

軸受鋼 SUJ2 の耐摩耗性に及ぼすサブゼロ処理温度の影響

室蘭工業大学 ○早川真博, 田頭孝介

概要

軸受鋼 SUJ2 を 223K および 93K でサブゼロ処理し, 残留オーステナイト量と比摩耗試料の測定, および TEM 観察を行った. サブゼロ処理温度が低い方が, 残留オーステナイト量が減少し, 低速度域での耐摩耗性が優れていた.

1. 緒言

炭素量が 0.8%以上の鋼炭素鋼では, Mf 点が室温以下になるために, 焼戻し後の組織中には, 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  $\gamma_R$  は少量なら非常に粘り焼き割れを防ぐ等の利点があるが,  $\gamma_R$  量が多い時には, 経年変化や耐摩耗性の低下の要因になるなど不利な点が多い. そこで, 193~273K に急冷するサブゼロ処理が行われている. この処理によって,  $\gamma_R$  をマルテンサイト変態させることが可能で, 組織を安定化させるための有効な手段と考えられている. 耐摩耗材料である軸受鋼 SUJ2 についても同様のことがいえる. しかし, Ms 点(約 150K)以下に急冷する超サブゼロ処理の効果については不明な点が多い.

本研究では, 軸受鋼 SUJ2 についてサブゼロ処理および超サブゼロ処理を行い, 耐摩耗性に及ぼすサブゼロ処理温度の影響について微細組織の観点から検討した.

2. 実験方法

供試材料として用いた軸受鋼 SUJ2 の, 化学組成を Table1 に示す. なお, この鋼材はあらかじめ球状化焼きなましが行われている.

Table1. Chemical composition of steel. (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.96	0.26	0.37	0.14	0.17	0.08	0.05	1.41	0.02

本研究の熱処理過程を Fig. 1 に示す. サブゼロ処理は, 223K の普通サブゼロ処理(subzero treatment), および 93K の超サブゼロ処理(cryogenic treatment)の 2 種類とした. 熱処理後, 各試料について硬さ試験, X 線回折による  $\gamma_R$  量測定, TEM(透過電子顕微鏡)による組織観察および pin-on-disk 型摩耗試験を行った. なお, 摩耗試験後の試料表面の残留オーステナイト量も測定した. また, 比較材として焼入れ焼戻しのみを行ったサブゼロ未処理(non-subzero treatment)試料も作成し同様の評価を行った.

3. 実験結果

3-1. 残留オーステナイト量と硬さ

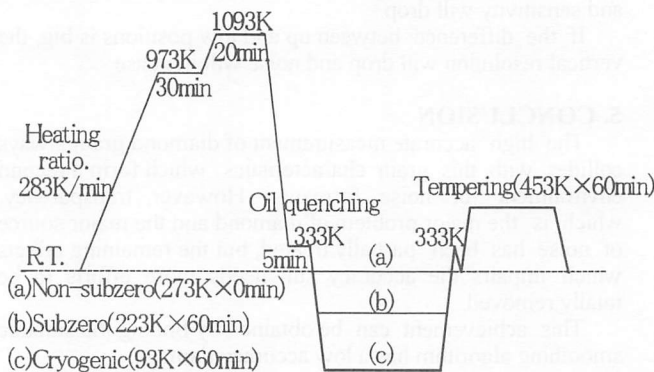


Fig. 1 Heat pattern.

Fig. 2 にサブゼロ処理による  $\gamma_R$  量と, 硬さ(Hv)の値を示す. サブゼロ処理温度が低い方が  $\gamma_R$  量は小さい. また, サブゼロ処理により硬さが増加している.

3-2. 耐摩耗性

Fig. 3 に, 摩耗速度と比摩耗量の関係を示す. 全ての速度領域でサブゼロ処理を施すことにより, 比摩耗量は減少している. 特に, サブゼロ未処理試料と普通サブゼロ処理試料では, 摩耗速度 0.17~0.33m/s の範囲で比摩耗量が増加傾向を示し, その後減少している. また, 超サブゼロ試料の比摩耗量は最小で全ての速度領域においてほぼ変化がなく耐摩耗性の向上に効果があると考えられる.

