

## 超サブゼロ処理された SUJ2 の耐摩耗性

室蘭工大 ○大矢亮三, 田頭孝介 苫小牧高専 高澤幸治  
要旨

高炭素軸受鋼 SUJ2 を水焼入後, 約 100K で超サブゼロ処理を施し 453K で低温焼戻しをした後, pin-on-disk 型磨耗試験機で磨耗量を測定した. 本研究では, 超サブゼロ処理後の耐摩耗性に及ぼす溶体化処理時間の影響を調べ, 硬さ, 残留オーステナイト量, 結晶組織の観点から検討したことを報告する.

## 1. 緒言

転がり軸受は自動車などの各種車両, 電気製品, その他あらゆる機械部品の駆動伝達系の回転部分を支える重要な機械要素として利用されている. この様な材料には高炭素鋼が用いられているが, 特に 1.0%C, 1.2%Cr を含む高炭素クロム鋼 SUJ2 (JISG4805) が用いられることが多い.

炭素を約 0.8mass% 以上含む高炭素鋼を焼入すると, 鋼を冷却する際にオーステナイトが 100% マルテンサイトに変態する温度である Mf 点が 150K と室温よりはるかに低いために焼入れ後の組織には室温で不安定な残留オーステナイト (以下  $\gamma_R$ ) が存在する. この  $\gamma_R$  は 5vol% 程度ならば焼割れを防ぐなどの利点があるが, 約 7vol% 程度存在するとマルテンサイトに比べ柔らかいことから強度や耐摩耗性が低下, 室温で不安定な相であるために長時間使用時における寸法変化などの要因と考えられている. そこで, Mf 点以下まで冷却することで  $\gamma_R$  をマルテンサイト変態させる超サブゼロ処理が提案されている.

本研究ではオーステナイト化処理時間を変化させて熱処理した SUJ2 に超サブゼロ処理を施し耐摩耗性を検討した.

## 2. 実験方法

供試材料として高炭素クロム軸受鋼 SUJ2 (炭化物球状化焼鈍材,  $\phi 32$ ) を用いた. 化学成分は mass% で表すと 1C-0.2Si-0.4Mn-0.1P-0.05S-1.51Cr-0.02Ni-0.01Cu-0.01Mo-bal. Fe である. この丸棒材から短冊状の試験片 (30×10×5) を切り出した. 熱処理は 1123K でオーステナイト化時間を 1.2ks と 7.2ks と変化させた. その後, 313K で水焼入し, これらに超サブゼロ処理 (液体窒素浸漬, 77K, 3.6ks) を施したものとそうでないものを作成し, 最終的には 453K で焼戻した.

得られた試験片は, 断面を鏡面研磨後, ビッカース硬度計で硬さを測定した. また, その面をナイタールで腐食し, 走査電子顕微鏡 (SEM) で組織観察した.  $\gamma_R$  は, 焼鈍まま, 及び焼戻後の試験片, すなわち磨耗試験に供する試料について X 線回折法で測定した. 磨耗試験は焼鈍まま, 及び焼戻後の各試料について, 自作の pin-on-disk 型磨耗試験機を用いて行った. 主な試験条件は, 乾式, 磨耗速度:

0.295m/s, 荷重: 122.5N, 相手材: 超硬合金 (1400HV) である. 磨耗量は精密天秤にて測定し, 比磨耗量を計算した.

## 3. 実験結果

## 3-1 磨耗試験

Fig.1 に磨耗距離と磨耗量の関係を示す. グラフで Q は焼入, C は超サブゼロ処理, T は焼戻しを示している. 初期磨耗の影響を小さくするため, 予め 10km 摩擦させた後, 測定した値である.

図より, 焼鈍まま試料の磨耗量が最も著しい. オーステナイト化時間 1.2ks, 7.2ks 共に超サブゼロ処理された試料は, 超サブゼロ処理されていない試料に比べ磨耗量が増加しているが, その影響は小さい. また, オーステナイト化時間が長い試料の方が磨耗量は少ない結果となった.

超サブゼロ処理材の方が磨耗量が大きいうる結果は予想とは異なるものであり, より再現性の得られる試験法を模索中である.

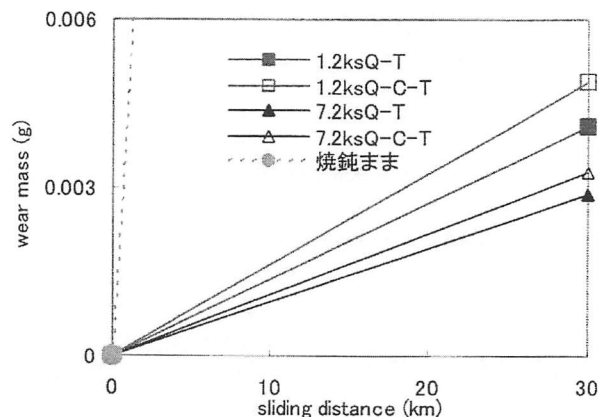


Fig.1 Wear mass

## 3-2 比磨耗量と硬さの関係

Fig.2 に比磨耗量とビッカース硬さの関係を示す. この比磨耗量は Fig.1 の磨耗量から計算した値である. 図から超サブゼロ処理によって硬さが減少しているのが分かる. また, 硬さの増加に伴い比磨耗量が減少しているのが分かる.

