

# 機械部品の複合熱処理に関する研究\*1

中山 恭利\*2

服部 悟\*2

矢野 博\*3

市村 恒人\*4

## 【要 旨】

鉄鋼材料熱処理技術の高度化、高品質化を目的として、ガス軟室化と高周波焼入の2種類の表面硬化技術を組み合わせた複合熱処理技術について検討した。

軟室化処理後高周波焼入することにより、表面硬度は上昇し、微細マルテンサイト焼入組織が得られた。

大越式摩耗試験機による摩耗試験結果では、特に明瞭な耐摩耗性の向上に結びつかなかったが、SCM、SCrなどの合金鋼では、一部の摩耗条件でわずかではあるが向上がみられた。

## 1 緒言

丹後北部地域における機械金属業界での高付加価値化として高周波焼入が導入されているが、この熱処理技術のさらなる高度化の方向として、ガス軟室化と高周波焼入の組み合わせについて検討した。

歯車や軸受などの機械部品に使われる鉄鋼材料は、耐摩耗特性を要求される場合が多く、現在その特性を上げるために、表面焼入処理や室化処理などの各種熱処理による表面硬化法が適用されている。

今回、機械部品の原材料である数種類の鉄鋼材料に対して、表面硬化法のうち比較的低コスト、短時間に加工できる方法として、高周波焼き入れとガス軟室化処理を選択し、それらを複合した金属

表面硬化技術を取り上げ、その効果についての実験を行った。

具体的には、初めにガス軟室化処理を行い、表面部に高硬度の窒化物を形成させ、次に高周波焼き入れをすることで、窒化物による硬化層をさらに硬化させ、また、その下地も硬化させることにより、その複合効果で耐摩耗性などの特性を検討した。

## 2 実験方法（試料作成）

鋼系材料であるクロムモリブデン鋼（SCM415）、クロム鋼（SCr420）、炭素鋼（S45C、S25C、S15C）のそれぞれに表1の条件でガス軟室化処理を行った後、さらにその部分に硬化深さ1mmとなるよう表2の条件で高周波焼き入れ処理を行った。

上記試料（複合熱処理材）に加えて、比較のために非硬化処理材（生材）及びガス軟室化処理、高周波焼入について一方の処理のみ行った鋼材の合計4種の試料に対して金属組織観察、ピッカース

\*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 技術部 部長

\*4 材料技術課 主任研究員

硬度分布及び大越式摩擦摩耗試験を行った。

**表 1 ガス軟窒化処理条件**

化合物層深さ	20 [ $\mu\text{m}$ ]
拡散層深さ	200 [ $\mu\text{m}$ ]
加熱温度	570 [ ]
加熱時間	180 [ min. ]
冷却方法	油冷

**表 2 高周波焼入条件**

電流	4 [ A ]
格子電流(IP)	0.4 [ A ]
電圧	7 [ kV ]
加熱時間	移動焼入
冷却剤	水
周波数	150 [ kHz ]

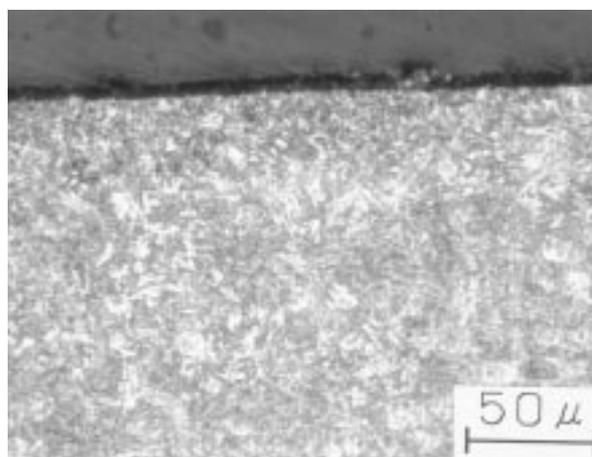
各鋼種の組織写真の結果を写真 1 - 1 ~ 写真 5 - 3 に示す。

窒化及び複合処理の白色表面層が窒素との化合物層で、また窒化処理や高周波焼入単独の物より複合処理の方がマルテンサイト組織が微細化している。

SCM、SCr 材は SC 材と比べて化合物層が薄い。これは合金元素である Cr や Mo が窒化と親和力があり、内部に拡散しやすく化合物層が薄くなったものと思われる。

