

# 機械部品の複合熱処理に関する研究 (Ⅱ)\*<sup>1</sup>

服 部 悟\*<sup>2</sup>

中 山 恭 利\*<sup>2</sup>

市 村 恒 人\*<sup>3</sup>

## 【要 旨】

ガス軟窒化処理と高周波焼入を組み合わせた複合熱処理は、それらの単独処理に比べ表面硬度が上昇するなど機械的性質が向上するが、さらに軟窒化により表面に生成する化合物層 (Fe 窒炭化物) を有効利用し、ガス軟窒化処理後に再加熱を行うと化合物層の分解・拡散により拡散層の窒素量が増加し、これを焼入することでさらに硬度が上昇し、耐摩耗性も向上した。

## 1. 緒 言

産業技術の進歩、また信頼性の向上・コスト低減の観点から、自動車・産業用機械はもとよりあらゆる機械部品に求められる要求はますます厳しくなっている。その中で、従来より浸炭、窒化、高周波焼入等の熱処理やメッキなどによる表面改質によりその要求に答えてきたが、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。また近頃、TiN、CrN、DLC 等の高硬度で摩耗特性を飛躍的に向上させた処理が工具等の一部の高付加価値部品に見られるが、低コストを求められる一般機械部品に適用するのは今のところ難しい。

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て行う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の機械金属業界では機械部品の高付加価値化を図るため、高周波焼入を導入しているが、さらなる高度化をめざし昨年度、ガ

ス軟窒化後高周波焼入を行う複合熱処理の可能性を検討し一定の効果が得られた。しかし、ガス軟窒化により生成する表面化合物層は窒素を 8 ~ 9 %<sup>(1)</sup> 含んでおり、耐摩耗性・耐食性に有効であるが、高周波焼入を行うと一部剥離し効果を失っていた。そこで、表面化合物層の窒素を有効に利用し、ガス軟窒化後再加熱を行い窒化物の分解・窒素の内部への拡散を促進させ、その後の高周波焼入により窒素濃度を高めた 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、普通炭素鋼である S45C を用い、ピン状 (φ7.98×20)、ブロック状 (15×15×15) に加工しそれぞれ、摩擦摩耗試験用、組織観察・硬度分布測定用とした。

ガス軟窒化は、加熱温度 570、加熱時間 3 h で行い、その後の高周波焼入は有効硬化深さ 1.0 mm を目標に行った。

化合物層の分解と、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、加熱温度を Fe-N 系の共析点付近の 600、Fe-C 系の A1 点直下の 700、オーステナイト域の 800、加熱時間を 3、

\* 1 地域産業集積活性化計画支援事業

\* 2 材料技術課 技師

\* 3 材料技術課 主任研究員

15、30min とし、電気炉により加熱処理を行った。

評価方法として、金属顕微鏡による組織観察、マイクロビッカース硬度計（島津製作所 HMV 2000）による表面硬度分布の測定、EPMA（島津製作所 EPMA - 8705）による表面窒素濃度分布の測定、ピンオンディスク型動摩擦摩耗試験機（高千穂精機 TRI - S）による摩耗試験を行った。なお、摩擦摩耗試験条件は、印荷加重：50N、摩擦速度：4 m/s、摩擦距離：3000m、相手材：SKD 11(HRC61) とした。

### 3 . 実験結果および考察

表 1 にガス軟窒化後の組織を示す。最表面には白く見える化合物層が10～20 $\mu$ m 生成している。次ぎに再加熱を行わずにそのまま高周波焼入を行った組織を下に示す。高周波加熱により化合物層の分解が始まり、母材との界面では拡散の形跡が見られるが、短時間加熱のため十分には進行していない。前回報告のように化合物層下は窒素含有微細マルテンサイトになっており、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。

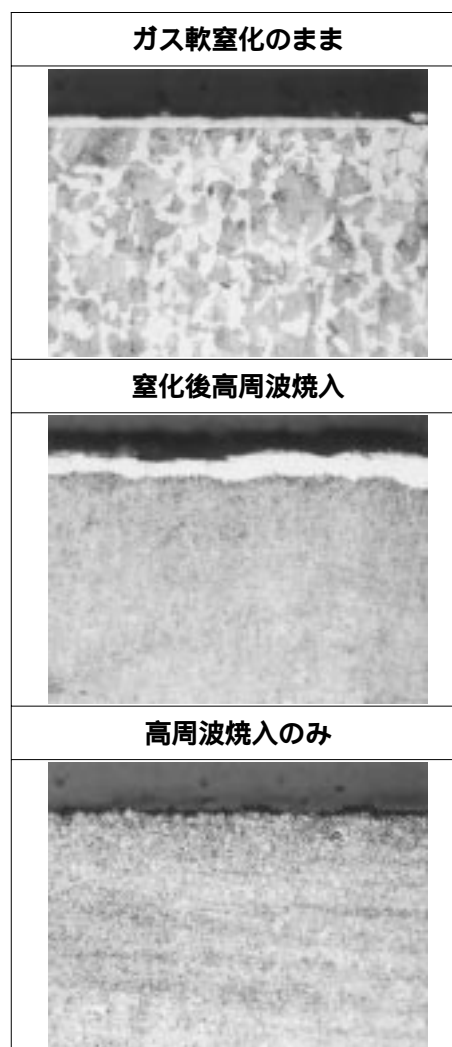
表 2 にガス軟窒化後600、700、800 に3、15、30min 保持した組織を示す。

