

K6-9

放電プラズマ焼結法により作製した Ti-6Al-4V 合金および、 TiB 強化 Ti-6Al-4V 合金のフレッティング疲労特性評価

Fretting fatigue characterization of Ti-6Al-4V and TiB/Ti-6Al-4V

prepared by spark plasma sintering

○金澤 博祥^{*1}, 出井 裕^{*2}, 小宮 良樹^{*2}

Hiroyoshi Kanazawa^{*1}, Hiroshi Izui^{*2}, Yoshiki Komiya^{*2}

近年の航空機の開発において、高比強度、高耐食性、CFRP との適合性が良好な Ti 合金の需要が拡大している。しかし、Ti 合金は精製、加工共に高コストであり、耐摩耗性に劣ることが知られている。そこで本研究では母材を Ti-6Al-4V、強化材に TiB₂ を添加し放電プラズマ焼結法を利用した複合材の試験片を作製し、フレッティング疲労試験を行い評価した。その結果、高応力下では TiB クラスタ内で亀裂が発生し疲労強度の低下につながる結果を得た。

1. 緒言

近年の航空機の開発において、高比強度、高耐食性、CFRP との適合性が良好な Ti 合金の需要が拡大している。しかし、Ti 合金は精製、加工共に高コストであり、耐摩耗性に劣ることが知られている。そこで粉末冶金法を利用した二アネット成形を用いることで Ti 合金の加工コストを削減可能である。また高硬度なセラミックス粉末を添加することで、耐摩耗性を改善した Ti 基複合材がある。しかし、セラミックス強化 Ti 基複合材は、内部空孔による強度の低下、摩耗においては未焼結な強化材の凝集による強化材の離脱が問題視されている¹⁾。そこで航空機の軽量化に伴う摩耗部位へ代替案としての Ti 合金の使用を考えると、疲労、摩耗が影響するフレッティング疲労への影響を考慮する必要がある。そこで、本研究では代表的なチタン合金である Ti-6Al-4V 合金粉末へ TiB₂ 粉末を添加した複合材 (TiB/Ti-6Al-4V) を放電プラズマ焼結法 (SPS) により作製し、複合材のフレッティング疲労特性を検討した。

2. 実験方法

本研究で使用した材料は、母材に(株)大阪チタニウムテクノロジーズの Ti-6Al-4V 粉末 (4.43g/cc, -45 μ m)、強化材に日本新金属(株)のニホウ化チタンの TiB₂ 粉末 (4.53g/cc, -1.81 μ m) を用いた。これらの材料を TiB 体積含有率 5.0% になるよう遊星ボールミルで混合し、高強度グラファイト製ダイ・パンチに粉末充填をした。パンチの上から 20MPa の予備加圧を行い、ダイ・パンチを焼結機の炉内に入れ、真空状態 (10Pa 以下) まで排気し、焼結を行った。焼結条件は焼結温度 900 $^{\circ}$ C、昇温速度 20 $^{\circ}$ C/min、保持時間 10min、焼結圧力 70MPa である。また焼結体の機械的特性は表 1 に示す²⁾。疲労試験機(島津サーボパルサ EHF-FB10kN-4LA, 4830 型制御装置)を用いて、フレッティング疲労試験を行った。試験条件は片振り (引張-引張)、繰り返し周波数を 10Hz、応力比 R を 0.1 とした。接触片材料を Ti-6Al-4V、接触面圧 P を 50MPa、最大引張応力 σ_{max} を 450MPa とした。また焼結体の機械的特性は Table1 に示す²⁾。

Table1 Mechanical properties

Material	Tensile strength [MPa]	Fatigue limit [MPa]	Young's modulus [GPa]	MicroVickers hardness [HV]	Elongation [%]
Ti-6Al-4V	1051	450	112.3	394	10.5
TiB/Ti-6Al-4V	1107	425	112.6	421	1.92

3.. 実験結果

3. 1. TiB₂ 添加による影響

フレッティング疲労試験に及ぼす、TiB の影響を検討するため、接触面圧を 50MPa 一定とし試験片材料を Ti-6Al-4V および TiB/Ti-6Al-4V としてフレッティング疲労試験を行い、最大引張応力と疲労寿命の関係を (S-N 曲線) を Fig.1 に

1 : 日大理工・院(前)・航宇, 2 : 日大理工・教員・航宇

示す。なお、接触片のブリッジスパン長さ L を 15mm とし通常疲労の疲労限は Ti-6Al-4V は 450 MPa, TiB/Ti-6Al-4V は 425MPa であった。通常疲労では如何なる負荷応力でも TiB/Ti-6Al-4V は Ti-6Al-4V よりも低い結果である。フレット疲労試験にて高応力下 (400MPa 以上) では TiB/Ti-6Al-4V は Ti-6Al-4V に比べ低い疲労寿命を示した。しかし、低応力下 (350MPa 以下) では TiB/Ti-6Al-4V は Ti-6Al-4V に比べて高い疲労寿命を示した。負荷応力が 300~400MPa 付近で S-N 曲線が交わる傾向が確認できる。

