

技 術 論 文

溶湯浸透法によって作製した SiC 二段反応焼結体の摩耗特性 Wear Resistance of Two-step Reaction Sintered Silicon Carbide Ceramics Fabricated by Melt Infiltration



技術開発センター
第一開発室 主任技師
博士(工学) 花田 喜嗣
Yoshitsugu Hanada

技術開発センター
第一開発室 主任技師
博士(工学) 肖 陽
Yo Sho

技術開発センター
技術顧問
工学博士 恵良 秀則
Hidenori Era

要 旨

耐摩耗性材料の性能改善を図るため、二段反応焼結法を適用して SiC セラミックスを作製した。SiC 粉径を $5\mu\text{m}$ から $150\mu\text{m}$ と変化させ、異なるサイズの粉末を混合した種々の出発材料を準備し、組織と摩耗特性に及ぼす SiC 粉末サイズの影響を調べた。

焼結体中における SiC 粒径に拘わらず、すべての試験片で SiC は一定の面積率 65% を示した。また、アブレシブ摩耗率とエロージョン摩耗率の最も良好な結果は、SiC 粒径が $20\mu\text{m}$ 以下の原料を用いた場合で、それぞれ $2.2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ および $0.1 \text{ mm}^3/\text{kg}$ を示した。微細な SiC 粉末原料を利用することによって優れた耐摩耗性を有する焼結 SiC セラミックスを得ることができた。

Synopsis:

The two-step reaction sintered Silicon Carbide (SiC) was applied as wear-resistance materials. The powder sizes of SiC feedstock were changed from 5 to 150 μm , and this study investigated the effects of the SiC powder size on the structure and wear properties of sintered SiC ceramics.

The constant area fraction is SiC All sintered samples of about 65%, irrespective of the SiC grain size. The most favorable abrasive and erosive wear rates using steel shots were about $2.2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ in all samples and $0.1 \text{ mm}^3/\text{kg}$ at intergranular distance of the SiC less than 20 μm . Consequently, sintered SiC ceramics with superior wear resistance were obtained using a finer SiC powder feedstock.

1. 緒言

炭化けい素 (SiC) は軽量、高耐摩耗性、高温安定性など優れた性能をもつ材料であり^{1,2)}、新しい高温耐食材や耐摩耗材として非常に有望である。著者らはこれまでの研究で、SiC の耐摩耗部材としての適応拡大を図るため、溶湯浸透法による SiC 反応焼結体を作製し、

SiC の性能改善の検討を行ってきた³⁻⁵⁾。

しかしながら、設備の使用環境により摩耗状態は大きく異なるため、用途によってその材料がどのような摩耗特性を有するのかを把握し、その都度、適切な材料を選定する必要がある^{6,7)}。鋼材圧延ロール、搬送ローラーや鉱石搬送ライナーなどは主にアブレシブ摩耗

が発生し、また、発電所や焼却炉などの搬送系ダクト内面はエロージョン摩耗が発生すると考えられる。鉄系の耐摩耗材料として、Cr, Mo, W, V などの炭化物形成元素を複合添加した多合金白鑄鉄に対してはアブレシブ摩耗やエロージョン摩耗特性の研究が多くなされ、添加される元素の種類やその量による摩耗への影響が明らかにされつつある⁸⁻¹⁰⁾。

また、SiC セラミックスの摩耗特性もいくつか報告されており、SiC の製造方法の違いによって、またそれらの複合材において耐摩耗性が異なることが示されている¹¹⁻¹⁴⁾。しかしながら、溶湯浸透による二段反応焼結法で作製した SiC における摩耗特性の報告はほとんど見られない。

そこで、本研究では Si を溶湯浸透させた SiC 二段反応焼結体を作製しアブレシブ摩耗とエロージョン摩耗特性に注目し、検討を行った。SiC 反応焼結体の摩耗特性は、プリフォームの SiC 粉末の粒径を変化させ、SiC の焼結組織および摩耗率から考察を行った。

2. 実験

摩耗試験に用いた SiC 焼結体は、溶湯浸透法による二段の反応焼結によって作製した³⁻⁵⁾。プリフォームの原料は Si, C, SiC および樹脂粉末を用いた。プリフォームに使用する SiC は Table 1 に示すように、5~150 μm の粒径の 5 種類の粉末を準備し、それぞれ粉末の名称を A, B, C, D, E とした。これらの SiC 粉末を用いて配合を調整し、Table 2 に示す 11 種類の試料を準備した。試料 AA, BB, CC, DD, EE はそれぞれ粒径の異なる 1 種類のみ SiC 粉末を使用した。また、異なる粒径の SiC 粉末を混合することで大きな粒子間に小さな粒子が配置され粒子間距離を短くできると考えられる。そこで、2 種類の SiC 粉末を 50mass% ずつ配合した試料 AB, AE, BE, DE を準備し、粉末混合が摩耗特性に与える影響を調査した。以下 mass% は % と略す。

さらに、アルミナグリットを用いるエロージョン摩耗試験ではスチールショットを用いた場合よりも摩耗率が高くなると考えられるため、微細な粉末である D と E の混合試料も準備した。試料 DE1 と DE2 は、それぞれ粉末 D を 90% と E を 10%、粉末 D を 70% と E を 30% とした。浸透用材料は純度 99% 以上の Si を用いた。

Fig. 1 に原料に用いる SiC 粉末の代表例として、粉末 D と E のレーザー顕微鏡観察写真を示す。どちらの粒も角ばった塊状であり、粒の表面には凹凸が観察された。また、配合調整した粉末のバインダーとして、熱可塑性のフェノール樹脂の粉末を用いた。試料の配合は、事前の試験により、Si 溶湯が一次焼結体の内部へ容易に浸透できる条件として設定した。

Table 1 Powder size of SiC for sintering.