600 では、いずれの時間においても組織上は化合物層の分解・拡散は確認できない。700 になると化合物層の分解と拡散が同時に進行している様子が確認でき、3 min 保持の写真では化合物層と母材の間に  $\alpha$ Fe と  $\gamma$  の混合組織が観察される。700 15min 30min 保持および加熱温度800 ではもはや化合物層は完全に分解しており、最表面は  $\alpha$ Fe と  $\gamma$  の混合組織である。

表 3 に、再加熱後高周波焼入した組織を示す。化合物層が残っているものでは、さらに分解と拡散が進み、界面が不明瞭になり、また何れの試料

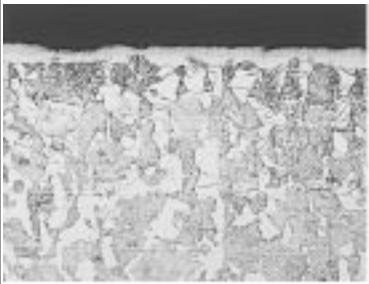
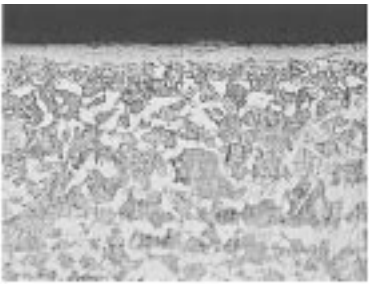
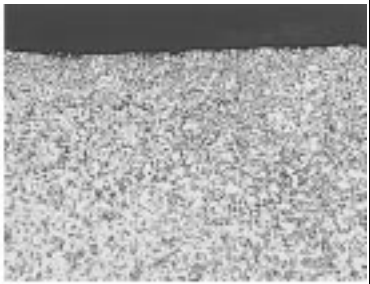
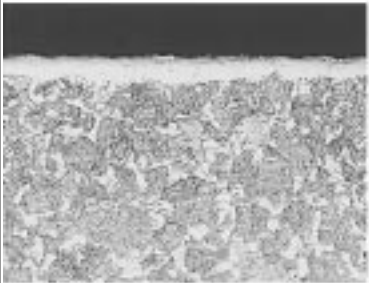

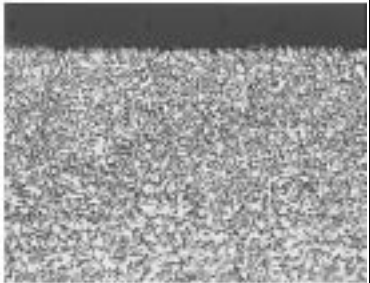
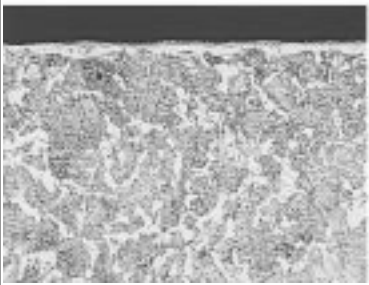
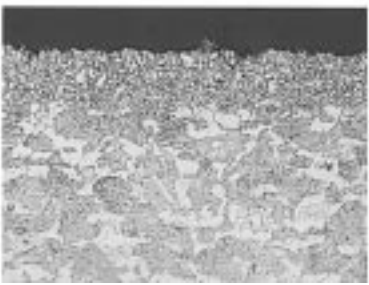
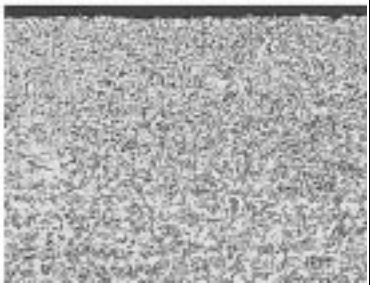
においても母材は窒素を含む微細マルテンサイトである。