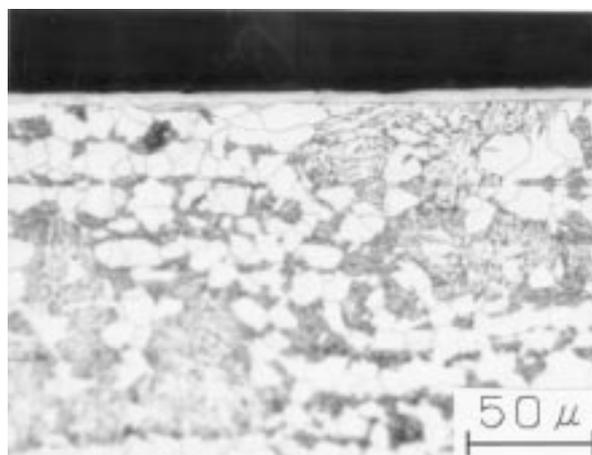
また、SCM の写真 1 - 3 のように窒化による化合物層が高周波焼入によって剥離している箇所が多く見られた。これはガス軟窒化処理後の高周波焼入後の急冷時、化合物層と下地のマルテンサイト層との熱膨張係数の差によって割れが生じたものと思われる。他の試料についても同様に一部剥離が観察された。

また、複合熱処理における化合物層と下地マル



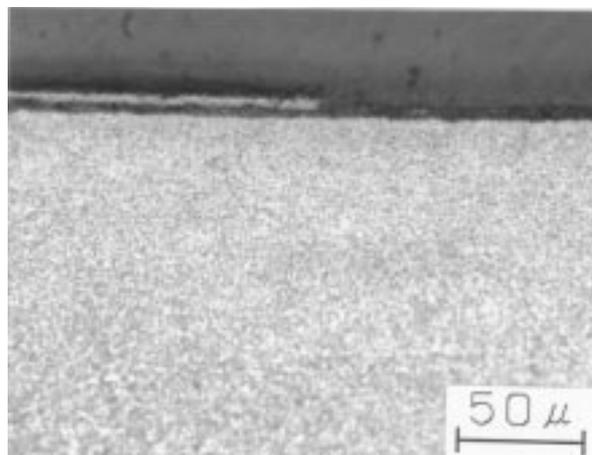
**写真 1 - 1**

材質：SCM415 処理：高周波焼入



**写真 1 - 2**

材質：SCM415 処理：ガス軟窒化



**写真 1 - 3** 材質：SCM415

処理：複合熱処理

(ガス高周波焼入 + 軟窒化)

