

「機械部品の複合熱処理に関する応用研究」

服 部 悟*¹

松 本 賢 治*²

【要 旨】

産業技術の進歩に伴って、機械部品には品質・信頼性の向上とともにコスト低減が求められることから、相乗効果を期待しガス軟窒化後に高周波焼入れを行う複合熱処理を検討した。また窒化後に再加熱の過程を設け窒化物の分解により生じる窒素の内部への拡散を利用し、表面の機械的性質の向上を試みた。

再加熱により表面の窒素濃度の上昇が見られたが同時に残留オーステナイトの生成による硬度の低下が起こった。SCM435において、ガス軟窒化後に高周波焼入れを行うと、それら単独処理に比べ表面硬度・圧縮残留応力の上昇がみられ複合熱処理の効果が確認された。

1. 緒 言

機械部品に求められる要求は、産業技術の進歩に伴って益々厳しくなり、また品質・信頼性の向上とともにコスト低減が求められている。その中で、鉄鋼材料の熱処理においては従来より浸炭・窒化・浸硫窒化・高周波焼入等による表面改質が行われているが近年それらの処理では十分に満足できないケースが出てきている。そこで、これまで単独で行われてきた各種熱処理を組み合わせれば、相乗効果が期待できるのではという考えのもといくつかの熱処理を組み合わせた複合熱処理が種々検討され、効果が確認されている。

京都府北部丹後地域では自動車・オートバイ部品等の加工を行っており、高周波焼入装置を導入し、品質向上に努めているが、さらなる高度化・高付加価値化をめざしガス軟窒化後高周波焼入れを行う複合熱処理の効果を検討する。またガス軟窒化後表面に生成する化合物層の窒素を利用し、ガ

ス軟窒化後再加熱を行うことで、窒化物の分解、窒素の内部への拡散を促進し、その後の高周波焼入れによる窒素濃度を高めたFe-C-N系マルテンサイトの生成により機械的性質の向上を試みた。

2. 実験方法

本実験では、供試材として、普通炭素鋼であるS45Cと機械構造用合金鋼であるSCM435を用いた。化学成分を表1に示す。

ガス軟窒化は、加熱温度570℃、処理時間3hで行い処理後は油冷した。その後の高周波焼入れは有効硬化深さ1.0mmを目標に行った。また、比較のため耐摩耗性に有効とされる窒化後に加熱温度300℃、加熱時間60minで焼鈍した試験片を追加した。

窒素化合物層を分解し、窒素の内部への拡散を促進するための再加熱条件として、予備試験により有効性が予測された700℃×60min、800℃×3min、10minを設定し窒素気流中で電気炉により加熱を行った。

評価方法として、金属顕微鏡による組織観察、

* 1 材料技術課 技師

* 2 主任研究員

マイクロビッカース硬度計による表面硬度分布の測定、EPMAによる表面窒素濃度分布の測定、および表面残留応力測定を行った。X線残留応力測定条件を表2に示す。

表1 供試材の化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
S45C	0.46	0.16	0.74	0.027	0.015	0.16	-	bal.
SCM435	0.34	0.34	0.80	0.026	0.015	1.00	0.17	bal.

表2 X線残留応力測定条件

ターゲット	Cr	測定方法	sin2 法
回折面	Fe211	角	0,15,30,45
0	78.2deg.	ヤング率	210GPa
管電圧	30kV	ポアソン比	0.28
フィラメント電流	10mA	応力定数	-297MPa/deg.

3. 実験結果および考察

表3および表4に各処理後の表面の金属組織を示す。ガス軟窒化後の最表面には白く見える化合物層がS45Cで10~20 μm、SCM435で10 μm程度生成している。次に再加熱を行わずにそのまま高周波焼入を行った組織は、高周波加熱により化合物層の分解が始まり、母材との界面で拡散の形跡が見られるが、短時間加熱のため完全には分解していない。化合物層下は窒素含有微細マルテンサイトが生成しており、高周波焼入単独に比べビッカース硬度で100程度硬さが上昇している。

次に、ガス軟窒化後に再加熱した後高周波焼入したものは、700、800とも表面の化合物層は分解し残っていない。またマルテンサイト組織は高温・長時間ほど粗大化している。

