

極低温希薄潤滑環境下の金属材料の摩耗形態

Wear Morphology of Metallic Materials in Cryogenic and Dilute Lubrication Environments

日本精工（株）（正）*今井 敦，（非）佐々木 雅史，（正）橋本 翔

Atsushi Imai, Masashi Sasaki, Sho Hashimoto

NSK Ltd.

1. はじめに

近年、脱炭素社会の実現に向け温室効果ガスを発生させない水素が注目されており、日本政府もカーボンニュートラル実現のための有力な手段として推進活動を活発化させている¹⁾。また、水素は多様な資源から製造でき、調達先を国内外に分散させることが可能なため、供給および調達のリスクが低いエネルギーであることも利点である。一般的に、水素を-253℃まで冷却して液化することにより、大容量の水素を保存、輸送することができる。具体的に、液化水素は、水素ガスの体積の約800分の1になるため、液化することにより、多くの水素を保存、輸送することが可能になる。しかし、例えば水素を液化させる-253℃の温度で使用される転がり軸受においては、極低温（以下、極低温は-196℃以下とする）特有の様々なリスクが発生することが懸念される。

液化水素を取扱う装置における転がり軸受の中には、液化水素に直接触れるものがあり、それらは極低温環境下で使用される。また、液化水素の中に潤滑油が混入すると、液化水素が汚染されるため、転がり軸受の転動体を通常の潤滑油で潤滑させることができない。したがって、極めて過酷な極低温希薄潤滑環境下で使用されることになり、転動体と外輪・内輪軌道面との間で摩耗が発生しやすい状態になっているが²⁾、従来の知見は限定的であり安全な軸受の利用には更なる現象理解が必要である。

そこで本研究では、極低温希薄潤滑環境下での転動試験から得られる摩耗形態の特徴を調査した。

2. 実験方法

本研究で用いたスラスト型転動試験機の概略図を Fig. 1 に、試験条件を Table 1 に示す。一般的に液化水素などの液化ガスポンプ用軸受には、SUS440C などが使用されている³⁾。そこで、基準材として SUS440C 材で作製した円板状試験片を用意した。加えて、摩耗形態に及ぼす材料の影響を調査する目的で、別途用意した比較材を適用した試験片も作製した。いずれの試験片も焼入れ・焼戻し等の熱処理を施しており、SUS440C 材の硬さは、HV 700 程度、比較材の硬さは HV 750 程度である。熱処理後に試験面を鏡面に仕上げており、いずれの試験片も表面粗さは 0.003 μmRa 程度に調整した。極低温希薄潤滑環境を再現するため試験槽内に-196℃の液体窒素を充填させながら試験を実施した。転動体は直径 9.525 mm の JIS-SUJ2 鋼球、保持器はプラスチック製保持器を用いた。

Table.1 Test conditions

Lubricant	Liquified nitrogen (LN ₂)
Disc	SUS440C, Comparison material
Ball	JIS-SUJ2
Temperature, °C	-196
Rotational speed, min ⁻¹	2000
Maximum contact pressure, GPa	2.3
Test time, min	60

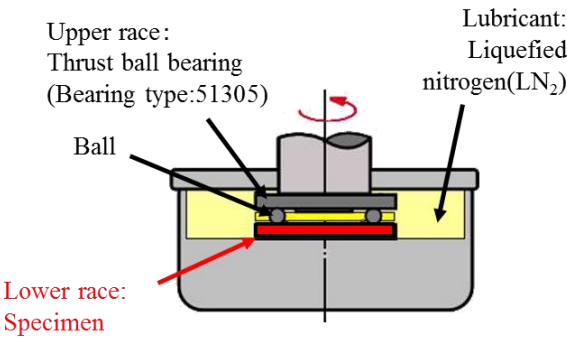


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 実験結果および考察

液体窒素環境下で SUS440C 材の転動疲労試験をした結果、摩耗面は穴を伴っていた。確認された穴の原因調査のため表面を腐食させ詳細観察を実施した結果を Fig.2 に示す。Figure 2 から、これらの穴は共晶炭化物の近くに存在しており、これらが脱落したことにより生じた穴であると推察された。次に、この推察の正しさを確認するため、共晶炭化物のない比較材試験片を用いて、同様の試験をした。Figure 3 に示した摩耗試験後の表面腐食の結果写真から、穴の発生が抑制された様子が認められた。SUS440C 材および比較材の摩耗試験後の表面腐食観察結果から、極低温希薄潤滑下における摩耗は共晶炭化物の脱落により生じた穴を伴うという知見が得られた。