Powder	Size (μm)
A	125-150
B	53-75
C	20-50
D	10-20
E	5-10

Table 2 Compounding condition of SiC powders for wear testings.

Sample	Powder	Compounding ratio (mass%)	Wear testing ^{*1}
AA	A	100	A, Es
AB	A, B	50, 50	A, Es
BB	B	100	A, Es
CC	C	100	A, Es
AE	A, E	50, 50	A, Es
BE	B, E	50, 50	A, Es
DD	D	100	A, Es, Ea
DE1	D, E	90, 10	Ea
DE2	D, E	70, 30	Ea
DE	D, E	50, 50	A, Es, Ea
EE	E	100	A, Es, Ea

*1: Symbol A represents the abrasive wear test. Symbols of Es and Ea represent the erosive wear tests using steel shot and alumina grit shot, respectively.

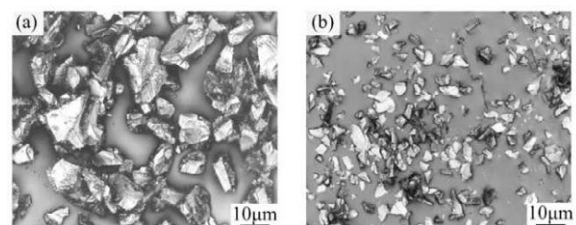


Fig.1 Micrographs of SiC powder of (a) D and (b) E.

本研究における焼結体の作製手順は前報と同様に、粉末混練、成形、一次焼結、二次焼結とした³⁻⁵⁾。まず、各粉末を秤量した後、回転落下式攪拌機により 24h の乾式混合を行った。混合した粉末を内寸 50mm×50mm×30mm の金型に入れて加熱加圧成形し、厚さ 3mm の成形体を得た。次に、成形体は不活性ガス雰囲気中で加熱し、一次焼結を行った。続いて、二次焼結は Fig. 2 に示した方法により行った。一次焼結体を緻密な黒鉛のつぼに入れ、その上に浸透用材料を載せた。その後、炉内圧力を 10⁻¹ Pa 以下に保ちながら、加熱焼成を行った。このとき、浸透用材料は溶融して、一次焼結体の内部へ浸透する。その後、十分に時間をかけて室温まで冷却し、凝固させた。

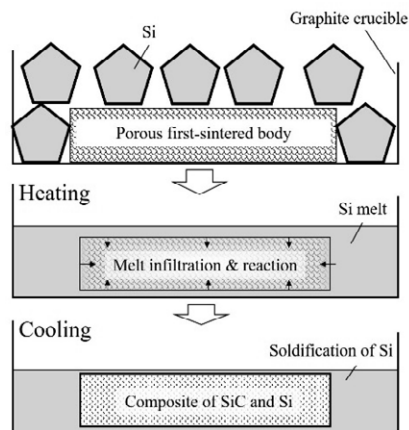


Fig.2 Schematic illustration of SiC fabricating process by reaction sintering method.

二次焼結体試料は、観察用と摩耗試験用を準備した。観察用の試料は、ダイヤモンド砥粒のバフにより鏡面研磨した。焼結体の組織観察はレーザー顕微鏡を用い、焼結体のSiCの面積率、SiC粒径やSiC粒子間距離は、レーザー顕微鏡から得られた試料の組織写真を用いて二値化画像処理解析を行って算出した。ここで、二次焼結体のSiC粒径は観察されるSiC粒子の面積と同じ面積の等価円の直径とし、また粒子間距離は粒子表面間の距離とした。焼結体の相同定は、X線回折装置(XRD)を用いた。X線回折ではCu K α 線を用い、20°から100°までのステップスキャンにより回折パターンを得た。二次焼結体の硬度は、マイクロビッカース硬度計を用い荷重2.9Nに設定して測定した。1試料につき10箇所での測定を行い、最大と最小を除いた8箇所の硬度の平均値をその試料の硬度とした。

次に、摩耗試験はアブレイブ摩耗とエロージョン摩耗の2種類の方法を用いた。摩耗試験用の試料は50mm×50mm×3mmとし、二次焼結後の試料表面を平滑に研磨した。アブレイブ摩耗はベルト研磨機を用いて行った。研磨ベルトの幅および長さはそれぞれ100mmと915mmである。試験条件は、試料に荷重3.1kgを与えながら研磨ベルトを8.6s⁻¹の速度で回転させ、試験時間として2h行った。また、研磨ベルトは試料毎に新品に取り換えた。各試料のアブレイブ摩耗率は、試験前後の重さを測定しその重量減少量を求め、さらに試料の比重、荷重および試料に対するベルトの接触通過距離から算出した¹⁾。エロージョン摩耗試験は、吸引式ショットブラスト機によって行った。試験片は装置の中央に固定し、ノズル(内径7.2mm、アルミナ製)と試験片の距離は30mmとした。本試験で用いたショットはスチール球とアルミナグリットとした。スチール球は直径約1.8mmの球体であり、アルミナグリットは約1.2mmの塊状である。スチール球の場合は試験条件