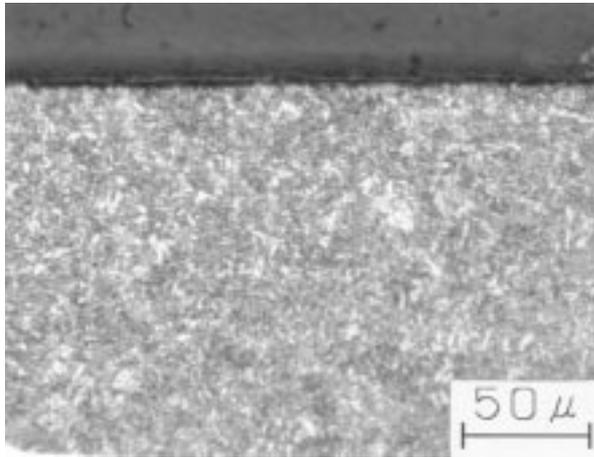


写真 2 - 1

材質：S45C 処理：高周波焼入

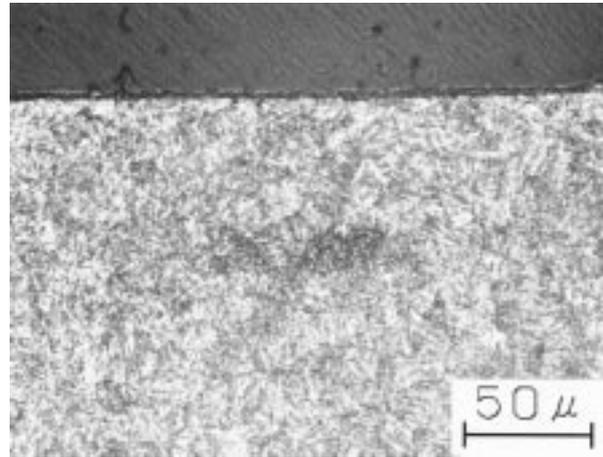


写真 3 - 1

材質：S45C 処理：高周波焼入

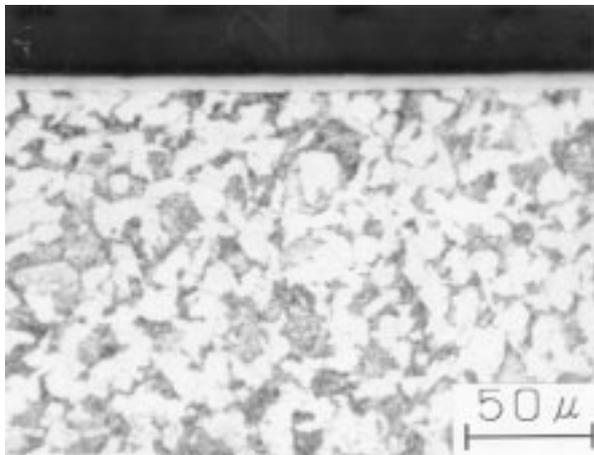


写真 2 - 2

材質：S45C 処理：ガス軟室化

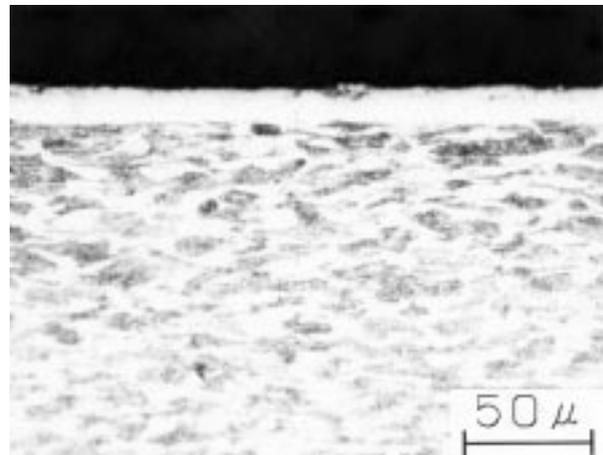


写真 3 - 2

材質：S45C 処理：ガス軟室化

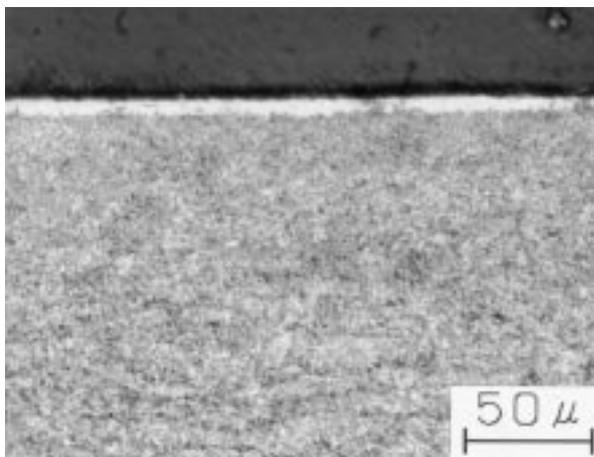


写真 2 - 3 材質：S45C  
処理：複合熱処理  
(高周波焼入 + ガス軟室化)