図1、2に各処理後の表面窒素濃度分布を示す。これによると今回のガス軟窒化による窒素の拡散層深さはS45C、SCM435とも、200 μm程度であ

り、拡散層の窒素濃度はSCMの方が高くなっているがこれは窒化物を生成する合金元素のCrの影響と思われる。また再加熱をしていないものは最表面に化合物層のピークがみられるが、再加熱したものは化合物層は完全に分解しているのは組織写真のとおりである。再加熱処理したものでは、化合物層の分解で生じた窒素が内部に拡散した窒素高濃度域がみられ、S45Cでは700 × 60minの再加熱で70 μm、800 × 10minで100 μm程度である。SCM435では800 で処理したものに少し窒素濃度の上昇がみられる程度であった。

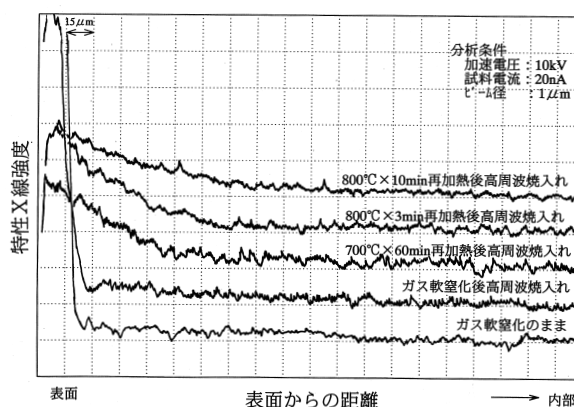


図1 各処理後の窒化層のN濃度分布 (S45C)

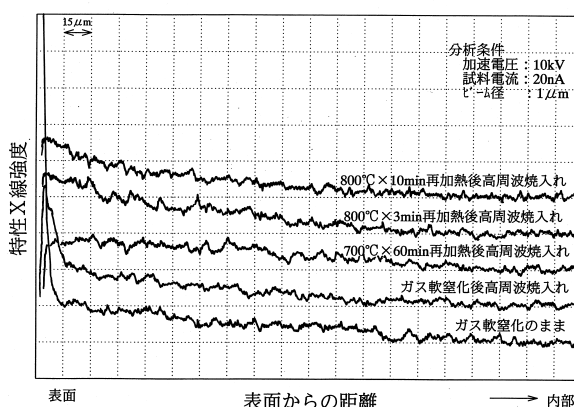


図2 各処理後の窒化層のN濃度分布 (SCM435)

図3、4に各処理後高周波焼入したものの、表面からの硬度分布を示す。ガス軟窒化のみのものは、Cr窒化物の生成するSCM435の方が表面硬度

表3 各処理後の組織 (S45C)

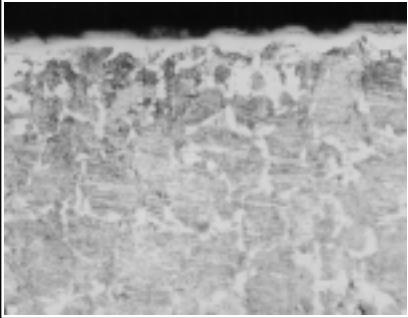
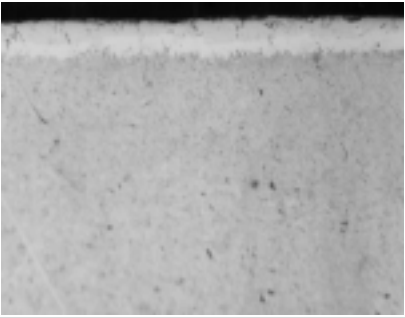
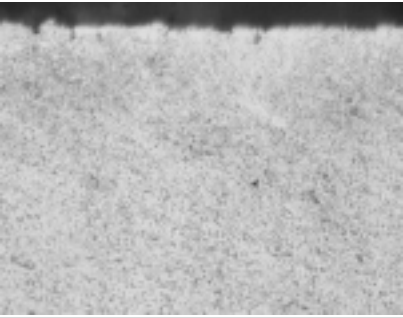