として、投射角度は45°および90°、空気圧は0.7MPaと設定し、投射量は100kgとした。なお、本研究では投射量10kgで実験を行ったが、摩耗率の差異を見出すことができなかったため、投射量を多くして実験を行った。アルミナグリットを用いたエロージョン試験では、投射角は90°で空気圧は0.4MPaと設定し、アルミナグリットは8kgを投射した。各試料のエロージョン摩耗率は、試験前後の重量減少量とショット投射量から算出した。また、代表的な摩耗試験後試料表面のマクロ観察およびSE像は、それぞれレーザー顕微鏡およびSEM-EPMAを用いた。

3. 結果と考察

3.1 二次焼結組織

まず、Si合金溶湯を浸透させて二次焼結した試料EEのX線回折パターンをFig. 3に示す。Fig. 3に示すSi溶湯を用いた場合では、3C、4H、6H型の3種類のSiCとSiの相の回折ピークが観察された。プリフォームのSiC粉末は3C、4H、6H型の3種類のSiC結晶構造をもつ混合粉末であり、反応焼結法によって生成されるSiCは3C型であることを既に報告している³⁻⁵⁾。

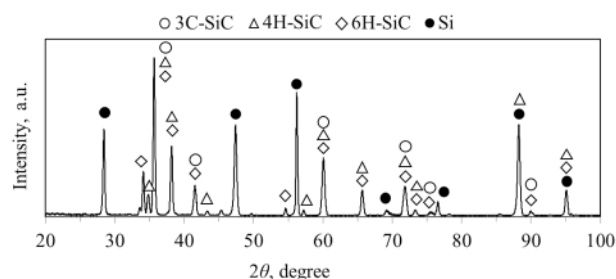


Fig.3 X-ray diffraction patterns of second-sintered SiC infiltrated by Si.

プリフォームのSiC粉末の粒径を変化させた二次焼結体のレーザー顕微鏡観察結果をFig. 4に示す。ここで、試料AA, BB, ABについては低倍率(200倍)の組織写真を示しているが、試料CC~EEの配合条件では組織が微細であるため、高倍率(1000倍)の観察を行った結果も示している。また、これまでの組織調査³⁻⁵⁾から灰色の相はSiC、白色の相はSiである。試料AAは、本研究においてプリフォームのSiC粉末Aの粒径が125~150 μ mと最も大きい条件である。組織中に見られるSiC粒子は細長い形状が多く、長手方向で125 μ m程度の長さである。また、これらのSiC粒子はまばらでSiC粒子間の距離も大きく、白色のSi相の領域が広く見られる箇所もある。試料BBでは、粉末Aのおよそ半分の大きさの粉末Bを用いており、試料AAに比べて微細な組織を呈している。試料ABは、粉末AとBを混合したものである。その組織は、125 μ m程度のSiC粒子が分布する隙間に50 μ m程度のSiC粒

子が埋めるような形態となっている。試料 AA と比べて、試料 AB の組織は、Si の相に小さな SiC 粒子が分布し、SiC 粒子間が短くなっている。試料 CC, DD, EE の順でプリフォームの SiC 粉末の粒径が小さくなり、組織に見られる SiC 粒子も微細になる。試料 EE の SiC の粒径は約 $5\mu\text{m}$ となっている。試料 AE および BE では、SiC 粒径が粉末 A と E では約 30 倍、粉末 B と E では約 15 倍異なる。これらの組織では、大きな SiC 粒子を取り囲むように、微小な粒子が周辺を埋め尽くしている様子が観察された。

