K6-2

SPS 法を用いて作製したチタン基複合材の母材および強化材粉末の種類が引張および摩耗特性に及ぼす影響

Effect of Matrix and Reinforcement Powder Types on Tensile and Wear Properties of Ti Matrix Composites Prepared by SPS

○亀川将司[1]，戸円和博[2]，福西　崇[2]，小宮良樹[3]，出井　裕[3]
*Shoji Kamegawa[1], Kazuhiro Toen[1], Fukunishi Takashi[1], Yoshiki Komiya[2], Hiroshi Izui[2]

Abstract: Titanium and its alloys have low density, high specific strength, high fatigue strength, and good corrosion resistance. However, today they are underutilized in industry due to their high cost and poor wear resistance. To further improve their properties, TiB- and TiC-reinforced Ti matrix composites (TiB/Ti and TiC/Ti) were produced by the spark plasma sintering (SPS) process. We focused on how the matrix powder morphology and size affected their properties. Hydride-dehydride (HDH) and gas-atomized (GA) pure Ti powders with different powder sizes were used as a matrix, and TiB_2 or TiC powders were used as reinforcements. We investigated the microstructures, Vickers microhardness, the tensile properties, and the wear properties of the composites.

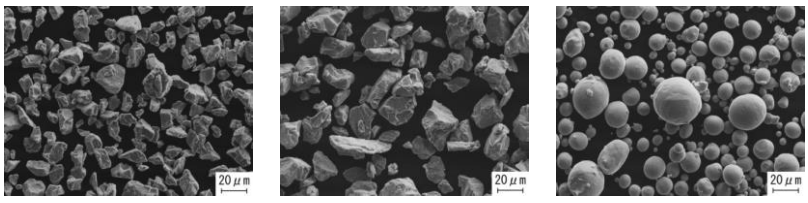
１．諸言

チタンは高比強度，高疲労強度，耐食性に優れる，CFRP との相性が良いなどという優れた特徴がある．一方で，材料費，加工費が高価であり耐摩耗性に劣るという欠点もある[1][2]．これらの欠点を解消する方法として，ニアネットシェイプが可能である粉末冶金法を用いたセラミック分散型チタン基複合材を作製するという方法に着目した．

チタン粉末には大きく分けて 2 種類の粉末がある．すなわち，水素化脱水素粉末（hydride-dehydride：HDH）とガスアトマイズ粉末（Gas-atomized powder：GA）が存在し，以前の研究において，この 2 つの粉末の種類の違いが機械的特性に影響を及ぼすことが明らかになっているが，これらに関するデータはまだ少ない[3]．本研究では複合材に用いる母材および強化材の種類が引張および摩耗特性に及ぼす影響を明らかにするため，粒径の異なる HDH 粉末および GA 粉末と TiB，TiC 強化材を組み合わせて放電プラズマ焼結法（Spark Plasma Sintering：SPS）を用いて複合材を作製した．これらの材料に対して引張試験および摩耗試験を行うことで，粉末の種類が機械的特性に与える影響を明らかにし，レアメタルや高価な処理を必要としない低コスト高性能チタンの開発手法確立を目指す．

２．実験方法

今回は母材として 2 種類の水素化脱水素粉末 HDH20，HDH45（トーホーテック株式会社, TC200（＜20μm）, TC450（＜45μm））と 1 種類のガスアトマイズ粉末 GA45（大阪チタニウムテクノロジーズ株式会社, TILOP（＜45μm））の計 3 種類の純チタン粉末を使用した．また，強化材として TiB_2 および TiC（日本新金属，1~2μm）を用いた．母材粉末の SEM 像を Fig.1 に示す．母材と強化材を強化材の体積含有率が 5，10，15，20vol.%となるように遊星ボールミル（フリッチュジャパン株式会社，P-6）を用いて 200rpm で 10min 混合し，この混合粉末および純チタンを SPS（住友石炭株式会社，DR.SINTER SPS-3.20MK IV）を用いて焼結温度 900°C，昇温速度 20°C/min，保持時間 10min，加圧力 70MPa で焼結した．これら焼結体に対して硬さ試験（島津製作所株式会社，HMV-2(T)，9.807N，30sec），引張試験（インストロン，MODEL 55R1125，クロスヘッドスピード 0.5mm/min），および摩耗試験を行った．摩耗試験は 3 ボールオンディスクすべり摩耗試験を採用した．ボールは直径 10mm の SUJ2 鋼球を用いて，回転半径 14mm，すべり速度 100mm/s，加圧力 22.93N，摺動距離 500m の条件で試験を行った．また，試験前後の試験片の質量の差から比摩耗量を算出した．



HDH20　　HDH45　　GA45

Fig.1　SEM micrographs of powders.

