230 P/M 法によって作製した炭素繊維/金属基複合材料の熱伝導特性

Thermal Conductivity of Carbon Fiber/Metal Matrix Composite Prepared by P/M Process

○学 内田 賢次 (佐賀大院) 佐藤 富雄 (産総研) 川上 雄士 (佐賀工技セ)
正 西田 新一 (佐賀大) 正 服部 信祐 (佐賀大)

Kenji UCHIDA, Graduate School of Saga University, 1 Honjo-machi, Saga
Tomio SATOH, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Shuku-machi, Tosu
Yuji KAWAKAMI, Industrial Technology Center of Saga, Nabeshima-machi, Saga
Shi-ichi NISHIDA, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga
Nobusuke HATTORI, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga

Carbon fiber / metal matrix composites were fabricated by powder metallurgy process to achieve high thermal conductivity. The pitch based carbon fibers were mixed with aluminum or copper powders by 40 vol.%. The mixtures were consolidated by pulse current sintering. The resultant sintered bodies were subjected to swaging to orient the carbon fibers in the composites. Hellman's orientation coefficients of the composites with swaging process were estimated to be 0.9 for both Al and Cu matrices composites. This value means almost complete parallel orientation of the fibers. The thermal conductivity of the Al or Cu matrix composites was improved with the fiber orientations. The conductivities of Al and Cu composites were 217 and 393 W/(m · K), respectively.

Key Words: Composite, Carbon Fiber, Powder Metallurgy, Thermal Conductivity, Orientation Coefficient

1. 緒 言

近年の技術の高度化に伴い、電気・電子機器や熱交換器等の分野において高熱伝導特性を有する材料が求められている。炭素繊維はその繊維方向に高い熱伝導率を示し、かつ軽量であるという特徴を有する。他方、金属もまた種々の材料の中で比較的高い熱伝導率を有しているが、高密度である。そこで炭素繊維と金属とからなる複合材料を創製することは、優れた熱伝導特性を達成するために有意義なことと思われる。

複合材料の創製手段として溶解鋳造法が知られているが、この手法では金属の融点以上で処理されるため、製造時に炭素繊維と熔融金属が反応する場合が多い。また熔融金属中に微細な炭素繊維を均質に分散させることも極めて困難である。粉末冶金法は複合材料の製造が容易であるという特徴を有する。本法によれば固相状態で複合材料が得られるので、反応が抑制されるうえ炭素繊維も均質に分散しやすくなる。そこで本研究では、炭素繊維と金属粉末とからなる複合材料を作製し、その複合材料の熱伝導に及ぼす炭素繊維の混合および繊維の配向度の影響について検討した。

2. 実験方法

金属マトリックスには市販の純アルミニウム粉末(平均粒径 3 μm) および純銅粉末(平均粒径 30 μm)を用いた。配合する炭素繊維にはピッチ系炭素繊維(株式会社カマテリアルズ製 FMX200)を用いた。表 1 に炭素繊維の物性値を示す。金属粉末に炭素繊維を体積分率で 40%添加して混合した。混合には予備実験の結果から、炭素繊維の損傷ならびに金属粉末への均質分散を考慮して転動型ボールミルを用いた。得られた混合粉末をパルス通電焼結法にて焼結した。焼結

温度は Al/FMX200 : T=773K, Cu/FMX200 : T=1173K とし、各温度においてそれぞれ 10 分間保持した。成形圧力は p=40MPa 一定、焼結雰囲気は真空とし、φ20×20mm の焼結体を得た。焼結した状態では炭素繊維はランダムな方向で存在しているので、繊維の一方向配向を目的として複合材料に熱間スウェーjing加工を施した。加工温度は Al/FMX200 : 673K, Cu/FMX200 : 1273K とし、いずれも φ20mm から φ11mm に加工した。以後、スウェーjing加工を施さない工程、すなわち焼結ままを工程 A、スウェーjing加工を施したものを工程 B と呼ぶ。工程 A および工程 B によって作製した複合材料について繊維の配向度の観察、熱伝導率および熱膨張率の測定を行い、これらに及ぼすスウェーjing加工の影響を調べた。配向度の観察には光学顕微鏡を用いた。顕微鏡写真より各試料について炭素繊維 50 本の配向角を測定した。配向度の評価には式(1)に示されるヘルマンの配向係数¹⁾を用いた。

$$F = (3 \times \cos^2 \theta - 1) / 2 \quad (1)$$

ここで、F : ヘルマンの配向係数、θ : 加工方向と繊維がなす角である。なお、F=1 : 完全平行配向、F=0 : ランダム配向、F=-1/2 : 完全垂直配向を示す。

熱伝導率の測定にはレーザーフラッシュ法熱定数測定装置を用いた。熱伝導率は式(2)にて表される。

$$K = \alpha \cdot c_p \cdot \rho \quad (2)$$

ここで、K : 熱伝導率(W/mK)、α : 熱拡散率(m²/s)、c_p :

Table1 Properties of carbon fiber.

Pitch based carbon fiber	Diameter (μm)	Length (μm)	Thermal conductivity (W/mK)	Density (Apparent density) (g/cm ³)
FMX200	8.8	200	800~1200	2.23 (0.70)

定圧比熱容量 (J/kgK), ρ : 密度 (kg/m³) である.

3. 実験結果および考察

図1はAl粉末と炭素繊維との転動型ボールミル3時間処理後のSEM写真である。(a)低倍率の写真からAl粉末と繊維が比較的均質に分散していること,および(b)高倍率の写真から繊維の損傷も殆ど生じていないことが分かる. 図2にAl/FMX200の工程Aおよび工程Bの光学顕微鏡写真を示す. 図3はヘルマンの配向係数により炭素繊維の配向度を評価した結果である. Al/FMX200, Cu/FMX200とも加工前はほぼ完全垂直配向していたのに対し,加工後は完全平行配向に近い値を示している. これらより熱間スウェーjing加工は,配向度の向上に関して極めて有効であることが確かめられた.

図4に両工程によって得られた複合材料の熱伝導率を示す. 工程Bの熱伝導率は工程Aのそれに比べてAl/FMX200で約2倍, Cu/FMX200で約1.6倍となった. これは炭素繊維の配向度が向上し,繊維の長手方向の熱伝導特性が寄与した結果であると考えられる. 図中の破線は金属粉末単体に複合材料の場合と同一の条件で焼結,スウェーjing加工を施したものである. これと比較して複合材料の熱伝導率は,Al/FMX200では劣り, Cu/FMX200ではほぼ変わらない値となった. この原因としては,炭素繊維と金属基地との濡れ性や界面状態,更にはスウェーjing加工を施す際に受ける繊維の損傷なども影響しているものと考えられる.

Fig.1 SEM micrographs of 3-hour mixture for Al/FMX200.

Fig.2 Micrographs of Al/FMX200 composites.

Fig.3 Hellman's orientation coefficients of composites.

Fig.4 Thermal conductivity of composites.

複合材料の密度は, Al/FMX200ではAl単体より約10%, Cu/FMX200ではCu単体より約30%小さくなった. 炭素繊維の密度は表1に示したように2.23g/cm³と軽量であり, Cuの8.93g/cm³と大きな差があるため, Cu/FMX200はAl/FMX200に比べて相対的に密度の低下率が大きくなった.

4. 結言

- (1) 熱間スウェーjing加工の前後で炭素繊維の配向度は明らかに向上した.
- (2) 炭素繊維の配向度は複合材料の熱伝導率に大きな影響を及ぼした.

参考文献

- 1) 日本化学繊維協会編, 繊維ハンドブック, p.169 (1996) 丸善.