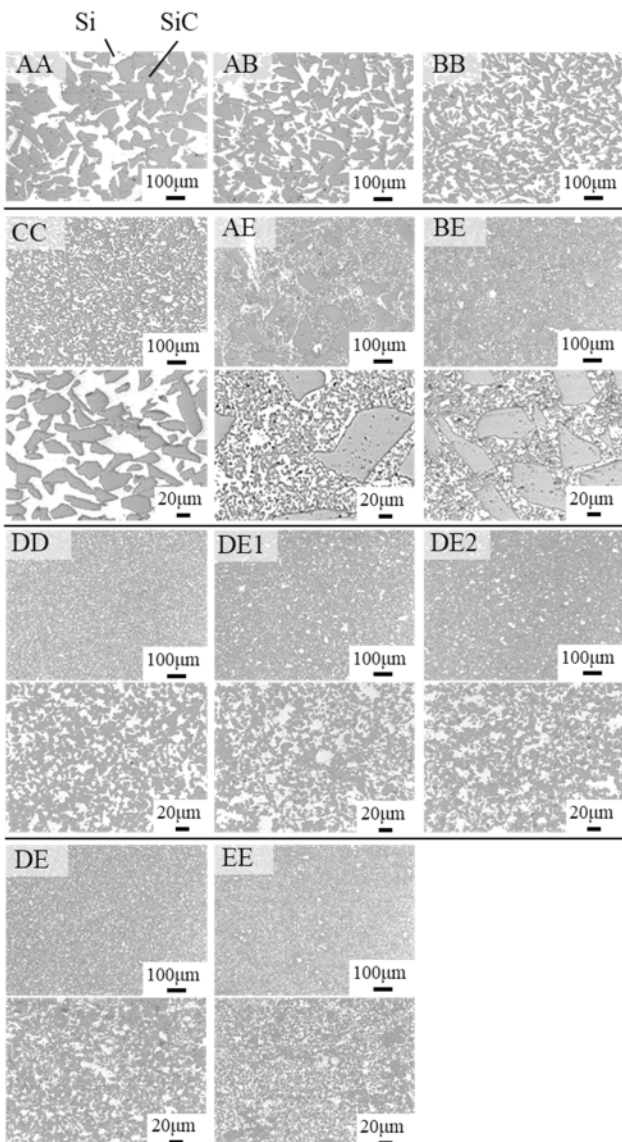


Fig.4 Micrographs of cross-sectional second-sintered specimens.

次に、プリフォームの SiC 粉末 E の配合量を変化させて焼結した試料 DD から EE までの組織についてみると、試料 DD から DE2 までは組織的な差はあまり見られなかった。20 μm 程度の SiC 粒子のごく近傍に 5 μm 程度の小さい SiC 粒子が存在しているように見られ、一部の粒子は結合していることがわかる。粉末 E を 50%まで増加させた試料 DE になると、5 μm 程度の SiC

粒子が増え、試料 DD の場合に比べて Si 相の領域はやや減少した。試料 EE の組織はさらに微細になった。

3.2 アブレシブ摩耗特性

Fig. 5 にアブレシブ摩耗試験結果を示す。Fig. 5(a)に示される各試料のアブレシブ摩耗率を見ると、原料 SiC 粉末の粒径を変化させているにも拘わらず、全体的に同程度の摩耗率になった。原料 SiC 粉末径が約 30 倍の差がある試料 AA と EE と比較しても、摩耗率は大差が見られなかった。アブレシブ摩耗率に及ぼす組織中の SiC 粒径の影響を示した Fig. 5(b)を見ると、組織中の SiC 粒径の影響はほとんど見られず、アブレシブ摩耗率は平均として $2.2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ となった。ここで、一般ホットプレス法で作製された SiC のアブレシブ摩耗率としてこれまで報告されている値は、Pin-on-Disk 方式の場合は $0.4 \sim 4.0 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ で^{11,15)}、Block-on-Ring 方式の場合は $2 \sim 10 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ である¹³⁾。このことにより、本研究でのアブレシブ摩耗率は、それらの結果と比べて概ね同水準にあることがわかる。試料 EE の SiC 焼結体は従来の SiC セラミックスと同等の優れた耐アブレシブ摩耗特性を有している。

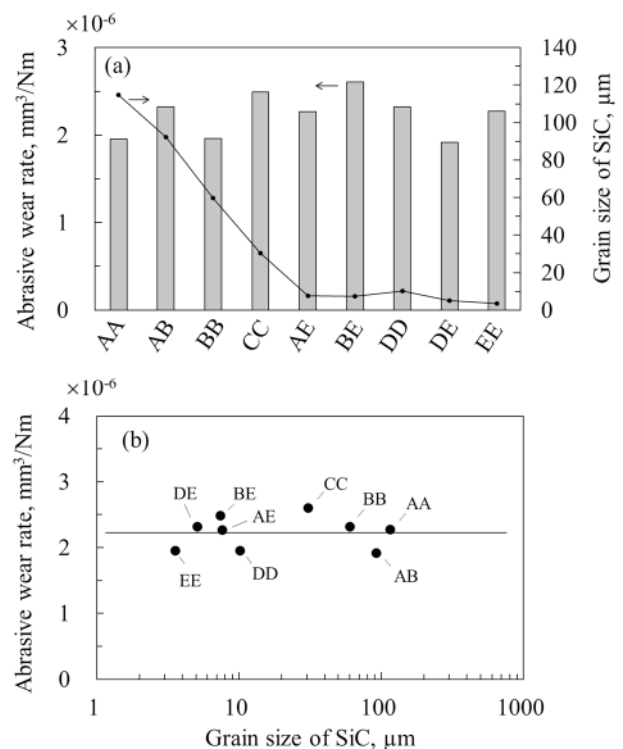


Fig.5 (a) Abrasive wear rate in second-sintered specimens and (b) effect of grain size of SiC on abrasive wear rate.

Fig. 6 に試料 CC および EE のアブレシブ摩耗試験後の試料表面のレーザー顕微鏡写真を示す。ベルトによる摩耗の方向は、写真の上部から下部にかけての向きである。左写真が低倍率 (400 倍) で右が高倍率 (3000 倍) の写真である。Fig. 6(a)に示す試料 CC の表面では、斜め矢印で示す箇所に全体的に摩耗による損傷部がひ

っかき傷のように残っている。特に SiC 粒子の方に傷が顕著に見られる。数十 μm の空洞（黒色部）も観察され、SiC あるいは Si 相が脱落した跡と考えられる。一方、Fig. 6(b)に示す試料 EE の表面には、試料 CC のような傷がほとんど観察されなかった。ただし、Fig. 6(b)の低倍率の写真では、高さの異なる緩やかなうねりが観察され、高倍率の写真においては白色の Si 相は見られず全体的に SiC 相だけが観察された。摩耗試験用ベルトの砥粒よりも SiC の粒径が小さいと摩耗の痕跡が残りにくいと考えられる。