１：日大理工・院（前）航宇，２：日大理工・学部・航宇，３：日大理工・教員・航宇

3．実験結果および考察

Fig.2 に複合材の Vf の増加に対する硬さの変化を示す. TiB/Ti および TiC/Ti 複合材ともに Vf が増加するにつれてビッカース硬さはほぼ直線的に増加した．また，両者とも母材として HDH20 を用いた複合材が全体的に高い硬さを示した．チタン焼結体において，固溶強化の影響により酸素含有量が増加すると硬さも増加するとされている[4]．本研究においても HDH20 の酸素含有量が 0.26%と他の母材(HDH 45 : 0.19%, GA45 : 0.106%)と比較して多いため，このような結果が得られたと考えられる．また，TiC と比較して TiB を強化材と強化材とした複合材のほうが硬さの増加により有効であることも見て取れる．次に，複合材の Vf の変化に対する引張強さの変化を Fig.3 に示す. 引張強さは 15TiB/HDH20 が 1071MPa と最も高い値を示した．また，TiB/Ti 複合材の方が TiC/Ti 複合材と比較して全体的に引張強さが高くなった．TiC 複合材内部には多数の空孔が観察され，この空孔が引張強さの向上に悪影響を及ぼしたのではないかと考えられる．また，TiB 複合材は強化材の体積含有率 15vol.%を超えたあたりで急激な引張強さの低下がみられる．これは強化材の体積含有率が増加することで複合材内部に大きな強化材クラスターが発生し，そこから亀裂が発生することが原因であると考えられる．次に純チタンおよび強化材の体積含有率 15vol.%の複合材の比摩耗量と硬さの関係を Fig.4 に示す．　一般的には硬さの値が高いほど耐摩耗性が良いとされるが，今回の摩耗試験の結果は逆の結果となった．また，強化材を加えることで比摩耗量の値が減少し，耐摩耗性の改善が見られた．TiB 複合材と TiC 複合材を比較すると，TiC 複合材の方が耐摩耗性改善には有効であるといえる．

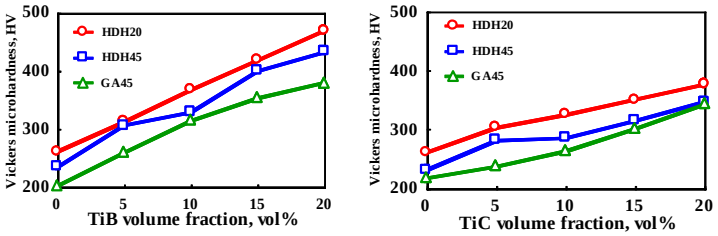


Fig.2　Vickers microhardness of the composites.

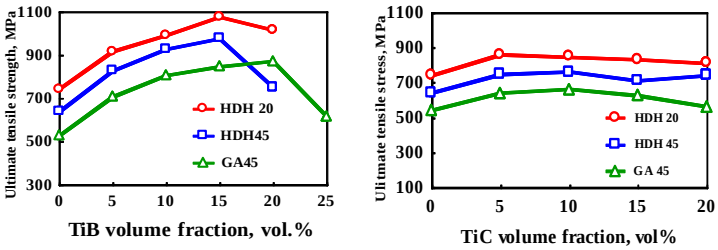


Fig.3　Ultimate tensile stress of the composites.

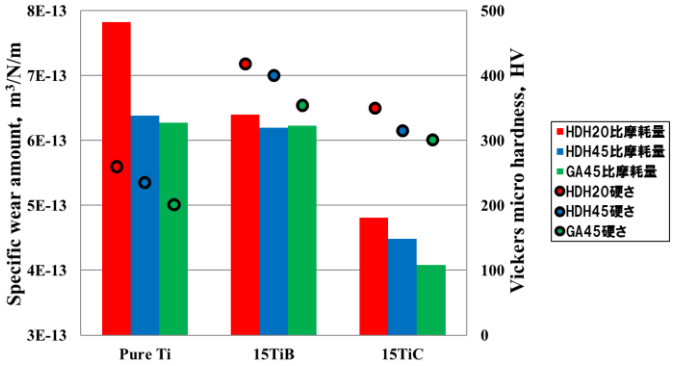


Fig.4　Relationship between wear resistance and Vickers hardness.

4．結言

- 使用する母材の酸素含有量が硬さの値に影響を及ぼし，また，硬さの向上には TiB の方が有効である．
- TiC 複合材のクラスター内部には空孔が発生するので，引張強さの向上には TiB のほうが有効である．
- 今回の摩耗試験においては，硬さの値が高いこが直接的に耐摩耗性改善に結びつくとは言えず，他の因子が大きく影響を及ぼしている．

5．参考文献

[1] 斉藤卓，吉田忠彦：「高性能チタン基複合材料の開発」，豊田中央研究所 R&D レビュー，Vol.29，No.3，pp.49-60，1994

[2]吉田忠彦，斉藤卓，山口登士也：「チタン基複合材料製排気エンジンバルブの開発」，豊田中央研究 R&D レビュー，Vol.36，No. 1，pp. 51-56，2001

[3] 未発表

[4] 孫斌，李樹豊，今井久志，三本嵩哲，梅田純子，近藤勝義，「酸素固溶強化による高強度チタン粉末焼結材の創造」，スマートプロセス学会誌，Vol. 6，No. 6，pp. 283-287，2012