研 究

黒鉛—Ni系複合材の摩擦摩耗特性

長田 晴裕^{☆1}, 山中 拓也^{☆2}, 山本 伸一^{☆3}, 岡田 健^{☆1}^{☆1}(株)先進材料利用ガスジェネレータ研究所坂戸分室, 〒350-0285 坂戸市片柳 1500. ^{☆2}イーグル工業(株), 〒350-0285 坂戸市片柳 1500. ^{☆3}(株)先進材料利用ガスジェネレータ研究所, 〒112-0006 豊島区北大塚 1-13-4.

Friction and Wear of Graphite-Ni Composite

Haruhiro Osada^{☆1}, Takuya Yamanaka^{☆2}, Shinichi Yamamoto^{☆3} and Ken Okada^{☆1}^{☆1}Research Institute of Advanced Material Gas-Generator Sakado Laboratory, 1500 Katayanagi Sakado 350-0285. ^{☆2}Eagle Industry Co., Ltd., 1500 Katayanagi Sakado 350-0285. ^{☆3}Research Institute of Advanced Material Gas-Generator, 1-13-4 Kitaotuka Toshima-ku 170-0004.

Received April 19, 1999

SYNOPSIS

Graphite-Ni composites were fabricated by hot pressing from graphite powder electrolessplated with Ni and chopped carbon fiber as the raw materials. The relationship of chopped carbon fiber volume fraction (V_f) and Ni matrix volume fraction (V_{Ni}) on mechanical characteristics, friction and wear were reviewed. The results were as followed:

- (1) Bending strength and Young's modulus increase with V_f at constant porosity. In case that porosity increases, these decrease with porosity.
- (2) Friction coefficients of these composites increase with an increase of V_f with V_{Ni} more than 40 percents.
- (3) Specific wear amount of these composites decrease by a chopped carbon fiber addition, and the decrease quantity is influenced by V_f , V_{Ni} .

KEY WORDS

graphite, Ni, chopped carbon fiber, mechanical characteristics, friction and wear

1 緒 言

近年, セラミック粒子, ウィスカーおよび繊維などにより強化した種々の金属基複合材料が様々な用途に開発応用されている. 中でも, カーボン繊維を強化材とした複合材はカーボン繊維が固体潤滑剤の役割をはたすと考えられ, Al, Cu 等をマトリックスとした金属基複合材料の摩擦摩耗特性について種々の検討がなされている¹⁻³⁾. 金属基複合材料は, 潤滑油の使用できない比較的高温で使用されるドライシール用しゅう動材として, シールを構成する部品の多くが金属であるため熱膨張係数が近く, また, 金属に近い加工精度が期待できる. このような点に着目し, 金属基複合材料によるシールしゅう動材を設計するための基礎的データの取得を進めている.

本報告では黒鉛を潤滑材にNiをマトリックスとする重量比で黒鉛: Ni=20:80なる複合材にさらにカーボン短繊維を添加複合した材料について, 未処理のカーボン短繊維, および, 予めNiめっきを表面に施したカーボン短繊維を添加することにより, 複合材中のカーボン短繊維含有率, マトリックス含有

率による組織, 曲げ強さ, ヤング率などの機械的性質と特に摩擦摩耗特性への影響を調べることを目的とした.

2 試料および実験方法

実験に用いた原料は, 人造黒鉛粉末に無電解Niめっきを施したいわゆるNi被覆黒鉛粉末/G-Ni粉末(パウレックス(株)製, 粒子径約50 μ m, Niめっき量: 80, 74, 65, 50mass%, 以下G**Ni (**はNiめっき量mass%)と記す)と呉羽化学工業(株)製カーボン短繊維クレカチョップM-201S(繊維長さ0.13mm, 繊維直径14.5 μ m)である. カーボン短繊維は未処理のまま, あるいはパウレックス(株)にてG-Ni粉末と同様の無電解Niめっきを施して用いた(以下, 未処理のカーボン短繊維をCF, Niめっきを施したカーボン短繊維をCF**Ni (**はNiめっき量mass%)と記す). これらの粉末を, 焼結体中のカーボン短繊維含有率(以下 V_f (vol%)と記す)が0~40となるよう秤取し, 攪拌機によりステアリン酸を溶解したアセトン中で混合乾燥し混合粉末とした. Table 1に配合の一覧を示す. つぎに, 黒鉛製モールドに混合粉末を充填し, 温度: 860°C, 真空度: 1~10Pa, プ

