

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760507

研究課題名(和文) 圧縮成形による繊維集合体の3次元構造化技術の開発と短繊維強化複合材料への応用

研究課題名(英文) Development of Fabrication Technique for 3-D Structure Consisting of Short Fibers Utilizing Compression Molding for Fiber Reinforced MMCs

研究代表者

水本 将之 (MIZUMOTO MASAYUKI)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：90325671

研究成果の概要(和文)：長繊維と金属粒子を圧縮成形することにより、3次元的な構造を持つ短繊維強化MMC用プリフォームを作製する新技术を開発することを目的とした。純Al粒子を分散させた繊維集合体を圧縮成形した結果、プリフォーム中に多数の切断された短繊維が観察された。Al粒子量や圧縮量を変化させた結果、繊維長さの分布が変化したことから、所定の長さに切断するための最適値がわかった。また、作製したプリフォームを用いたFRMMCは、プリフォームの3次元構造から予測された機械的特性を持つことがわかった。

研究成果の概要(英文)：In this project, a new fabrication technique for the MMC preform having 3-D structure consisting of short fiber aggregates by compressing the mixture of long fibers and metal particles was developed. Many short fibers were observed in the mixture of fiber aggregates and Al particles after compressing the mixture. When the amount of Al particles or compressive deformation of the mixture was changed, the distribution of fiber length was also changed. Thus, the experimental conditions to obtain the desired fiber length were indicated. In addition, the FRMMCs which employed the preform above mentioned showed the mechanical properties expected from the 3-D structure of the applied preform.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属生産工学

キーワード：金属基複合材料, 加圧溶浸法, 圧縮成形, プリフォーム

1. 研究開始当初の背景

(1) 短繊維強化 MMC の製造技術や特性評価に関しては、これまで多くの研究が行われており、現在では高い耐摩耗性が要求されるような自動車用シリンダブロックの内面やベルトコンベア用のローラなどで実用化されている。短繊維強化 MMC の高機能化への追求は、現在もなお多くの研究者により行われているが、依然「高機能だが高価」という MMC の普及を阻む最大の原因は解決されていない。マトリックス合金と比較して高価な強化材の価格の低下が望めない以上は、製造コストの低減が最も効果的かつ現実的な解決策であるといえる。これまでの MMC の製造コストの低減化の試みは、研究代表者らによるものも含めてプリフォームとマトリックス合金の複合化工程に注目したものがほとんどである。そこで、複合化工程と並んで高度な技術とコストを要するプリフォームの作製工程に注目した。一般に、短繊維強化 MMC 用プリフォームの作製工程は、「繊維の裁断」、「繊維とバインダの混合」、「所定の形状への成形」の工程から成るが、それらの工程の中でも、均一な長さにセラミックス繊維を裁断する工程には、多くの時間と労力を必要とし、微細に裁断された繊維が人体に対して極めて有害であることもあり、短繊維強化 MMC の製造プロセスにおけるボトルネックになっている。

(2) 研究代表者は、これまで MMC の低コスト化を目的として、正確な組織制御と製造工程の省力化を同時に達成可能な製造技術である低压加圧溶浸法の開発に成功し、得られる種々の MMC が優れた機械的及び物理的特性を示すことを明らかにしてきた。また、SiC 繊維の表面に種々の粒径のセラミックス粒子または金属粒子を分散させることにより、溶浸不良の低減および繊維の均一分布を達成すると共に、強固なプリフォームを用いることなく MMC 中の繊維の3次元的な配向性を制御できることを明らかにした。これらの研究の過程において、Al₂O₃ 長繊維と金属粒子を混合したプリフォームを圧縮成形することにより、長繊維が長さ 100 μ m 程度の短繊維に切断され、さらに繊維が3次元的にランダムに配向したプリフォームが得られる現象を見出した。これは、圧縮成形中にプリフォーム中に均一分散した金属粒子によって繊維にせん断応力が加わることにより、金属粒子の分布状態に対応した長さに切断されたためと考えられる。そこで、長繊維から成る2次元構造のプリフォームに簡単な圧縮成形を施すことによって、短繊維から成

る3次元構造のプリフォームへと進化させることにより、高機能な短繊維強化複合材料用のプリフォームを低コストで製造する技術を着想した。

2. 研究の目的

高機能 MMC の低コスト化を目標とした研究の一環として、圧縮成形による繊維集合体の3次元構造化技術の開発と、それを用いて作製したプリフォームによる短繊維強化 MMC の機械的および物理的特性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 圧縮成形による繊維集合体の3次元構造化技術を開発するために、種々のセラミックス長繊維および金属粒子を用いて、セラミックス長繊維と混合する金属粒子の粒径および量が、圧縮成形前のプリフォーム中の金属粒子の分布および圧縮成形後に得られる短繊維の長さおよび影響について調べる。