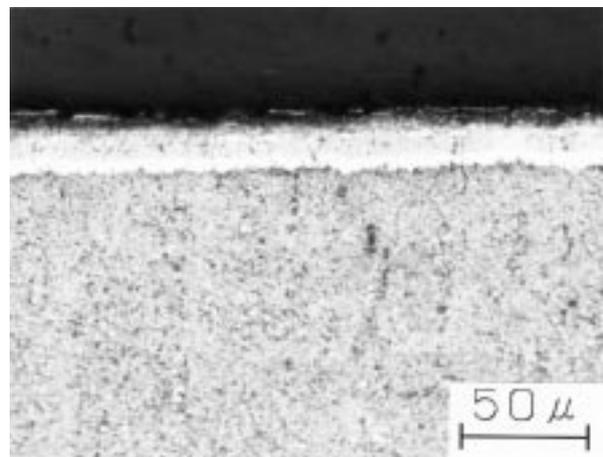


写真 3 - 3 材質：S45C  
処理：複合熱処理  
(高周波焼入 + ガス軟室化)

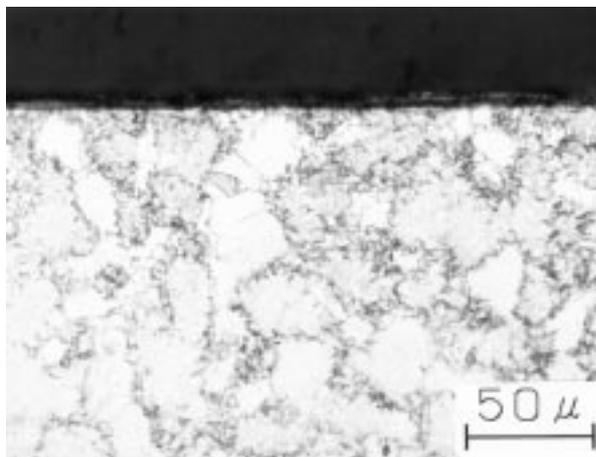


写真4 - 1

材質：S25C 処理：高周波焼入

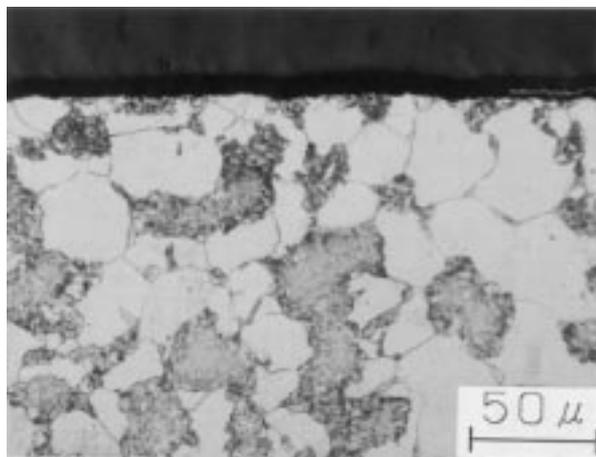


写真5 - 1

材質：S15C 処理：高周波焼入

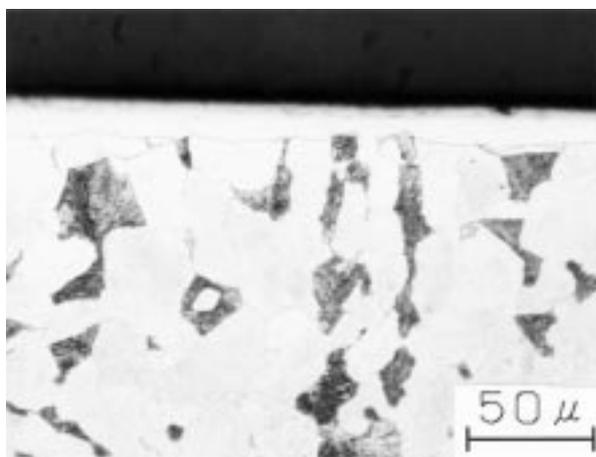