レス圧力: 42.5MPa, 保持時間: 1hの条件でホットプレス焼結した (Table 2). 焼結体寸法は $\phi 55 \times 12\text{mm}$ である. 焼結後, 加圧方向に対して直角の面がしゅう動面になるようにしゅう動試験片を, 加圧方向に対して直角の面が引っ張り圧縮応力作用面となるように曲げ強さ試験片を加工した. 見掛け密度・見掛け気孔率の測定はJIS C 2141に準拠した飽水法で行った. 組織観察は光学顕微鏡およびSEMを用いた. 曲げ強さはJIS R 1601に準拠した3点曲げ試験により測定した. ヤング率は曲げ試験での荷重-変位計測値から求めた. しゅう動試験には高温摩擦摩耗試験機を用い, 試験温度: 400°C, 面圧: 0.15 MPa, 周速: 2.0m/s, 試験時間: 3h, 大気雰囲気条件 (Table 3) で実施した. Fig.1に試験装置の模式図を, Fig.2に試験片と相手材の形状を示す. 試験装置は縦軸型で, 雰囲気を加熱する電気炉内で, 下部 (回転) 軸に取り付けたメーティングリングと上部 (負荷) 軸に取り付けたシールリングを回転しゅう動し, しゅう動トルクはカンチレバーを介してロードセルで計

測する構造である. 試験片形状はシールしゅう動材としての適用を考慮し, リングオンリングタイプとした. 試験材料をシールリングとし, メーティングリング材には高温で実績のある⁹⁾炭化クロムコーティング (基材はAMS6322) を用いた. 摩擦係数はしゅう動トルクから算出し, 摩耗量は試験前後の試験片高さをマイクロメータで計測し算出した.

3 実験結果および考察

3.1 密度・気孔率および組織

Fig.3にG80NiにCFを添加した焼結体とG80NiにCF80Niを添加した焼結体の見掛け密度を, Fig.4に見掛けの気孔率をそれぞれ示した. Fig.5にこれら焼結体の光学顕微鏡組織写真の

Table 1 Blending fraction of used materials at each chopped carbon fiber volume fraction (Vf).

G80Ni(mass%)		100	98	96	93	89	84
CF(mass%)		0	1.9	4	7.4	11	17
Volume fraction (vol%)	Chopped carbon fiber(Vf)	0	6	12	21	30	40
	Ni matrix (V _{Ni})	50	47	44	40	35	30
	Graphite	50	47	44	39	35	30

G80Ni(mass%)		100	90	85	68	33
CF80Ni(mass%)		0	9.7	16	32	67
Volume fraction (vol%)	Chopped carbon fiber(Vf)	0	6	10	20	40
	Ni matrix (V _{Ni})	50	50	49	48	45
	Graphite	50	44	41	32	15

Table 2 Hot-pressing condition.

Temperature	860°C
Pressure	42.5MPa
Atmosphere	1~10Pa
Keeping time	1h

Table 3 Friction and wear test condition.

Speed	2.0m/s
Load	27N
Temperature	400°C
Atmosphere	in Air
Test time	3h

Fig.1 Schematic view of friction and wear tester.

Fig.2 Shape of test piece.

一例を示した。何れの組織写真も、加圧方向に直角方向の断面組織である。黒色粒子が黒鉛粒子で、灰色部分がマトリックスのNi、細長い粒子がカーボン短繊維である。見掛け密度

はVfの増加とともに低下傾向を示し、低下量はCFを添加した場合の方が多かった。気孔率は、CF80Niを添加した場合は、Vfにかかわらず0.1%以下であるが、CFを添加した場合はVf

Fig. 3 Relationship between apparent density and chopped carbon fiber volume fraction (Vf) in G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

Fig. 4 Relationship between porosity and volume fraction of chopped carbon fiber (Vf) in G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