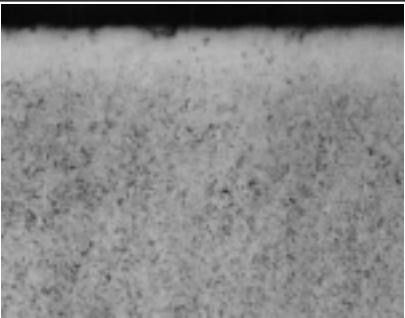

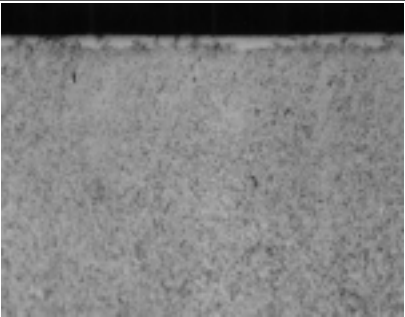

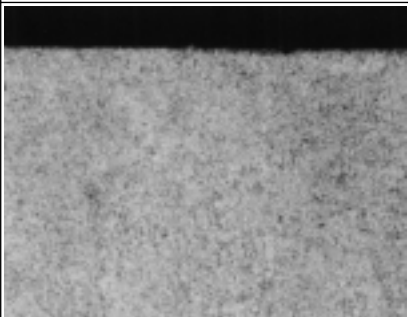
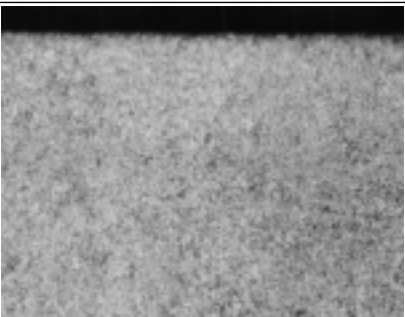
ガス軟窒化のまま	ガス軟窒化後高周波焼入れ	700 × 60min再加熱
		
800 × 3 min再加熱	800 × 10min再加熱	再加熱後高周波焼入れ済 3%ナイトール腐食 50 μm
		

表4 各処理後の組織 (SCM435)

ガス軟窒化のまま	ガス軟窒化後高周波焼入れ	700 × 60min再加熱
		
800 × 3 min再加熱	800 × 10min再加熱	再加熱後高周波焼入れ済 3%ナイトール腐食 50 μm
		

が高くなっている。次にガス軟窒化後高周波焼入れを行うと窒化による拡散領域に対応して硬度の上昇がみられた。ガス軟窒化後にそのまま高周波

焼入れを行ったものと、再加熱後に高周波焼入れを行ったものを比べると、800 × 10minで再加熱したものにS45C、SCM435ともに表面20 μmの

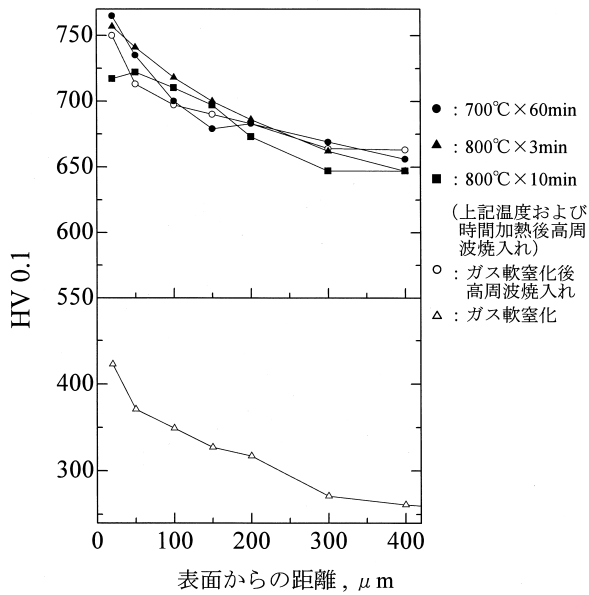


図3 各処理後の表面硬度分布 (S45C)

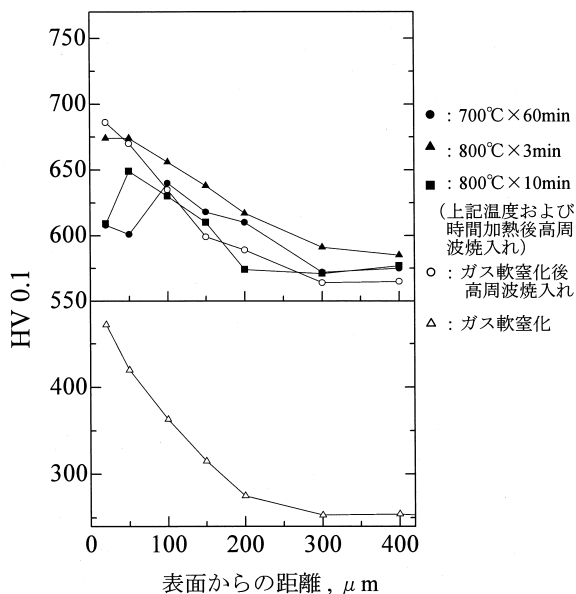


図4 各処理後の表面硬度分布 (SCM435)