次に、共晶炭化物の脱落により生じた穴の耐摩耗性への影響を確認するため非接触式の形状測定機を使用し、摩耗

面の形状測定を実施した。最大摩耗深さに着目し、SUS440C 材と比較材の比較を行った結果を Fig.4 に示す。Figure 4 に示した結果から、共晶炭化物の脱落に伴い生じた穴が存在する SUS440C 材の摩耗深さは、穴の存在しない比較材の約 3 倍であることが分かる。このことは共晶炭化物の脱落により生成した穴が摩耗を促進する可能性を示している。この事実は、共晶炭化物を析出させることが材料の耐摩耗性を向上させる⁴⁾ことに寄与しているという一般的な考え方と異なる結果であった。

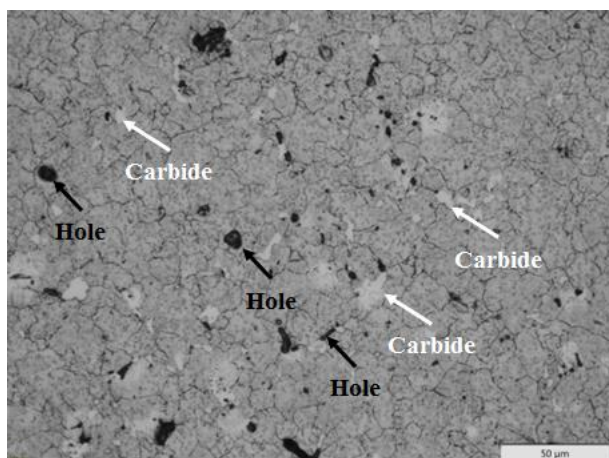


Fig. 2 Etching surface of SUS440C

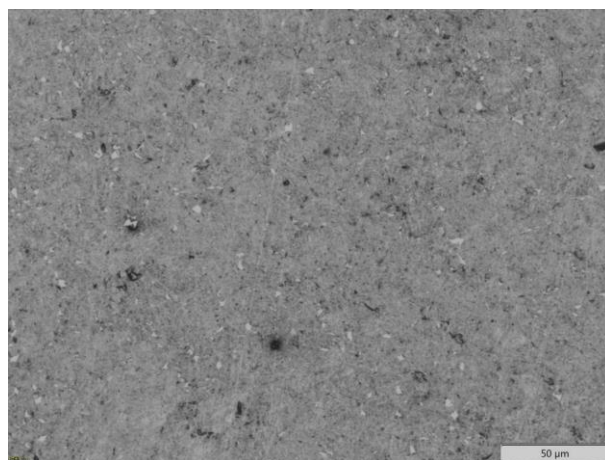


Fig.3 Etching surface of comparison material

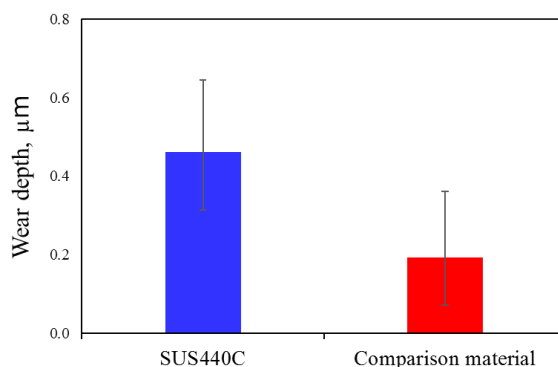


Fig.4 Comparison of wear depth between SUS440C and comparison material

4. まとめ

本研究では、極低温希薄潤滑環境下での金属材料の摩耗形態を評価した。共晶炭化物を伴う SUS440C 材の摩耗面は穴を伴っていたが、共晶炭化物を含まない比較材では摩耗面の穴の発生が抑制された。両者の摩耗深さを比較すると SUS440C 材の摩耗深さが比較材の約 3 倍であった。これは共晶炭化物の脱落によって生成された穴が摩耗を促進している可能性を示している。

文献

- 1) 藤村康平：水素社会の実現に向けて，日本船舶海洋工学会誌 KANRIN（咸臨），95（2021）3.
- 2) 宮川行雄：超低温環境で作動する軸受の諸問題，潤滑：journal of Japan Society of Lubrication Engineers, 20, 6（1975）412.
- 3) 橋本泰司・天野和雄・福地貴樹：低温液化ガスポンプ用軸受の現状，ターボ機械，32，7（2004）428.
- 4) 加田善裕：特集／工具鋼の基礎知識，特殊鋼，63，6（2014）2.