

K6-8

BN/Ti および BN/Ti-6Al-4V 複合材における無潤滑すべり摩耗挙動 Dry Sliding wear behavior of BN/Ti and BN/Ti-6Al-4V composites

○服部 光太郎¹, 出井 裕², 小宮 良樹²*Kotaro Hattori¹, Hiroshi Izui¹, Yoshiki Komiya²

Abstract: Titanium and its alloys exhibit excellent in light weight, high specific strength and high corrosion resistance. Furthermore, they have good compatibility with CFRP using by aircraft in recent years as compared with aluminum. However, their processing cost and wear resistance are inferior to that of ferrous materials. In this research, to improve these properties, BN/Ti and BN/Ti-6Al-4V composites were prepared using by a spark plasma sintering process (SPS). The dry sliding wear tests of the composites were carried out on a three-ball-on-disk machine using steel ball bearings as the counterpart material. As the result, the wear resistance of the composites was greatly improved, and the wear resistance of BN/Ti showed better than that of BN/Ti-6Al-4V.

1. 緒言

近年、航空機の低燃費のために機体やエンジン部品への炭素繊維強化樹脂 (CFRP) の適用比率が高まっており、チタンやその合金は、高比強度で耐食性に優れ、CFRP と相性が良いことから需要が増大している^[1]。しかし、チタンは、加工費が高いことや耐摩耗性に劣るという欠点があるため、使用用途の幅に制限がある。改善策として、粉末冶金法による複合材化があげられる。まず、粉末冶金法によりニアネットシェイプが可能となり、加工費を抑えることができる。また、強化材として硬質なセラミックス粒子をチタンに添加し複合材化することで耐摩耗性が改善するとされている。著者らによる過去の研究より、窒化物が耐摩耗性を大幅に改善させる強化材として非常に有効であることが明らかとなっている^[2]。そこで、本研究では、強化材は窒化物に着目し、窒素原子の固溶強化および反応生成物との複合材化によって耐摩耗性の大幅な改善が期待できる窒化ホウ素 (BN) 粉末とした。母材は CP-Ti 粉末およびチタン合金 Ti-6Al-4V 合金粉末の 2 種類とした。また、チタン基複合材の製造方法は、粉末冶金法の一つで従来の焼結法より低温かつ短時間での焼結が可能である放電プラズマ焼結法 (Spark Plasma Sintering : SPS) を採用した。そして、SPS にて作製したチタン基複合材の無潤滑すべり摩耗特性を評価した。

2. 供試材料および実験方法

母材には CP-Ti (Ti) および Ti-6Al-4V 合金 (Ti64) のガスアトマイズ粉末 ((株) 大阪チタニウムテクノロジーズ, 粒径 45 μm 以下) を、強化材には BN 粉末 (デンカ (株), 平均粒径 4 μm) を使用した。各母材に BN 粉末を 2.5 vol.%, 5 vol.%, 7.5 vol.%, 10 vol.% 添加し、

遊星ボールミルを用いて、大気中、回転速度 200 rpm, 混合時間 10 min の条件で混合した。混合粉末を焼結型に充填し、SPS 装置を用いて、焼結温度 900 $^{\circ}\text{C}$, 昇温速度 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 保持時間 10 min, 加圧力 70 MPa の条件で試験片 (35 mm \times 35 mm \times 4 mm) 作製した。焼結後、試験片を研磨し算術平均粗さが 0.2 μm 以下まで仕上げた。試験片の密度を測定後、摩擦摩耗試験機を用い、3 ボールオンディスク法で摩耗試験を行った。相手材には直径 10 mm の SUJ-2 (高炭素クロム軸受鋼鋼材) を使用した。試験条件は、大気中無潤滑、すべり速度 100 mm/s, すべり距離 500 m, 荷重 23 N とした。試験前後に試験片を 5 分間アセトン超音波洗浄後、電子天秤を用いて 0.1 mg の精度で質量測定を行い、測定した密度および試験前後の質量変化より比摩耗量を算出した。また、X 線回折装置を用いて X 線回折 (XRD) を行った。摩耗面の観察には、エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX) 付き走査型電子顕微鏡を使用した。

3. 実験結果および考察

XRD 結果より、硬質な反応物 TiB, TiN, Ti₂N が確認された。また、BN 添加量が増加するにつれて α -Ti のピークが低角側に移動したことから窒素原子が固溶していると考えられる^[3]。Fig. 1 に比摩耗量と BN 添加量の関係を示す。BN/Ti は、BN 添加量の増加に伴い比摩耗量が減少し、BN/Ti64 は、5 vol.% 以上で比摩耗量が減少した。これらは、窒素原子の固溶による母相強化および反応物生成によって比摩耗量が減少したと考えられる。また、両複合材には、比摩耗量に大きな差があり、BN/Ti の方が小さい値となった。これは様々な原因が考えられる。まず、窒素原子の固溶量に着目した。窒素原子はチタンに対して α 安定化元素である

1 : 日大理工・院(前)・航宇, 2 : 日大理工・教員・航宇

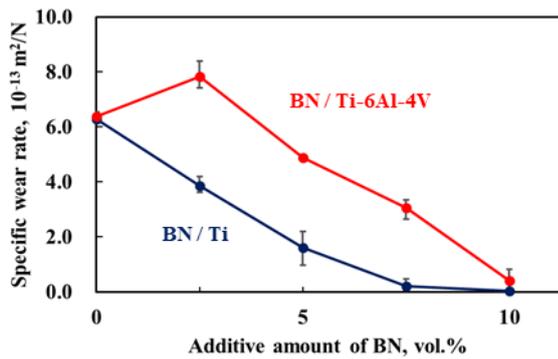


Fig. 1 Variation of specific wear rate of the composites.

