

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04782

研究課題名(和文) 金属粉末射出成形品の高アスペクト比構造実現のための革新的プロセス構築

研究課題名(英文) Innovative process for high aspect ratio structure of metal injection molded products

研究代表者

長田 稔子(Osada, Toshiko)

東京都立大学・システムデザイン研究科・特任助教

研究者番号：90452812

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：金属粉末射出成形の工程の中で、射出成形時のバインダの流動を利用することを考え、銅に炭素の短繊維を添加したところ、繊維は樹脂流動方向に配向した。焼結体は通常三次元的に等方収縮するが、繊維の配向方向である長さの収縮が小さく、幅および厚み方向の収縮が大きいことがわかった。脱脂焼結時のその場観察から、繊維を添加したことにより、試験部の変形が抑制されることを確認した。引張試験の結果、繊維添加により弾性率には線形に増加した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来のMIMプロセスでは検討されてこなかった、材料への繊維の添加を試みた。MIMでは、脱脂過程でのバインダの溶融や、除去後の変形、焼結時の大きな収縮のために変形などの不良が起こりやすいが、繊維の添加により変形を抑制できることがわかった。また、複合材料が容易に作製可能であることを示し、その特性の向上も得られたことは、学術的にも社会的にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：The flow of resin during injection molding process in metal injection molding was used for the study. Short carbon fibers were added to copper. The fibers were oriented in the resin flow direction. The sintered body usually shows isotropic shrinkage, however, it was found that the shrinkage in the length, which is the orientation direction of the fibers, is small, and the shrinkage in the width and thickness directions are large. From in-situ observation during debinding and sintering, it was confirmed that the addition of fibers suppressed the deformation of the specimen. The elastic modulus increased with increasing the addition of fibers in the tensile test.

研究分野：粉末冶金

キーワード：金属粉末射出成形 銅 炭素繊維 繊維配向 機械的特性 熱伝導率 変形

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

金属粉末射出成形（Metal Injection Molding, MIM）は、粉末冶金とプラスチック射出成形を組み合わせた金属部品作製技術である。MIMの工程は図1に示すように、まず金属粉末とバインダを混練して、射出成形により形状を作製し、バインダを除去（脱脂）した後、金属粉末同士を焼結させる。小型の複雑形状部品を大量生産することが可能な有望なプロセスであるが、アスペクト比の高い部品の作製が困難である。これは、粉末を多量に添加するため成形体の強度が低く、離型時に破損しやすいこと、さらに脱脂・焼結時に変形しやすいことが原因であると考えられる。そこで、脱脂・焼結時の変形を抑制するために、材料に繊維を添加し、その効果を検討することにした。

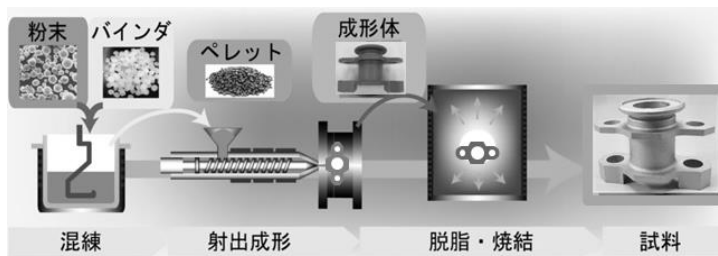


Fig. 1 MIM process

2. 研究の目的

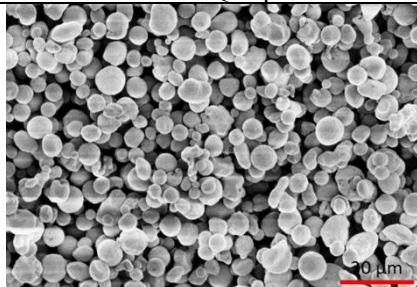
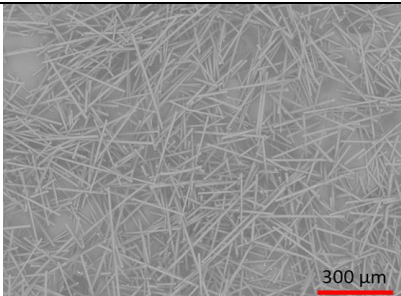
本研究では、従来のMIMプロセスでは得られなかった、微細かつ高アスペクト比構造の部材を作製することを目標とした。射出成形時のバインダの流動を利用することを考え、炭素の短繊維を添加したMIM原料を作製し、材料の流動方向に繊維を配向させる。この繊維は脱脂・焼結時の変形阻止に加え、機械的特性や熱伝導性など、焼結体特性の向上も期待できる。添加する繊維の量や長さ、さらに成形条件の制御により、焼結体特性も制御可能なプロセスとなる。