写真4 - 2

材質：S25C 処理：ガス軟室化

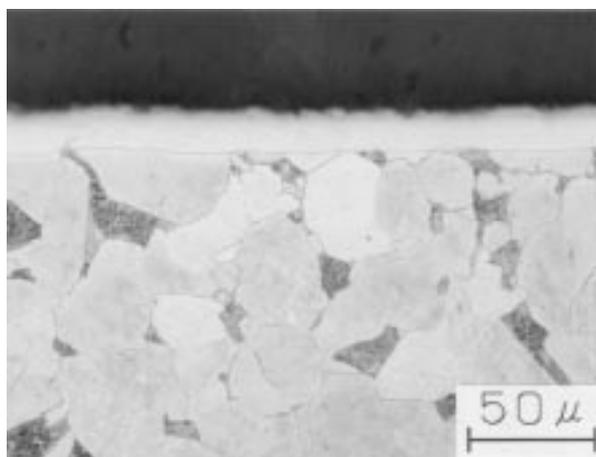


写真5 - 2

材質：S15C 処理：ガス軟室化

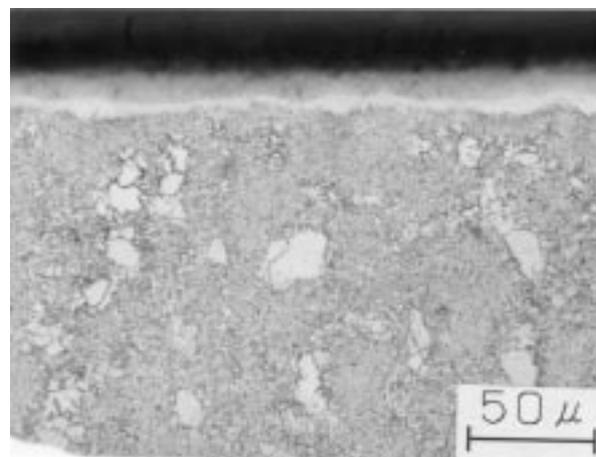


写真4 - 3 材質：S25C  
処理：複合熱処理  
(高周波焼入 + ガス軟室化)

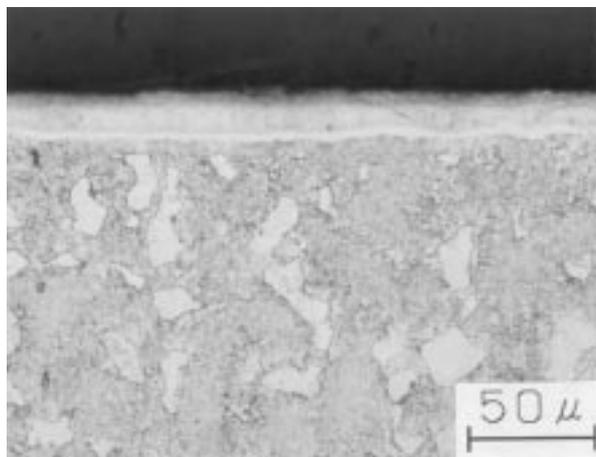


写真5 - 3 材質：S15C  
処理：複合熱処理  
(高周波焼入 + ガス軟室化)