3-3 比磨耗量と  $\gamma_R$  量の関係

Fig.3 に比磨耗量と  $\gamma_R$  の関係を示す. 各条件で超サブゼ

ロ処理によって $\gamma_R$ が著しく減少し、比磨耗量は増加している。また、 $\gamma_R$ の減少で硬さが単純に増加するような結果にはなっていない。同一オーステナイト化時間に関して言えば、むしろ、 $\gamma_R$ が多い方が耐磨耗性は良好という結果となった。

### 3-4 結晶組織

Fig.4に焼鈍まま試料, Fig.5に各条件で熱処理をした試料のSEM像を示す。焼鈍まま、及びオーステナイト化時間1.2ksを見ると粒径約 $1.5\mu\text{m}$ の炭化物が一様に分布しているのが分かる。オーステナイト化時間7.2ksでは炭化物粒径が約 $1\mu\text{m}$ となり球状炭化物密度が減少しているが、完全に固溶していない。Fe-C系2元状態図によるとFe-1.0C合金(SUJ2と同等のC量)は1100K以上で単一 $\gamma$ 相になるはずであるが、1123K、7.2ksでは炭化物は完全に固溶しなかったと思われる。

どの組織についても言えるが、旧オーステナイト粒界に沿ってマルテンサイトが存在している。また超サブゼロ処理により、焼戻しマルテンサイト組織が微細化している様に見える。また、当然のことであるが炭化物粒径及び分布に大きな変化は見られなかった。

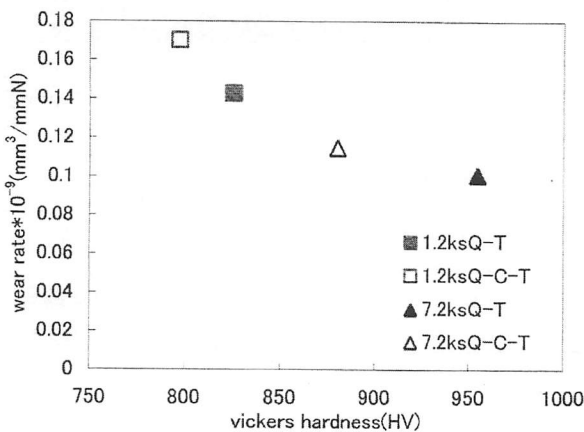


Fig.2 Relation between hardness and wear rate

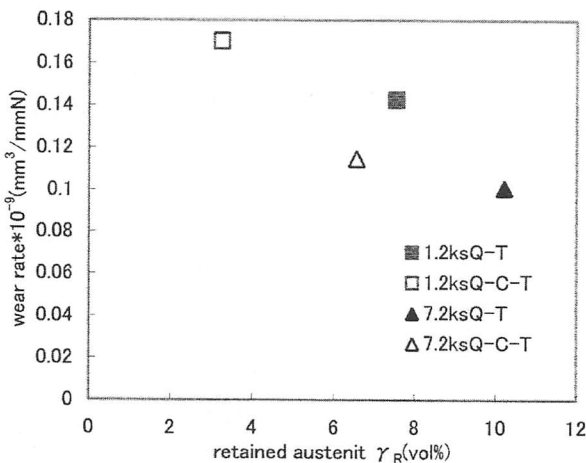


Fig.3 Relation between  $\gamma_R$  and wear rate

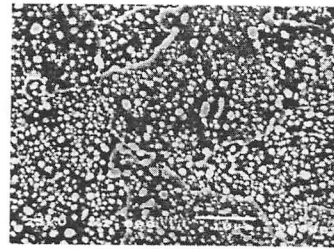
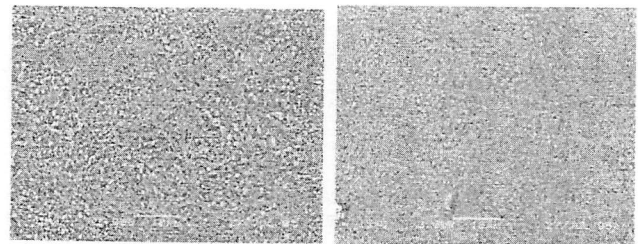
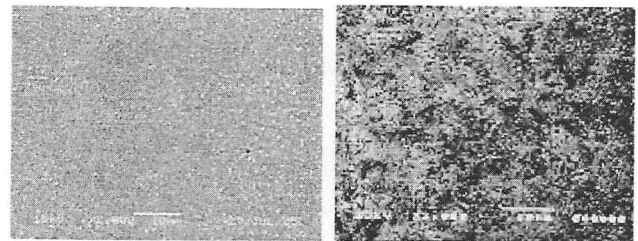


Fig.4 SEM photograph of SUJ2 before solution treatment



(a) (b)

heat treatment condition: 1123K 1.2ks



(c) (d)

heat treatment condition: 1123K 7.2ks

Fig.5 SEM photographs of SUJ2 after solution treatment and (a)(c)quenching  $\rightarrow$  tempering, (b)(d)quenching  $\rightarrow$  cryogenic treatment  $\rightarrow$  tempering

### 4. 結論

- 1) オーステナイト化時間1.2ks、7.2ksのSUJ2試料において超サブゼロ処理されることで比磨耗量が増加したが、その影響は小さい。また、オーステナイト化時間が長い方が耐磨耗性は良好な結果となった。
- 2) SUJ2は超サブゼロ処理されることでビッカース硬さが減少した。硬さの増加に伴い耐磨耗性が向上する傾向が見られた。
- 3) SUJ2は超サブゼロ処理されることで $\gamma_R$ が減少した。オーステナイト化時間が同じ試料では $\gamma_R$ 量の減少に伴い耐磨耗性に悪影響を及ぼした。

上記の結論を得たが、磨耗試験の結果はばらつきが多く、再現性を検討していない。今後、より正確な結果を得るために磨耗試験機の改良等実験方法の模索が必要であろう。

### 参考文献

- 1) Fanju Meng *et al.*: ISIJ International 34(1994), 205-210.
- 2) J.Y.Huang *et al.*: Materials Science and Engineering A339(2003), 241-244.