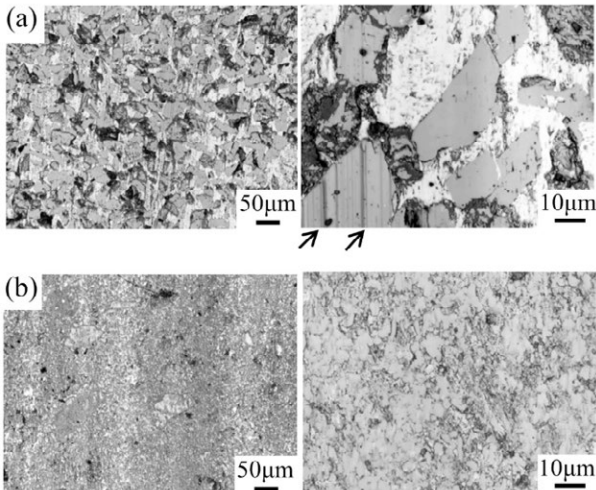


Fig.6 Micrographs of specimen surface after abrasive wear test in specimen (a) CC and (b) EE. Arrows indicate traces of wear.

ここで、マイクロビッカース硬度計で測定した組織中の SiC 相の硬度は約 3000HV、Si 相は約 1000HV であった。アブレシブ摩耗はベルト砥粒の横滑りによって生じることから、比較的硬度の低い Si 相は摩耗の初期段階で削ぎ取られ、その後の摩耗は主に SiC 相の摩耗に依存すると考えられる。したがって、硬質な SiC 粒子が多く存在する場合、SiC 相の面積率が一定であればアブレシブ摩耗率も一定になると考えられる。

3.3 エロージョン摩耗特性

3.3.1 スチールショットによる試験

Fig. 7 にスチールショットを用いたエロージョン摩耗試験結果を示す。Fig. 7(a)に示されるように、原料 SiC 粉末の粒径が試料 AA から EE と小さくなるにつれて、エロージョン摩耗率も低下することがわかった。特に、微細な粉末 E を配合させた試料 AE~EE においては、摩耗率が大きく低下した。また、Fig. 7(b)に示すようにショット投射角が 45° より 90° のときに摩耗率は低い、いずれの投射角でも摩耗率は組織中の SiC の粒径が小さくなるにしたがって低下した。投射角 90° に比べて 45° の摩耗率は約 6 倍高く、本条件範囲におい

て最大で約 $28 \text{ mm}^3/\text{kg}$ であった。摩耗率の最小値は試料 EE の $0.1 \text{ mm}^3/\text{kg}$ であり、試料 AA と比べて 2 桁以上の向上が見られた。

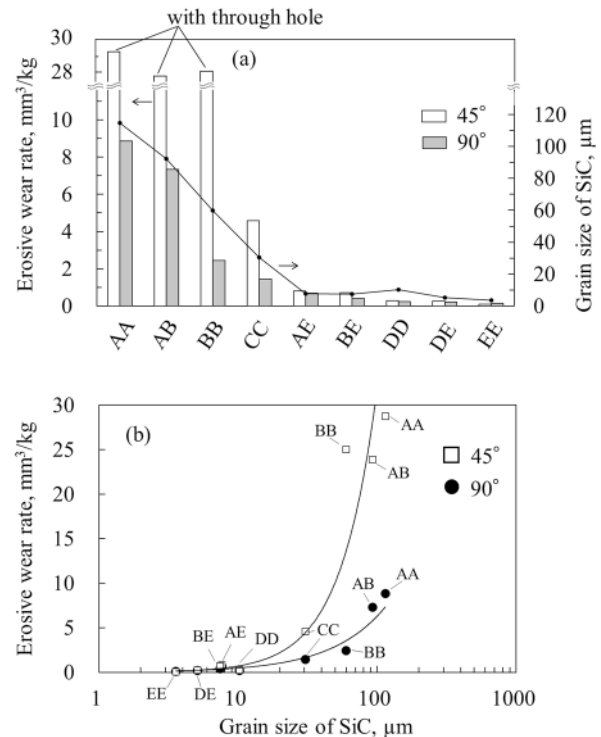


Fig.7 (a) Erosive wear rate using steel shot in second-sintered specimen and (b) effect of grain size of SiC on erosive wear rate.