表 1 各処理後の組織



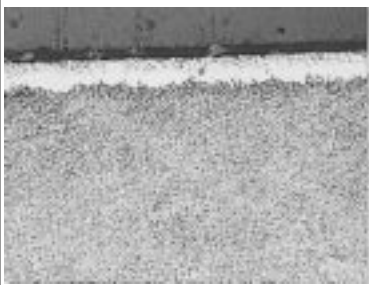
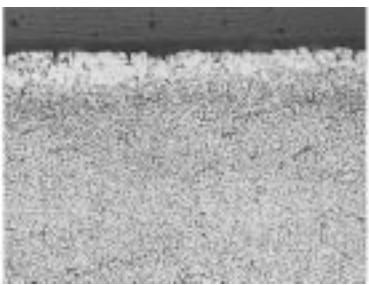
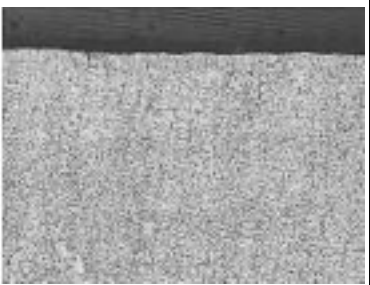
50 $\mu$ m

表2 再加熱後の組織

		再加熱温度、		
		600	700	800
保持時間、min	3			
	15			
	30			

50μm

表3 再加熱後高周波焼入した組織

		再加熱温度、		
		600	700	800
保持時間、min	15			

50μm

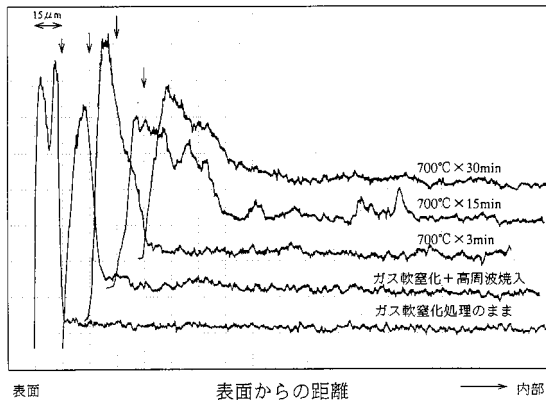


図1 窒化層のN濃度

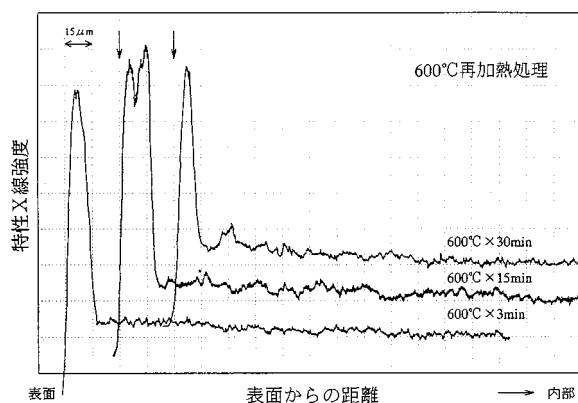


図2 窒化層のN濃度

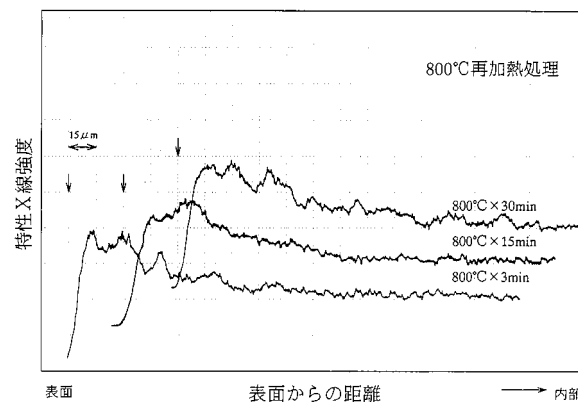


図3 窒化層のN濃度

図1～3にガス軟窒化後各温度・保持時間で加熱処理した後の表面窒素濃度分布を示す。何れの保持温度でも、時間に伴って最表面のピーク強度は分解により減少するが内部拡散層の強度が増加し、拡散深さも若干増加している。

600 では、ガス軟窒化処理温度である570 より  $\alpha$ Fe への窒素の固溶限が増加するため拡散層

での窒素濃度が上昇している。

700 においては、化合物層と母材の間に生成している  $\alpha$ Fe と  $\gamma$  の領域で高い窒素濃度を示している。

800 では分解・拡散が活発になり、表面に化合物層のピークは観察されない。また表面付近の拡散層の窒素濃度は各保持時間でほぼ同じであるが、これは800 での  $\gamma$ Fe への窒素の固溶限に対応していると思われる。