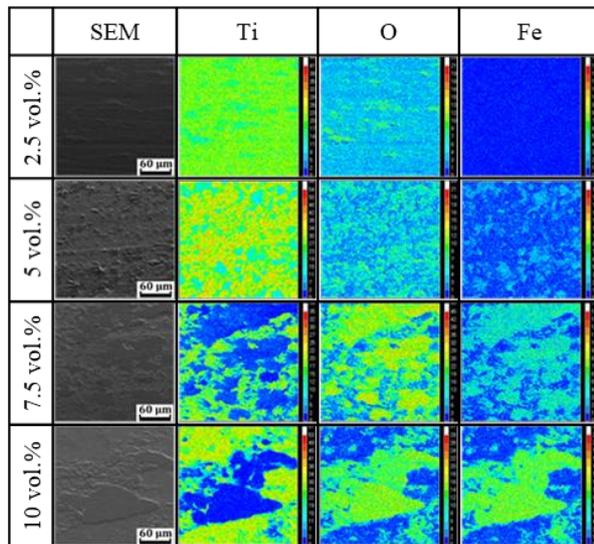


Fig. 2 EDX mapping images of wear track of BN/Ti.

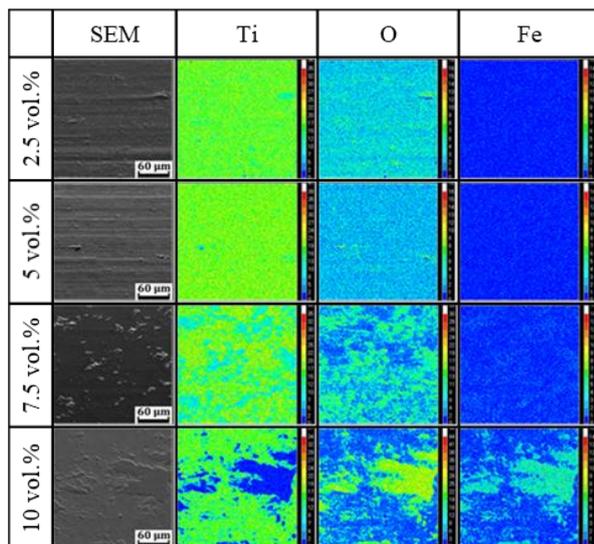


Fig. 3 EDX mapping images of wear track of BN/Ti64.

ため、 β -Ti にはあまり固溶せず、 α -Ti により固溶することが明らかとなっている。よって、常温で $\alpha+\beta$ 相である Ti-6Al-4V よりも、 α 相のみである CP-Ti の方が窒素を多く固溶する。したがって、窒素を多く固溶して

いる BN/Ti の方が母相強化によって摩耗しにくくなり、比摩耗量が小さくなったと考えられる。次に、摩耗面の堆積物に着目した。Fig. 2, 3 に、BN/Ti および BN/Ti64 の摩耗面の EDX による元素分析結果を示す。Fig. 2 より、BN/Ti は BN 添加量の増加に伴い O と Fe が高濃度で分布しているのが分かる。Fig. 3 より、BN/Ti64 は BN 添加量が 7.5 vol.% から O が、10 vol.% 時で Fe が顕著に現れているのが分かる。また、両複合材ともに、2.5 vol.% 時では Fe がほとんど分布しておらず、O が分布しているのが分かる。これは、表面が摩耗することで Ti と O が反応し、酸化物が生成されていると考えられる。この酸化物は BN/Ti に多く、BN 添加量の増加に伴って多く堆積している。Fe が検出されたのは、硬質な酸化物が母材の表面を覆い、ボールとの接触でボールが摩耗し、その摩耗粉が堆積しているためだと考えられる。これらの堆積物は、BN/Ti に多く存在しているのが分かる。以上より、BN/Ti は、窒素の固溶量および酸化物や相手材などの摩耗粉の堆積物が BN/Ti64 よりも多いため、摩耗しにくくなり堆積物によって母材と相手材との直接接触する領域が小さくなる。よって、BN/Ti の耐摩耗性が優れていると考えられる。

4. 結 言

- CP-Ti および Ti64 に BN を添加すると、窒素原子が固溶し、硬質な反応物 TiB, TiN, Ti₂N が生成された。
- 窒素固溶による素地強化および反応物生成によって比摩耗量が減少した。
- BN/Ti は、窒素の固溶量および酸化物や摩耗粉の堆積物が BN/Ti64 よりも多いため、耐摩耗性に優れることが分かった。

5. 参考文献

- [1] 稲垣育宏, 武智勉, 白井善久, 有安望: 「航空機用チタンの適用状況と今後の課題」, 新日鉄住金技報, 第 396 号, pp.23-28, 2013
- [2] K. Hattori, S. Hirami, Y. Hasegawa, H. Izui, Y. Komiya: “Experimental Optimization of Dry Sliding Wear Behavior of Titanium Matrix Composites Using Taguchi Methods”, TMS 2018 Metal-Matrix Composites Innovations, Advances and Applications, pp103-117, 2018
- [3] Y. Yamabe, J. Umeda, H. Imai, K. Kondoh: “Tribological Property of α -Pure Titanium Strengthened by Nitrogen Solid-Solution”, Materials Transactions, Vol. 59, No. 1, pp. 61-65, 2018