3. 2. Ti-6Al-4V 焼結体および TiB/Ti-6Al-4V 焼結体の壊形態の違い、内部亀裂の発生

試験片 Ti-6Al-4V および TiB/Ti-6Al-4V を接触面圧 50MPa 一定とし負荷応力を 200, 400MPa にてフレット疲労試験を行い疲労回数 10^4 で試験を停止させ、その後試験片をエッチングし SEM による観察を行った。その反射電子像を Fig.2, Fig.3 に示す。負荷応力 200MPa 時では、Ti-6Al-4V, また TiB/Ti-6Al-4V の肥大化した TiB クラスターにも亀裂は見られなかった。しかし負荷応力 400MPa 時では、TiB/Ti-6Al-4V 内部の TiB クラスターとマトリクス Ti-6Al-4V との境界から亀裂が生じた。

4. 考察

本実験では Fig.1 に示したように、高応力下 (400MPa 以上) では TiB を添加することにより Ti-6Al-4V に比べ疲労寿命が低下するが、低応力下 (350MPa 以下) では TiB を添加することにより Ti-6Al-4V より疲労寿命が向上する。高応力下 (400MPa 以上) での疲労寿命低下の原因は、TiB クラスターの内部亀裂、もしくはマトリクスと強化材の剥離による亀裂により、支える断面積が小さくなり、相対的に負荷応力が増大し疲労寿命およびフレット疲労寿命が低下したと考えられる。低応力下 (350MPa 以下) では、TiB クラスター内部での亀裂の発生は見られず、疲労寿命と引張強度の相関関係が得られたと考えられる。

5. 結言

TiB₂ の添加がフレット疲労特性にどう影響するか検討するため Ti-6Al-4V と TiB/Ti-6Al-4V のフレット疲労試験を行った。試験片のマイクロ組織の観察から以下の結果が得られた。

- (1) 高応力下 (400MPa 以上) では TiB/Ti-6Al-4V 内部の微小亀裂により疲労寿命が低下する
- (2) 内部亀裂の生じない低応力下であれば、引張強度と疲労寿命に相関関係がある

6. 参考文献

- [1] 次世代構造部材創製・加工技術開発 (次世代チタン合金構造部材創製・加工技術開発) 「平成 22 年度エネルギー使用合理化技術開発等調査報告書」, 財団法人 素形材センター pp.149-165, 2010 年
- [2] 出井裕, 松本和夫, 渡邊雄貴, 江川宏紀, 「放電プラズマ焼結法による Ti-6Al-4V の焼結性と強度特性」, 日本材料学会 No.431, pp.360-361, 2010 年

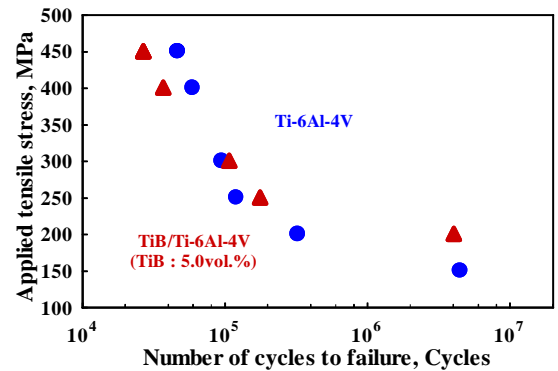
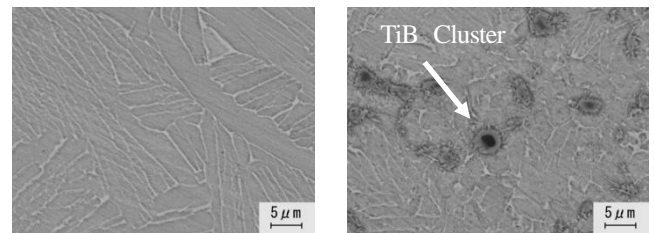
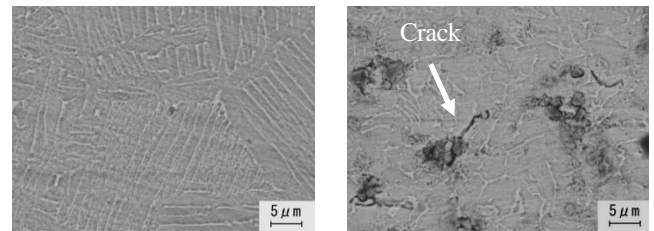


Fig.1 S-N curve for fretting fatigue under a contact pressure of $P=50$ MPa



(a) Ti-6Al-4V (BSE) (b) TiB/Ti-6Al-4V (BSE)

Fig.2 SEM micrographs of fretting fatigue specimens under applied stress of 200MPa



(a) Ti-6Al-4V (BSE) (b) TiB/Ti-6Al-4V (BSE)

Fig.3 SEM micrographs of fretting fatigue specimens under applied stress of 400MPa