図4に再加熱処理後高周波焼入した試料の、表面からの硬度分布を示す。すべての処理条件で、拡散による窒素量の増加によって表面拡散層全域において、再加熱処理をしないものに比べ硬度が数10～80HV程度上昇している。しかし700 × 3 min、700 × 15minの処理をしたものでは最表面において、残留オーステナイトの生成によるものと思われる硬度の低下が見られる。図5に表面下20 $\mu$ m位置での窒素含有量と硬度の関係を示すが、Fe-C-N系マルテンサイトの硬度は、炭素量とも関係してくると考えられるがこの場合窒素量2%付近で最大値を示し、それ以上の濃度では残留オーステナイトが生成し硬度低下が起こると思われる。しかし、700 × 30minになると窒素の外部への放出と内部への拡散ため表面窒素濃度が低下し高い硬度を示している。

図6に摩擦摩耗試験の結果を示す。今回の摩擦摩耗試験条件では各温度・時間条件での傾向は明らかではないが、再加熱処理をしたものは、ガス軟窒化後分解・拡散過程を設けず高周波焼入したものに比べ耐摩耗性が30～40%向上している。また、600 で再加熱処理した試料の表面には化合物層が残存しており使用条件によっては、耐焼付性等の効果が期待できる。

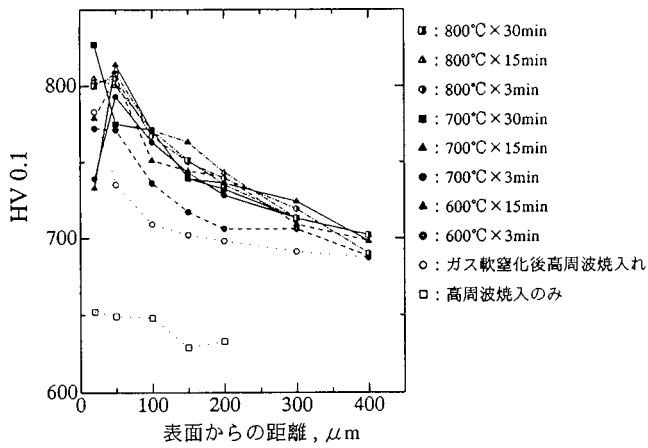


図4 表面マルテンサイト硬度に対する再加熱処理の効果

#### 4.まとめ

ガス軟窒化後、化合物層の分解・窒素の拡散過程を設けることにより、

- (1) 拡散層の窒素濃度が増加し、表面硬度が～80 HV 程度上昇し、摩耗特性の向上がみられた。
- (2) しかし、700 × 3、15min の加熱では焼入時に残留オーステナイトが生成し表面硬度が低下する。

#### 【文献】

- 1) 高瀬、中村、牧野：鉄と鋼、60、11(1974)、264

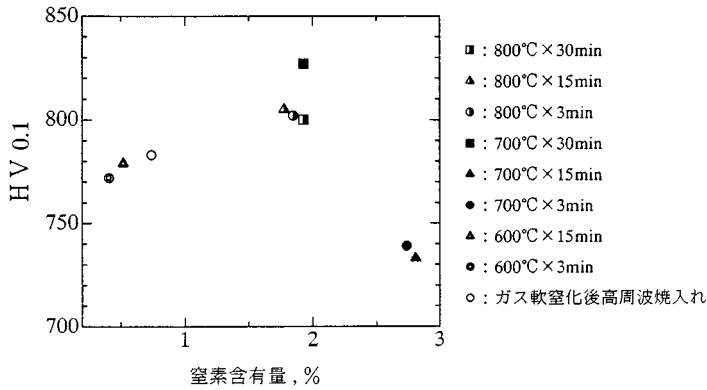


図5 表面下20μm 位置での窒素含有量と硬度の関係

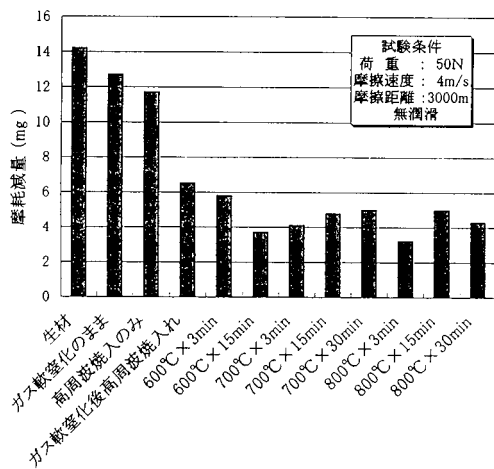


図6 摩擦摩耗試験結果