位置で硬度の低下がみられた。これは残留オーステナイトが生成したためだと思われ、EPMAによる窒素濃度分布で表面窒素濃度が高くなっている条件であった。図5、6に各処理後の表面残留応力を測定した結果を示す。窒素濃度および硬度分布の結果より再加熱処理した試験片の表面圧縮残留応力の増加を予想したが、S45Cでは高周波焼

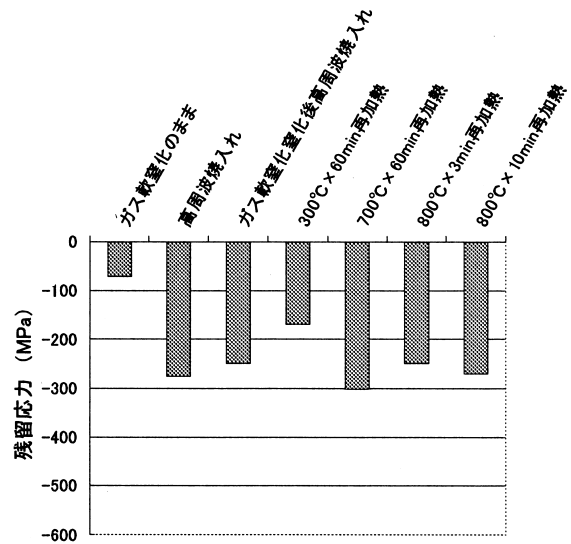


図5 各処理後の表面残留応力 (S45C)

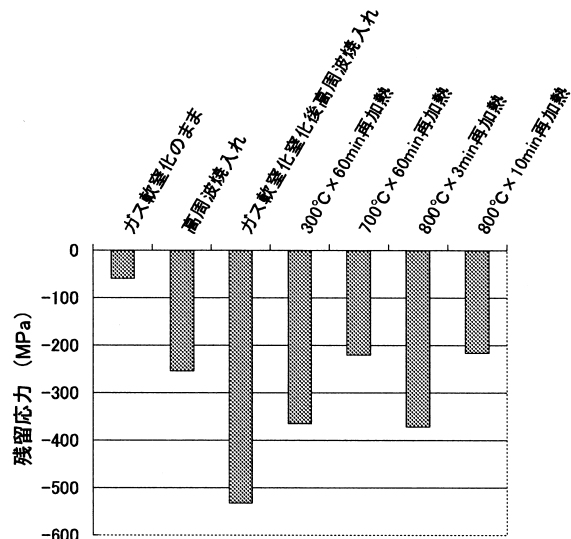


図6 各処理後の表面残留応力 (SCM435)

入れを施した試験片とほぼ同じ250MPa前後で再加熱の影響は認められなかった。しかしSCM435ではガス軟室化後高周波焼入れしたもので圧縮残留応力が50MPa以上で上昇し再加熱により圧縮残留応力の上昇がみられた。

4. まとめ

組織および窒素濃度

・S45Cでは、ガス軟室化により白層が生成し再加熱により白層の分解により生じる窒素の内部

への拡散が認められた。

- ・SCM435では、ガス軟窒化の条件で、Crの影響により内部まで窒素が拡散しており、その後の再加熱の効果は少なかった。

硬度分布

- ・複合処理により窒素拡散領域で硬度が上昇するが、再加熱過程を設けると表面窒素量が高まり、残留のため表面硬度が低下する。

残留応力

- ・SCM435において、ガス軟窒化後高周波焼入れをすると残留圧縮応力が増加した。

(謝 辞)

本研究を行うにあたり、ご助言およびサンプル作製にご協力をいただきました財団法人 応用科学研究所 桑原秀行氏に深く感謝申し上げます。