Fig. 5 Optical micrographs of G80Ni (A), G80Ni+CF (B,C), G80Ni+CF80Ni (D~F). (A): Vf=0, V_{Ni} =50, (B): Vf=21, V_{Ni} =39, (C): Vf=40, V_{Ni} =31, (D): Vf=6, V_{Ni} =50, (E): Vf=20, V_{Ni} =48, (F): Vf=40, V_{Ni} =45

の増加とともに急激に増加した。組織写真からもこの気孔率増加の傾向は認められた。

3.2 機械的性質

Fig.6に Vf と曲げ強さの関係を示した。CFを添加した焼結体は Vf の増加とともに直線的に強度は低下した。一方、CF80Niを添加した焼結体は Vf による強度の変化は小さいが、10%以上の Vf において僅かではあるが増加傾向を示した。次に、気孔率と曲げ強さの関係を Fig.7 に示した。CFを添加した焼結体は気孔率の増加とともに指数関数的に強度低下し、一方、CF80Niを添加した焼結体は気孔率0.1%以下で270~300MPaのほぼ一定の強度を示した。この結果から、CF添加における強度低下は気孔の増加に起因したもので、CF80Ni添加においてはFig.4に見られるようにカーボン短繊維添加による

気孔が0.1%以下に保たれたために強度変化が小さくなったものと考えられる。

Fig.8に Vf とヤング率の関係を示した。CF80Niを添加した焼結体は Vf の増加とともにヤング率は直線的に増大し、Vf=40%で37GPaに達した。一方、CFを添加した焼結体は Vf=12%までは同様にヤング率は増大したがこれ以上の Vf では減少した。次に、気孔率とヤング率の関係を Fig.9 に示した。CFを添加した焼結体のヤング率は気孔率0.4%以上で低下を示し、CF80Niを添加した焼結体は0.1%以下の気孔率で24~36MPaの範囲で変化を示した。この結果から、CF80Ni添加ではヤング率の低い黒鉛粒子の減少と黒鉛粒子よりもヤング率の高いカーボン短繊維の増加により、Vf に比例してヤング率が増加したと考えられる。CF添加では、気孔率の少ない

Fig.6 Effect of chopped carbon fiber volume fraction (Vf) on the bending strength of G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

Fig.8 Effect of volume fraction of chopped carbon fiber (Vf) on the young's modulus of G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

Fig.7 Effect of porosity on the bending strength of G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

Fig.9 Effect of porosity on the young's modulus of G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

$V_f=12\%$ まではカーボン短繊維の高いヤング率の効果が現れたものの、 $V_f=12\%$ を超えては気孔率の急激な増加によりヤング率の低下を生じたと考えられる。

3.3 摩擦摩耗特性

3.3.1 カーボン短繊維含有率と摩擦係数

摩擦係数はしゅう動トルクの安定した試験終了前600s間の平均しゅう動トルクから算出した。Fig.10にカーボン短繊維含有率と摩擦係数の関係を示した。各 V_f における、CF 含有材と CF80Ni 含有材との摩擦係数の差は僅かであった。共に、 V_f の増加とともに摩擦係数は増加傾向を示した。この結果から、摩擦係数はカーボン短繊維含有率によりほぼ定まることが分かった。

Fig.10 Effect of chopped carbon fiber volume fraction (V_f) on the friction coefficient of G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

Fig.11 Effect of chopped carbon fiber volume fraction (V_f) on the specific wear amount of G80Ni+CF and G80Ni+CF80Ni composites.

3.3.2 カーボン短繊維含有率と比摩耗量

Fig.11に V_f と比摩耗量の関係を示した。CFを添加した場合は、 V_f の増加とともに比摩耗量は減少し、 V_f が21%を超える量では増加を示した。一方、CF80Niを添加した場合は $V_f=6\%$ ではCF添加と同じ値を示したが、 $V_f=10\%$ 以上で比摩耗量は増加した。この結果から、カーボン短繊維を添加することにより比摩耗量が改善することが分かった。そして、 $V_f=10\%$ 程度で、カーボン短繊維の添加方法にかかわらず耐摩耗性が最も大きいことが分かった。しかし、 V_f が6%を超える含有率で、CF添加とCF80Ni添加とで比摩耗量に相違を生じたことから、カーボン短繊維以外のマトリックスや黒鉛粒子も比摩耗量に影響していることが示唆された。 $V_f=6\%$ で両者の比摩耗量が一致したのは、この程度の V_f では無電解Niめっきの有無によるマトリックスや黒鉛粒子量の差が小さいためと思われる。

Fig.12 Effect of Ni matrix volume fraction (V_{Ni}) on the friction coefficient of G-Ni composites ($V_f=0$ and $V_f=20$).