(2) 圧縮成形時に印加される圧力が、プリフォームの変形挙動および金属粒子による繊維の切断機構に及ぼす影響について調べる。

(3) 先の研究から得られた知見から、任意の長さの短繊維を含む短繊維強化 MMC 用プリフォームが得られる最適条件を明らかにする。

(4) 作製したプリフォームを用いて MMC を作製し、MMC 中の繊維の3次元的配向性、機械的および物理的特性を評価すると共に、従来法により作製した MMC の諸特性と比較する。

4. 研究成果

(1) 実験に使用する Al₂O₃ 長繊維の組成を変化させた際の、圧縮成形後のプリフォーム中の繊維長さの分布の変化を調べた。その結果を、図1に示す。SiO₂ を全く含まない Al₂O₃ 長繊維と SiO₂ を約3%含む Al₂O₃ 長繊維では、切断された繊維の長さの分布に大きな違いが見られた。SiO₂ を全く含まない Al₂O₃ 長繊維の場合は 50 μ m 以下の領域に、繊維長さの分布のピークが現れ、SiO₂ を約3%含む Al₂O₃ 長繊維の場合は、50~100 μ m に繊維長さの分布のピークが現れた。これは、SiO₂ を全く含まない Al₂O₃ 長繊維は、SiO₂ を約3%含む Al₂O₃ 長繊維と比較して、より硬く、弾性に乏しいため、金属粒子との接触および繊維同士の接触により、容易に切断されたためと考えられる。

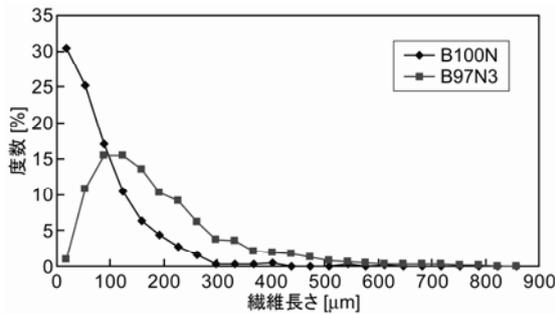


図1 繊維組成が及ぼす繊維長さ分布への影響 (Al 粒子量 : 0.01g)

(2) 導入する Al 粒子の量を変化させた際の、繊維長さの分布の変化を調べた結果を図2に示す。Al₂O₃ 長繊維の体積分率に関わらず、Al 粒子の量が増加すると、繊維長さの分布において、50μm 以下の非常に短い繊維が多く観察されると共に、繊維長さの分布は、全体的にブロードになった。しかし、Al 粒子の量を減少させると、短い繊維の量は減少し、繊維長さの分布に顕著なピークが現れる傾向がみられた。これは、Al 粒子の量が増加することにより、圧縮成形中の Al₂O₃ 長繊維と Al 粒子の接点が多くなると考えられることから、繊維がより細かく切断されたと考えられる。ここで、100μm 以下の短い繊維は、MMC への機械的特性の強化への寄与が小さいと考えられたため、短繊維強化 MMC の作製に応用するためには、できるだけ Al 粒子の量を少なくし、100μm 以下の長さで切断された繊維をできるだけ少なくすることが望ましいと考えられる。

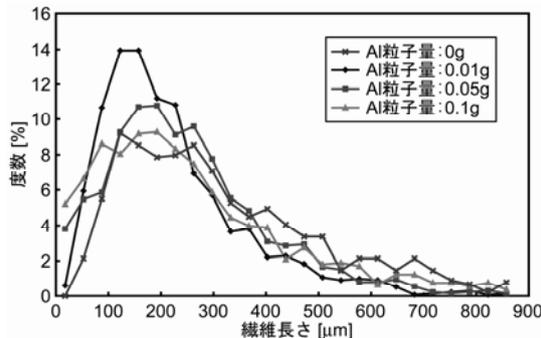


図2 Al 粒子量の繊維長さの分布への影響

(3) プリフォーム中の繊維体積分率を変化させた際の、繊維長さの分布の変化を調べた。Al₂O₃ 長繊維の体積分率が 15vol% の場合と、体積分率 7.5vol% とを比較すると、体積分率が 15vol% の場合には、Al 粒子の量に関係なく繊維長さの分布が短繊維側にシフトしていた。これは繊維体積分率が増加することにより、Al₂O₃ 長繊維が強く圧縮され、Al 粒子との接触点に、より大きな応力が加わると考えられ、その結果、繊維がより短く切断されたと考えられる。他の研究者らの報告か

ら、MMC の機械的特性の強化に必要な繊維長さを検討した結果、繊維の長さは 100μm 以上であることが望ましいことがわかった。そのことから、本研究においては、MMC の繊維体積分率は 7.5vol% が適していることがわかった。