投射角 45° および 90° におけるエロージョン摩耗試験後の試料外観写真をそれぞれ Fig. 8 および Fig. 9 に示す。Fig. 8 に示す投射角 45° として摩耗試験した後の試料 AA, AB, BB では、摩耗により直径 10mm 程度の貫通した穴ができていた。また、中央の大きな穴の周りに直径 1mm 程度の小さな穴も発生していた。この小さな穴はショットにより比較的大きな組織中の SiC 粒子 (Fig. 4) が脱落し、これが起因となって広がったと考えられる。試料 CC, AE, BE, DD, DE は貫通してないものの、スチール球が衝突した表面は肌が荒れて楕円状の窪みが生じていた。試料 EE ではスチール球が衝突した痕跡が僅かにわかる程度で、目視では減耗を確認できなかった。Fig. 9 に示す投射角 90° の場合では、試料 AA と AB には 45° の場合と同様に穴が発生していたが、直径が約 6mm とやや小さかった。また、試料 AA, AB, BB には投射角 45° のときと同様に 1mm 以下の小さな穴が生じていた。試料 BB~DD は、スチール球の衝突により損耗していることが目視で確認できた。試料 DE と EE は、ショットが衝突した痕跡を僅かに確認できる程度であった。セラミックスのような脆性材料の典型的な摩耗率と投射角の関係は、投射角が 80° から 90° の間で摩耗率が最大となると

いわれている⁷⁾。一般的に脆性材料のエロージョン摩耗は、投射角 90° に近くなるほどショットの衝突による材料の割れや欠落が生じやすくなるためと考えられている。

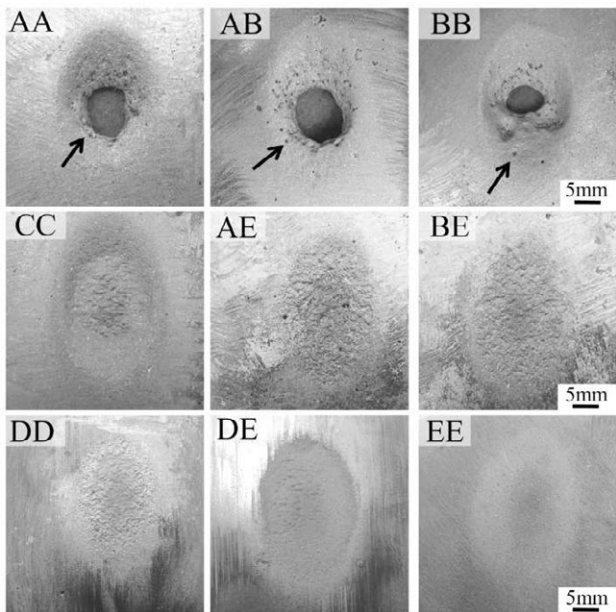


Fig.8 Appearances of specimen surface after erosive wear test at angle of 45 degrees using steel shot.

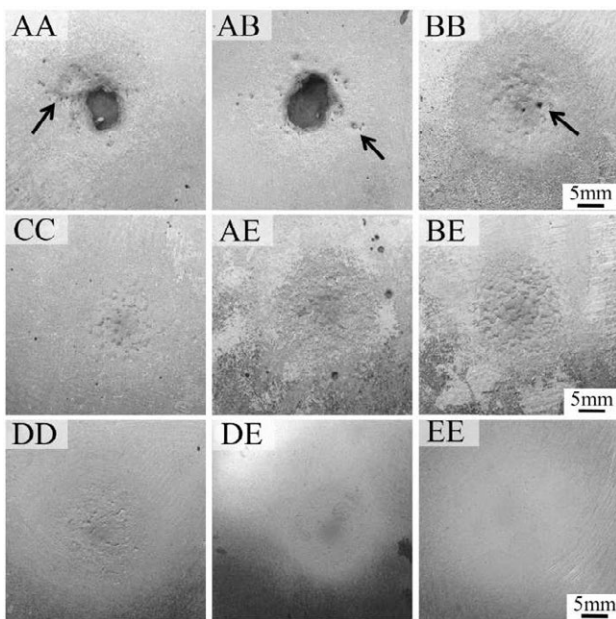


Fig.9 Appearances of specimen surface after erosive wear test at angle of 90 degrees using steel shot.

しかしながら、Fig. 7 に示したように本実験では投射角 90° よりも 45° の方が摩耗率は高くなった。これまでに報告されているエロージョン摩耗試験におけるショット投射量は 10kg 程度であることが多く^{10, 16)}、それに比べて本研究の摩耗試験はショット投射量が 100kg であり過酷な条件であると言える。このような

条件では、試料に大きな損耗を伴うことから、投射角 90° よりも 45° の方が試料に当たるショット範囲が広がり、そのため損耗する体積が相対的に大きくなった結果であると考えられる。一方、Fig. 7 に示したように、試料 EE では、投射角 90° の方の摩耗率が低くなった。これは、微細な SiC で構成される焼結体ではエロージョン摩耗特性が著しく向上するので、本研究における過酷な条件下でも、むしろ十分に耐え得る条件となり、投射角が高い 90° の方が摩耗率は低くなったと考えられる。

Fig. 10 に焼結組織中の SiC 面積率、SiC 粒子間距離および SiC 粒径の関係を示す。SiC 面積率は SiC 粒径には依存せず、概ね一定値 (約 65%) となり、SiC 粒径の増加とともに粒子間距離は増加することが確認された。粒子間距離は最小で約 $3\mu\text{m}$ (試料 EE)、最大で約 $95\mu\text{m}$ (試料 AA) となることがわかった。本摩耗条件では SiC 粒子間距離を $20\mu\text{m}$ 以下にすることで、エロージョン摩耗率が大きく低下し、耐エロージョン摩耗特性は著しく向上することがわかった。

