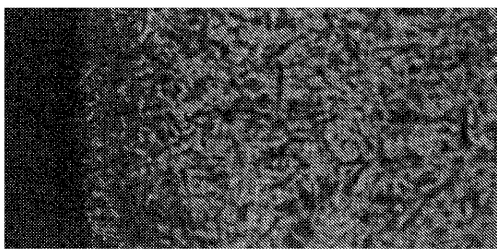
冷却 コールド焼入れ油

ヒートサイクル

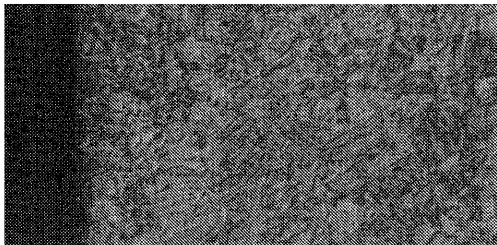


<結果>

表面組織写真 (×400, 3%ニタル腐食)



浸炭部表面



切削加工部表面

図-5 窒素雰囲気焼入れ処理

のが一般的であった。しかし、今回の設備では防炭剤等を一切使うことなく、完全に浸炭脱炭の影響を防止している。

おわりに

省資源省エネルギー、地球に優しく無公害、人に優しい労働環境と言った具合に、目標を持

って開発されてきた密閉型炉は、熱処理工場の全自動化、炎を出さない熱処理、 H_2 やCOなど爆発性のあるガスの取り扱いの安全化、焼入れ油の取り扱いの安全化などで大きな効果を生んできた。しかしこればかりでなく、密閉型炉は、熱処理品質上においても大きな効果が得られることが分かってきた。今後さらにこれらの効果は、広く応用されていくものと考えられるが、これまでに分かってきた部分についてまとめてみると次のようになる。

i) 不活性ガス雰囲気を 사용하여、浸炭、脱炭、酸化を防止した処理が可能となり、炭素濃度が違う表面を持った材料でも、性質を変えることなく処理。

ii) 処理の目的に合わせて、最適な雰囲気の選択が可能になり、昇温や均熱は N_2 、浸炭は滴注、拡散や温度降下は N_2 や N_2 ベース雰囲気を 사용하여、迅速で粒界酸化の少ない処理。

iii) 雰囲気の切替えが簡単で、1台の炉で浸炭や焼鈍、二次焼入れ、窒化などを連続的に処理。

iv) 雰囲気の立上りが速く、ガス置換のみで、シーズニングの操作が不要。

v) 油の劣化が少く、高温焼入れ油の使用による、歪の少ない焼入れ処理に対応、また安全性も高い。

vi) ベアリング鋼など合金鋼の熱処理を、 N_2 雰囲気で、粒界酸化を防止して処理。

<参考文献>

- 1) 工業加熱 24巻6号 高橋
- 2) 熱処理 17巻6号 小林, 椛沢
- 3) いすゞ技報 54号 荒井
- 4) 金属臨時増刊 '89 4月号 高橋
HTM 26-2 R. Meyer 他

* (むらかみ ひろみつ) : 営業本部技術室長

〒350 埼玉県川越市芳野台2-8-49

TEL 0492-25-5811