テンサイトとの境界はガス軟室化だけの場合と比べ、高周波加熱による化合物層の一部溶け込みにより、その境界線が不明確となっている。

### 3.2 硬度分布

SCM及びSCrについて金属組織試験と同様の断面に対してピッカース硬度計により表面からの硬度分布を測定した。

各鋼種の硬度分布の結果を図1～図5に示す。  
各鋼種ともガス軟室化と高周波焼入を組み合わせ

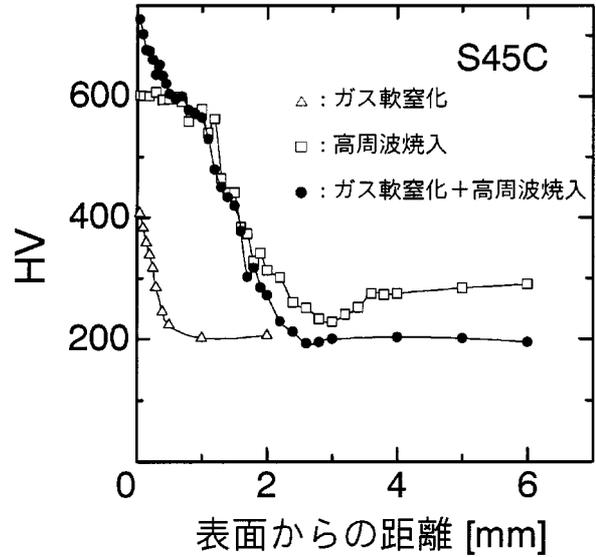


図3 硬さ試験結果

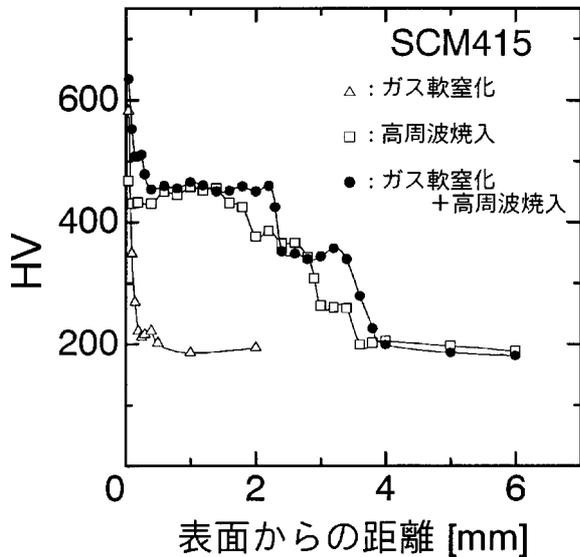


図1 硬さ試験結果

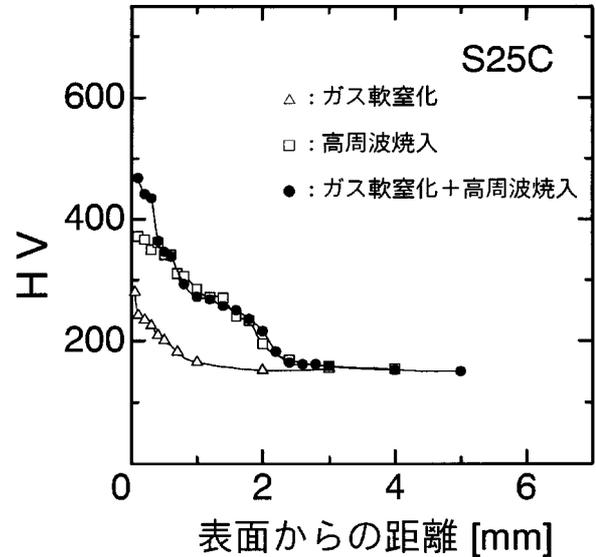


図4 硬さ試験結果

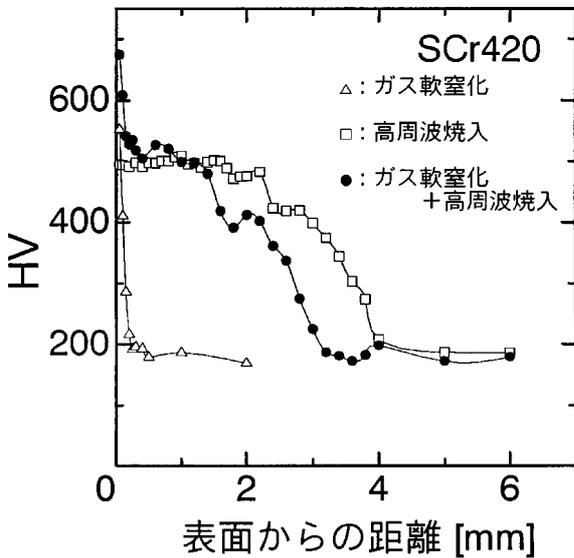


図2 硬さ試験結果

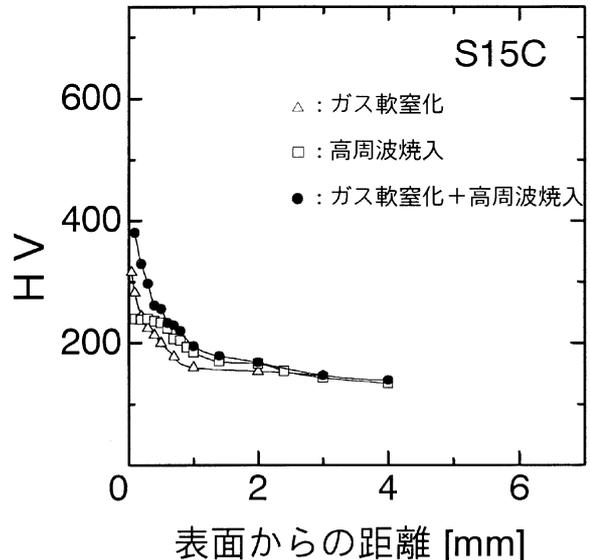


図5 硬さ試験結果

た特性が得られ、いずれの鋼種でも複合熱処理による硬度上昇が認められた。