Fig.13 Effect of Ni matrix volume fraction (V_{Ni}) on the specific wear amount of G-Ni composites ($V_f=0$ and $V_f=20$).

Fig.14 SEM images of sliding surface (A) and debris (B) of G80Ni (Vf=0, V_{Ni} =50).

3.3.4 Ni マトリックス量の影響

そこで、比摩耗量の差の大きい Vf=20% とカーボン短繊維を含有しない Vf=0% において、無電解 Ni めっき量を 74, 65, 50mass% とした原料粉末を用いて Ni マトリックス量 (以下、 V_{Ni} (vol%) と記す) の影響を検討した。

Fig.12 に Vf=0, 20% における V_{Ni} と摩擦係数の関係を、Fig.13 に Vf=0, 20% における V_{Ni} と比摩耗量の関係をそれぞれ示した。摩擦係数は V_{Ni} =40% 以上ではカーボン短繊維の有無により 0.1, 0.16 の差を生じたが、 V_{Ni} =30% 以下ではカーボン短繊維の有無にかかわらず V_{Ni} にかかわらずほぼ一定値を示した。比摩耗量はカーボン短繊維の有無にかかわらず V_{Ni} の減少とともに低下した。そして、何れの V_{Ni} においてもカーボン短繊維含有による比摩耗量の改善が認められた。次に、しゅう動面および摩耗粉の観察を行うことにより、この Ni マトリックス量の減少およびカーボン短繊維添加による摩耗低減の理由を検討した。

Fig.14 に V_{Ni} =50%, Vf=0% の試験後しゅう動面および摩耗粉の SEM 写真を示した。また、Fig.15 に V_{Ni} =50%, Vf=21% の試験後しゅう動面の SEM 写真を示した。試験前のしゅう動面は Fig.5 の組織写真に示した頻度で黒鉛粒子が認められるはずであるが、しゅう動試験後のしゅう動面はマトリックスが広く

Fig.15 SEM image of sliding surface of G80Ni+CF80Ni (Vf=20, V_{Ni} =48).

のしつぷされた状態を呈し、摩耗粉は主に薄片であることから、摩耗はマトリックスのしつぷしとその剥離により進行していると推察された。一方、Fig.15 に示した V_{Ni} =50%, Vf=21% の試験後しゅう動面の SEM 写真では、カーボン短繊維はマトリックスとともにしゅう動し、荷重を支えるとともにマトリックスの補強材として作用しているように見えた。この作用によりカーボン短繊維添加により摩耗が低減したものと推察された。

4 結 言

黒鉛を潤滑材に Ni をマトリックスとした黒鉛-Ni 複合材にさらにカーボン短繊維を添加複合した材料について、カーボン短繊維含有率、マトリックス含有率による機械的性質と特に摩擦摩耗特性への影響を調査した。結果は以下の通りである。

- (1) 気孔率の増加しないマトリックス含有量ではカーボン短繊維含有率増加により曲げ強さ、ヤング率は増加するが、気孔率の増加する場合は減少した。
- (2) 摩擦係数はマトリックス含有率 40% 以上ではカーボン短繊維含有率により増大した。
- (3) 比摩耗量はカーボン短繊維添加により減少しカーボン短繊維含有率 10% 近傍で耐摩耗性の改善はいずれの場合も認められたが、その減少量はマトリックス含有率、カーボン短繊維含有率により異なった。

文 献

- 1) 不破良雄, 道岡博文: "繊維強化金属材料(FRM)の摩擦・摩耗", 潤滑, 30(1985)365-370.
- 2) 岡田勝蔵: "短繊維分散 Al-Cu 合金複合材のすべり摩擦", 潤滑, 32(1987)880-885.
- 3) 久門輝正, 久米原宏之ほか: "炭素繊維強化金属の摩擦・摩耗機構 (第1報)", 潤滑, 33(1988)717-722.
- 4) 竹田博光編: セラミックコーティング, 日刊工業新聞社, (1988)133.