3-3. 組織観察

Fig. 4 に, 透過電子顕微鏡による各試料の組織写真とサブゼロ未処理試料の制限視野回折像(SAD pattern)を示す. 全ての試料で炭化物が観察された. しかしその形状は異なり, サブゼロ未処理では, マルテンサイト組織と, 粒径が 0.8~1.2  $\mu\text{m}$  の棒状炭化物の形成が観察された. 普通サブゼロ処理試料では, 0.4~0.8  $\mu\text{m}$  の棒状炭

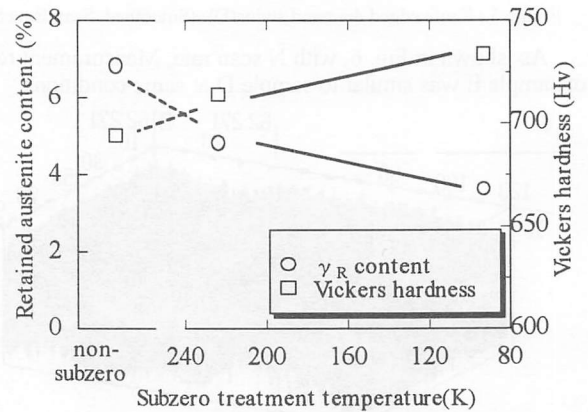


Fig. 2 Relationship between subzero treatment temperature and retained austenite content, vickers hardness.

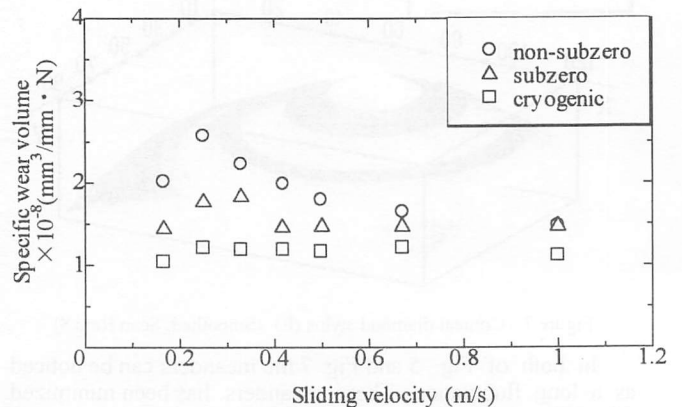


Fig. 3 Relationship between sliding velocity and specific wear volume.

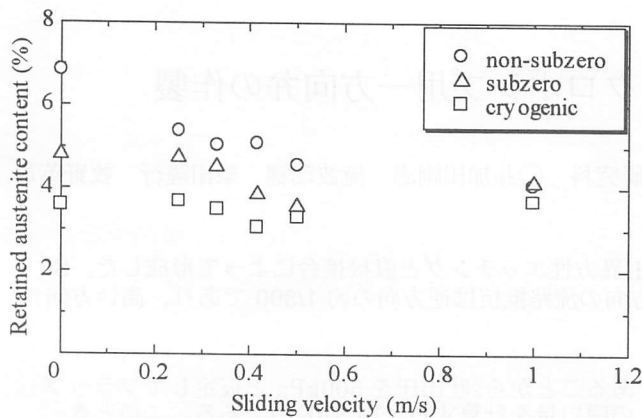


Fig. 4 Relationship between sliding velocity and retained austenite content after wear.

化物と球状炭化物が混在していて、超サブゼロ試料では、低炭素マルテンサイトと、 $0.3\sim 0.4\mu\text{m}$ の球状炭化物が多数析出している。

#### 4. 考察

##### 4-1. サブゼロ処理と残留オーステナイトの関係

Fig. 3 から、サブゼロ処理温度が低いとき  $\gamma_R$  が減少し、硬さは増加していた。本実験で用いた試料の Ms 点は 460K、Mf 点は 150K である<sup>1)</sup>。超サブゼロ処理温度が Mf 点以下であるにもかかわらず、 $\gamma_R$  が全てマルテンサイト変態していないのは、サブゼロ処理後、焼戻しを行うまでの僅かな室温放置により、オーステナイトが安定化したものと考えられる。

##### 4-2. サブゼロ処理と耐摩耗性の関係

摩耗速度  $0.50\text{m/s}$  以下の低速度域でサブゼロ処理の効果が顕著であった。比摩耗量の変化について摩耗機構の面から考察すると、 $0.17\text{m/s}\sim 0.33\text{m/s}$  の速度領域では、相手材との摩擦熱が低く、摩耗表面に生じる酸化膜が薄いために、金属同士の接触が大きくなり摩耗面の微細な突起物が、せん断破壊され摩耗が促進されたと考えられる。このことは、試験中に褐色の酸化摩耗粉が観察される事からも確認される。

それ以上の速度域になると、摩耗表面温度が上昇するため、摩耗表面に生成される酸化皮膜が厚くなる。よって、金属同士の摩耗から酸化物との摩耗に遷移し摩耗面の凝着力が減少し、酸化物による潤滑作用も働くために、比摩耗量が減少傾向を示すと考えられる。さらに、 $0.67\sim 1.0\text{m/s}$  の速度域では、酸化膜形成が進み表面を覆うためにほぼ一定となる。