(4) 作製したプリフォームを用いて低圧加圧溶浸法により MMC を作製し、組織観察を行った結果、Al 粒子量が多いほど、溶浸不良部分が減少していた。これは、Al 粒子を Al₂O₃ 長繊維の隙間に分散させることで、溶浸不良の原因となる繊維同士の直接の接触を防いだためと考えられる。また、溶浸方向に対して垂直方向の断面と平行方向の断面の組織を、画像解析により比較した結果、添加した Al 粒子量に関わらず垂直方向の断面では、繊維の断面は細長い楕円状で多く観察され、平行方向の断面では、ほぼ円状の断面が多く観察された。このことから、作製した MMC 中の Al₂O₃ 繊維は、溶浸方向に垂直な断面において二次元的にランダムに配向していることがわかった。これは、圧縮成型時および溶浸中の溶湯の流動によって、プリフォーム中の繊維が溶浸方向に垂直に配向したためと考えられる。

(5) 先述した知見を元にして作製したプリフォームによる MMC のビッカース硬さ試験の結果を図3に示す。溶浸方向に垂直な断面より、平行な断面の方が、強化効果が高いことがわかった。これは、溶浸方向に垂直な断面では、強化繊維とマトリックス合金が等圧変形を起こし、強化繊維とマトリックス合金が別々に変形したため、強化効果が得られにくかったと考えられる。また、溶浸方向に平行な断面では、強化繊維とマトリックス合金が同じ変形量で変形するため、強化効果がより強く得られたと考えられる。この結果からも、MMC 中の強化繊維が二次元的に配向していることがわかった。

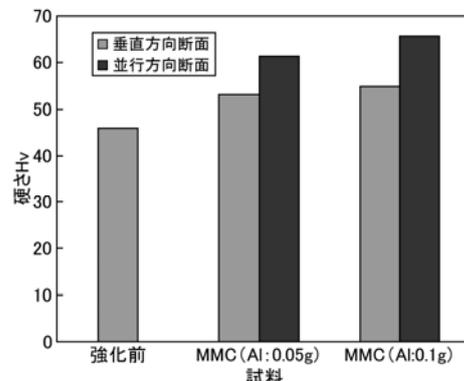


図3 Hv 硬さ試験結果 (Al₂O₃ : 7.5vol%)

(6) 以上のように、プリフォーム中に分散させる金属粒子の量、圧縮成形条件および

圧縮成形後に得られるプリフォームの3次元構造の関係を明らかにすることができた。今後は、低圧加圧溶浸法による複合化におけるプリフォームの変形挙動を含めて、さらに詳細に検討し、繊維集合体の3次元構造化をより精密に制御できる技術および短繊維強化MMCへの応用技術の確立を目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① M. Mizumoto, T. Ohgai and A. Kagawa, Effect of Alumina Fibers on Fabrication Process and Characteristics of Alumina Fiber Reinforced Aluminum Alloy Composites, Materials Science Forum, Vols. 638-642, 2010, pp.956-960, 査読無.
- ② M. Mizumoto, T. Ohgai and A. Kagawa, Separation of PRMMC into matrix alloy and reinforcements by nozzle filtering method, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, No. 9, 2009, pp. 4264-4267, 査読有.

[学会発表] (計5件)

- ① 水本将之, 低圧加圧溶浸法によるアルミ合金基複合材料の作製と特性評価, 平成21年度東北広域鑄造技術交流会, 2010. 2. 5, 山形県工業技術センター (山形)
- ② 三浦洋康, 水本将之, 大貝 猛, 香川明男, 圧縮成形によるアルミナ繊維の短繊維化とMMC用プリフォームへの応用, 日本鑄造工学会第155回全国講演大会, 2009. 10. 16-19, 長崎大学 (長崎)
- ③ M. Mizumoto, T. Ohgai, A. Kagawa, Effect of Alumina Fibers on Fabrication Process and Characteristics of Alumina Fiber Reinforced Aluminum Alloy Composites, International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS, 2009. 8. 25-29, Martim Hotel Berlin (ベルリン, ドイツ)
- ④ 水本将之, 金属基複合材料の低圧複合化プロセスならびにリサイクルプロセスの開発, 第62回日本鑄造工学会九州支部講演大会, 2009. 7. 3, 福岡県工業技術センター (福岡)
- ⑤ 水本将之, 金属基複合材料の低圧複合化プロセスならびにリサイクルプロセスの開発, 日本鑄造工学会第154回全国講演大会, 2009. 5. 30-2009. 6. 1, 早稲田大学 (東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水本 将之 (MIZUMOTO MASAYUKI)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号: 90325671