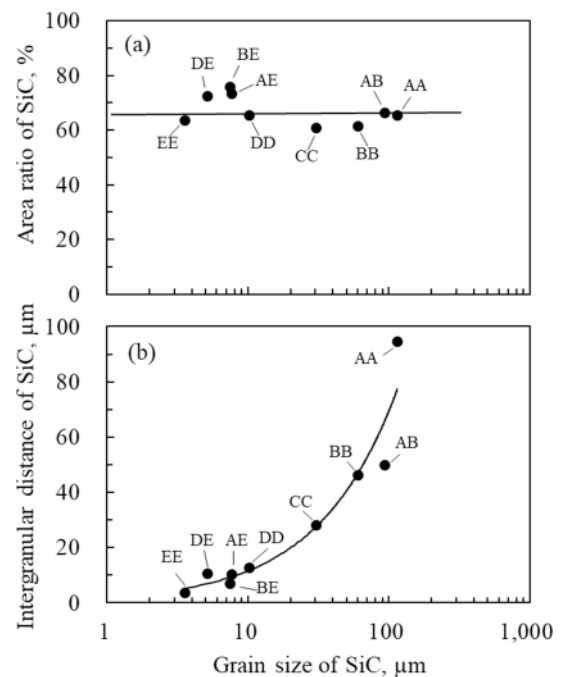


Fig.10 Relationships between (a) area ratio of SiC, (b) intergranular distance of SiC and grain size of SiC in second-sintered specimens.

3.3.2 アルミナグリットショットによる試験

投射角を 90° に固定した場合のエロージョン摩耗率に及ぼす組織中の SiC 粒径の影響を Fig. 11 に示す。粉末 E が増加するにつれて、組織中の SiC 粒径が約 $10\mu\text{m}$ から約 $3.5\mu\text{m}$ まで小さくなり、それに伴いエロージョン摩耗率は低くなった。摩耗率は試料 DD で $28\text{mm}^3/\text{kg}$ 、試料 EE で $17\text{mm}^3/\text{kg}$ となった。Fig. 12 に試料 EE におけるエロージョン摩耗試験後の試料表面の

レーザー顕微鏡写真を示す。Fig. 12の左写真は摩耗表面の起伏がやや大きく、いくつかき裂が見られた。右の拡大写真では、SiC粒子は確認されず全体的に細かい起伏が見られ損耗している様子が観察された。また、写真中の矢印が差すように10 μm 前後の窪みも観察された。

スチール球を用いた場合に比べて、アルミナグリットを用いたエロージョン摩耗率は3桁程度大きくなった。スチール球の場合は、いくつもの球が試料表面に衝突し、その衝撃により表面を徐々に破壊しながら損傷を与える。したがって、微小な剥離の蓄積により試料は損耗すると考えられる。一方、アルミナグリットの場合は、塊状であるため粒子の角が対象物を削ぐ効果により、試料に損傷を与えると考えられる。また、アルミナグリットはスチール球よりも粒子サイズおよび比重が小さいため試料に与える衝撃は小さいが、著しく高い硬度をもつ。さらに、アルミナグリットはスチールショットの体積で換算すると約2.5倍の体積効果をもつため、同じ投射重量でもアルミナグリットの方が大量に打ち出されることになり、エロージョン摩耗率が高くなると考えられる。

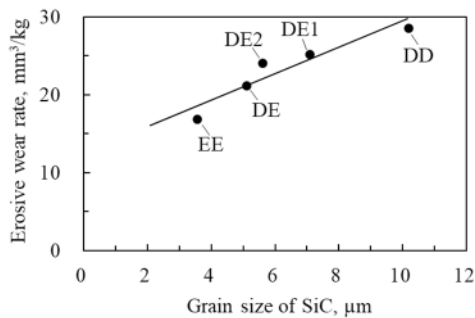


Fig.11 Effect of grain size of SiC on erosive wear rate using alumina grit shot.

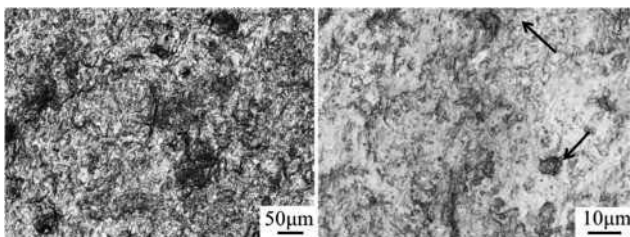


Fig.12 Micrographs of specimen surface of EE after erosive wear test using alumina grit shot. Arrows indicate cavities.

Fig. 13にアルミナグリットショットによるエロージョン摩耗試験に用いた二次焼結試料の組織中のSiC面積率、SiC粒子間距離およびSiC粒径の関係を示す。SiC粒径が変化してもSiC面積率は約65%と一定であった。一方、SiC粒径が大きくなるにつれてSiC粒子間距離は大きくなることが確認された。また、Fig. 14

に試料EEにおけるエロージョン摩耗試験後のSE像を示す。5 μm 程度の複数見られる粒は焼結後のSiCである。本来はFig. 4に示したようにSiCとSiは緻密な組織として確認されているが、摩耗表面ではSiCが粒として確認ができる。そのSiC粒子がむき出しになっている箇所もあれば、そのSiC粒の一部が剥がれ欠落してしまい窪みとなっている箇所も見られた。アルミナグリットを用いたエロージョン摩耗では、SiC粒子自体が摩耗しなくても、SiC粒子周辺のSi相が先行損耗することおよびショットの衝突で生じる亀裂がSi相を通して伝播することにより、SiC粒子が丸ごと欠落すると考えられる。したがって、スチール球を用いた場合と同様に、アルミナグリットによるエロージョン摩耗率を低下させるには、SiC粒径を小さくして均一に分散させ、SiC粒子間距離を短くすることが重要であると考えられる。