次に、 $\gamma_R$  量と比摩耗量の関係について考察する。 $\gamma_R$  量が小さいほど、すなわちサブゼロ処理温度が低いと比摩耗量は減少し、特に  $0.25\sim 0.50\text{m/s}$  の速度域で顕著であった。したがって、 $\gamma_R$  量が耐摩耗性に影響があると考えられる。

Fig. 4 に、摩耗試験後の  $\gamma_R$  量と摩耗速度の関係を示す。明らかに超サブゼロ処理試料以外では、摩耗試験後に  $\gamma_R$  量は減少している。マルテンサイト変態の活性化エネルギーは低く、また、オーステナイトの応力集中部分に歪誘起マルテンサイト変態が生じる<sup>2)</sup>と局部的な応力集中が除かれ、局部的な塑性変形抵抗が増す。よって、摩耗試験時の外部応力場の発生により、歪誘起マルテンサイト変態し  $\gamma_R$  量は減少すると考えられる。

##### 4-3. 組織による影響

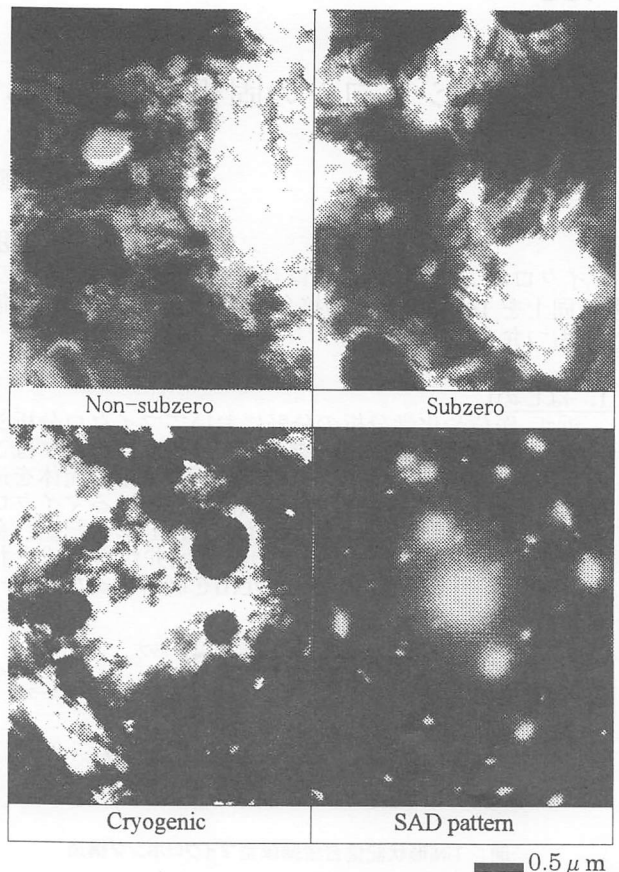


Fig. 4 TEM micrographs of heat treated specimens and selected area diffraction pattern.

Fig. 5 から、全ての試料において、炭化物が形成され、サブゼロ処理温度が低いほど微細化していた。焼戻し第一段階 ( $373\sim 473\text{K}$ ) においては、低炭素マルテンサイトと、 $\eta$ -炭化物が析出するといわれている<sup>3)</sup>。したがって、観察された炭化物は  $\eta$ -炭化物と考えられる。また、サブゼロ未処理試料では、棒状炭化物が形成されているのに対し、サブゼロ処理により微細な球状炭化物の析出が観察され、超サブゼロ処理では、微細炭化物が多数観察される。したがって、サブゼロ処理により炭化物が微細化され球状炭化物になることが、耐摩耗性向上の一因であると考えられる。

#### 5. 結言

軸受鋼 SUJ2 に  $223\text{K}$  のサブゼロ処理および  $93\text{K}$  の超サブゼロ処理を施し、耐摩耗性におよぼすサブゼロ処理温度の影響を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) サブゼロ処理温度が低いとき、残留オーステナイト量は少なく、炭化物粒径は小さい。
- (2) 超サブゼロ処理試料の、低速度域 ( $0.17\sim 0.50\text{m/s}$ ) における耐摩耗性は優れている。
- (3) 低速度域における耐摩耗性は、残留オーステナイト量が少なく、炭化物粒径が小さいほど向上する。

#### 参考文献

- 1). 今井, 泉山: 日本金属学会誌, 22 (1958), 7.
- 2). G. V. Kurdjumov ら: 鉄鋼の相変態, アグネ技術センター, 東京, (1983), 301.
- 3). 長倉, 鈴木: 鉄と鋼, 68 (1982), 2421.