### 3.3 摩擦摩耗試験

各鋼種について、大越式迅速摩耗試験機で表2の条件により、摩擦摩耗試験を行った。その結果を図6～図10に示す。

これらの図は各摩擦速度に対する摩耗量を表しており、値が低いほど対摩擦摩耗特性に優れていることを示している。

表3 摩擦摩耗試験 試験条件

試験方法	大越式迅速摩耗試験
最終荷重	$P_o = 4.3[\text{kgf}]$
摩擦距離	$l_o = 200[\text{m}]$
摩擦速度	$V = 0.067 \sim 1.97[\text{m/s}]$
相手材	SKD11 (HRC61.5)
摩耗条件	乾式

全体的にS15C材を除き、低速域(0.067 m / s)では複合熱処理材の場合、摩耗量が多い。これは、複合熱処理した材料表面の酸化皮膜の荒れている

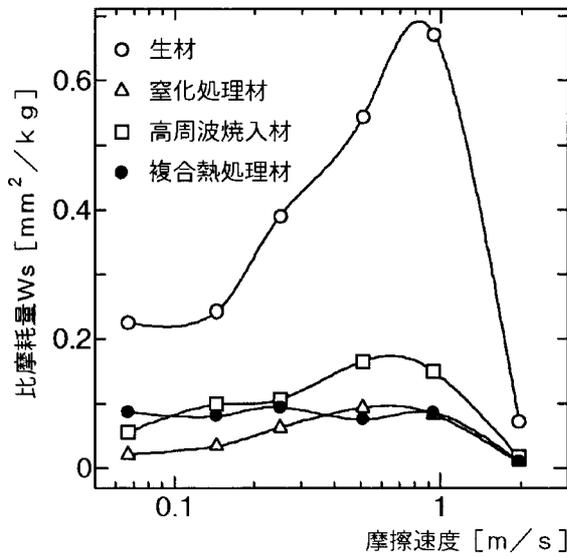


図6 摩擦速度と比摩耗量の関係 (SCM415)

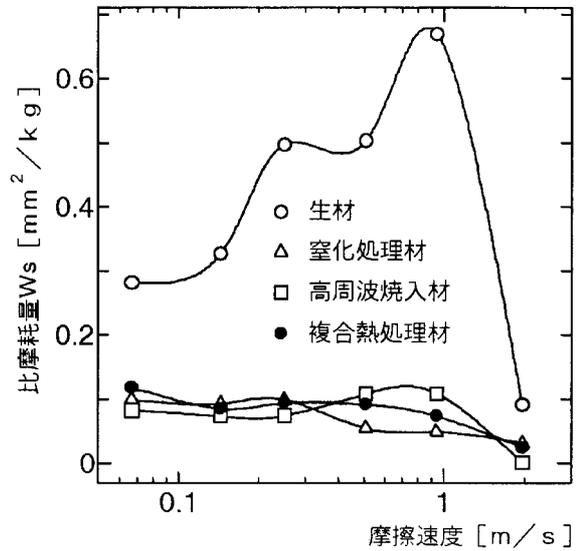


図8 摩擦速度と比摩耗量の関係 (S25C)