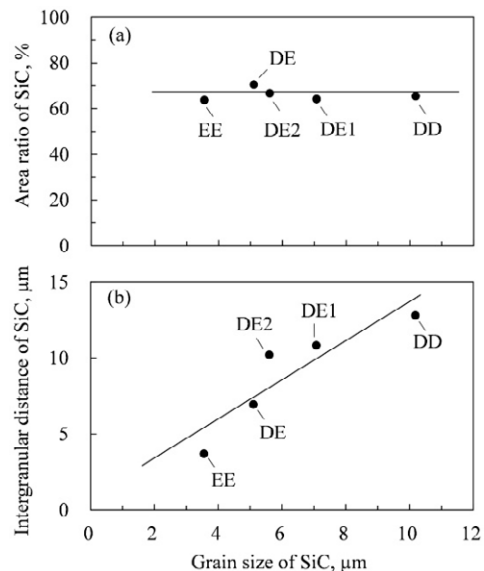


Fig.13 Relationships between (a) area ratio of SiC, (b) intergranular distance of SiC and grain size of SiC in second-sintered specimens for erosive wear test using alumina grit shot.

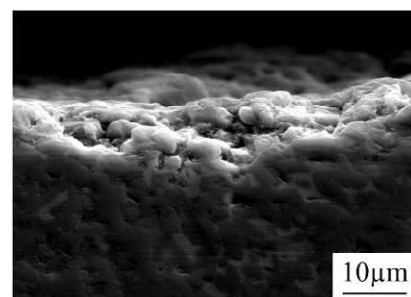


Fig.14 SE image of specimen surface of EE after erosive wear test using alumina grit shot.

4. 結言

原料SiC粉末の粒径を変化させて、SiC反応焼結体を作製した。得られた試料の組織を観察し、アプレシ

ブ摩耗およびエロージョン摩耗試験により、摩耗率に及ぼす組織の影響について検討を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 本焼結体試料の SiC 面積率は平均 65%であり、アブレシブ摩耗率は、焼結組織中の SiC 粒径や SiC 粒子間距離によらず一定値を示した。アブレシブ摩耗率は $2.2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ を示し、SiC 二段反応焼結体は優れた耐アブレシブ摩耗特性をもつことがわかった。
- 2) エロージョン摩耗率は、組織中の SiC 粒径に大きく依存することがわかった。スチールショットで投射角 45° の場合、SiC 粒径が $115 \mu\text{m}$ のときの摩耗率は $28 \text{ mm}^3/\text{kg}$ であるが、粒径 $5 \mu\text{m}$ のときでは $0.1 \text{ mm}^3/\text{kg}$ を示し、摩耗率を 2 桁程度低下させることができた。
- 3) エロージョン摩耗率を低下させるには、微細な SiC 粒子を均一に分散させて SiC 粒子間距離を短くすることで、ショットによる Si の損傷を極力抑えることが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) H. Tanaka: J. Ceram. Soc. Jpn 110 (2002) 877
- 2) A. Amanov, Y.S. Pyun, J.H. Kim and S. Sasaki: Tribology International 74 (2014) 28
- 3) Y. Hanada, Y. Sho, A. Yamamoto, T. Tokunaga and H. Era: J. JFS 91 (2019) 710
- 4) Y. Hanada, Y. Sho, A. Sonoda, H.G. Kang, H. Nagayoshi, A. Yamamoto and T. Tokunaga: Arch. Metall. Mater. 64 (2019) 1645
- 5) Y. Hanada, Y. Sho, A. Yamamoto, T. Tokunaga and H. Era: J. JFS 92 (2020) 8
- 6) S. Sasaki: Bull. Iron Steel Inst. Jpn 22 (2017) 17
- 7) K. Shimizu and K. Kusumoto: J. JFS 88 (2016) 234
- 8) S. Sasaguri, K. Yamamoto, Y. Yokomizo, K. Shimizu and Y. Matsubara: J. JFS 82 (2010) 667
- 9) Y. Nakajo, K. Shimizu, K. Kusumoto and H. Hara: J. JFS 88 (2016) 264
- 10) K. Ona, K. Shimizu and K. Kusumoto: J. JFS 88 (2016) 270
- 11) M. Iwasa and M. Kinoshita: J. Ceram. Soc. Jpn 108 (2000) 206
- 12) S.J. Cho, C.D. Um and S.S. Kim: J. Am. Ceram. Soc. 79 (1996) 1247
- 13) Y. Zhan and G. Zhang: Materials Letters 58 (2003) 4583
- 14) M.S. Suh, T. Hinoki and A. Kohyama: Tribology Letters 41 (2010) 503
- 15) S.K. Sharma, B.V.M. Kumar and Y.W. Kim: J. Korean Ceram. Soc. 53 (2016) 581
- 16) T. Funabiki, K. Shimizu, H. Hara, A. Ito and M. Shirai: Report of the 170th JFS Meeting 170 (2017)