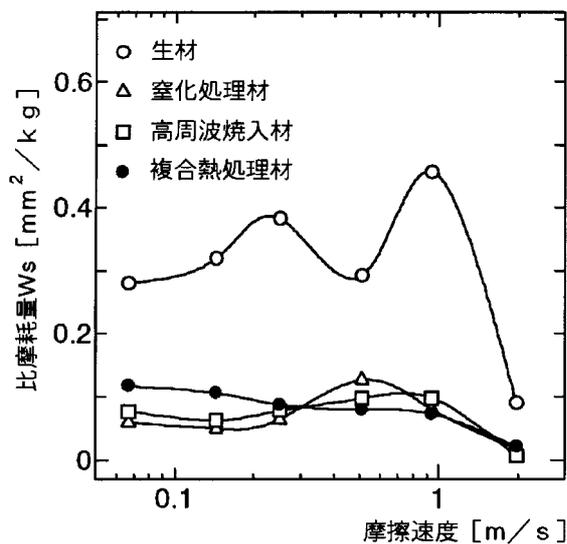


図7 摩擦速度と比摩耗量の関係 (SCr420)

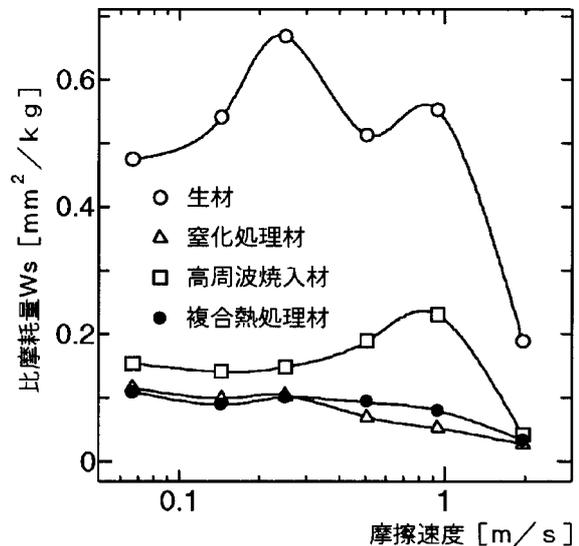


図9 摩擦速度と比摩耗量の関係 (S15C)

状況が強く、摩擦係数が関与したものと考えられる。S15Cでは、低炭素含有量のためフェライト量が多く、高周波焼入だけの場合、摩耗量が多い。

中速域 (0.51 ~ 0.94 m / s ) においては合金元素を含まない S15C、S25C 材の窒化処理のみの場合が最も摩耗量が少なかった。これは厚い窒化化合物層の効果によるものと思われる。SCM、SCr 材の場合では、わずかであるが複合熱処理材が最も摩耗量が少なかった。

#### 4 結言

本来の目的である「摩耗特性の向上」に対して、S15Cでは0.25 m / s 以下の摩耗速度で、SCM415 やSCr420の合金鋼では0.51 m / s の摩耗速度で改善が見られた。

また、今回試験を行った全ての鋼種で表面部は複合効果により、ガス軟窒化、高周波焼入単一処理と比べビッカース硬度が高く、微細な焼入組織が得られた。

しかし、全体的な摩耗条件では単一の熱処理に比べ、摩耗量はすべて減少する傾向ではなかった。

その原因として考えられることは、今回の複合熱処理によって表面状態の酸化による表面荒れ、また、硬化層が剥離しやすくなっていることが考えられるが、原因の確認までは至らなかった。

今後、窒化層の深さや高周波焼入条件を調節するなど最適な条件を探ることにより硬化層が剥離しにくい材質を得て、耐摩耗性の向上を図る必要がある。

#### (参考文献)

- 1) JISハンドブック鉄鋼 , (日本規格協会)
- 2) 大越式迅速摩耗試験取扱説明書 (理化学研究所)
- 3) 矢野博・永松太郎・川邊正太郎: 京都府立中小企業総合指導所技報 (No.3) 真空熱処理による合金工具鋼・ステンレス鋼の耐摩耗性に関する研究」
- 4) 矢野 博・上田 薫: 京都府立中小企業総合指導所技報 (No.5) 「炭素工具鋼及び合金工具鋼の耐摩耗性」