原料である粉末と樹脂の混練状態は、脱脂・焼結時の変形挙動に大きな影響を及ぼすと考えられ、強化材の均質分散の状態を評価した。射出成形工程では、金型設計および成形条件の制御により強化材の配向を調整することができる。その後焼結時の収縮により強化材と金属母材の接着性が強化される。これらの工程により、複雑形状かつ強化材が任意に配向した材料を量産可能であると考えた。

3. 研究の方法

材料として、表1に示す銅粉末（Cu-HWQ, D50=10 μm, 福田金属箔粉工業株式会社）および炭素短繊維（GRANOC XN-100-25M, 日本グラファイトファイバー株式会社）と、ワックス系のバインダを使用した。銅粉末に対して炭素繊維を0, 5, 10 vol%添加し、バインダとの体積比を60:40として混練を行った。その後、一端のつかみ部側面にサイドゲートを設けた全長60 mmのダンベル形状の金型を用いて射出成形を行った。成形体はヘキサン気相中で溶媒脱脂を行った後、窒素中で600 °Cで加熱脱脂を行い、連続してアルゴン雰囲気中で1070 °C、2時間の焼結を行った。その際、ダンベルを中央部で切断し、つかみ部片端をセッター上に載せ、中央部の変形についてその場観察を行った。得られた試験片をそれぞれ銅の体積比により、Cu100, Cu95, Cu90と称する。成形体および焼結体の繊維配向をSEMにより観察した。焼結体は、密度および酸素量、炭素量の測定を行った。さらに、引張試験に供した。

Table 1 Materials

Copper	Carbon fiber
Fukuda Metal Foil & Powder Co., Ltd. Cu-HWQ 10μm	Nippon Graphite Fiber Corporation XN-100
	
Mean diameter 9.4 μm	Length 250 μm
Density 8.94 g/cm ³	2.2 g/cm ³

4. 研究成果

材料の混練および射出成形により、金型形状を転写した良好な成形体を得られた。ゲート付近では急激に流動方向が変化するため、繊維を添加した試験片では図 2 に示すように焼結後にゲート付近で樹脂流動に伴う湾曲が見られ、繊維量の多い Cu90 の方が変形量は大きかった。図 3 に焼結体表面の SEM 写真を示す。繊維は樹脂の流動方向に配向していることを確認した。繊維長は 100~300 μm であり、混練、成形、焼結過程での損傷はほとんど見られなかった。図 4 に焼結体断面の観察結果を示す。Cu100 に見られる黒い部分は気孔であるが、閉気孔となっており、緻密な焼結体を得られたことがわかる。Cu95 および Cu90 には黒い部分が多くなり、これは炭素繊維であることを確認した。繊維の断面は円形であり、繊維が流動方向に配向していることが断面観察からも確認された。

焼結体の密度および相対密度を図 5 に示す。炭素繊維の増加により焼結体密度の低下が見られるが、比重の小さい炭素の添加により密度が低下したもので、相対密度はいずれも 95 %程度であった。図 6 に収縮率の結果を示す。通常、MIM 材は三次元的に等方収縮するが、試験片長手方向に繊維が配向していることにより、繊維の添加量が多くなると、長さの収縮が小さくなり、幅方向および厚さ方向の収縮は大きくなった。また、繊維量の増加に伴い炭素量の増加が見られたが、酸素量には大きな差は見られなかった。

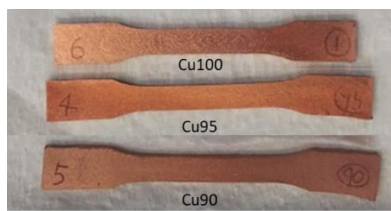


Fig. 2 Sintered specimen.

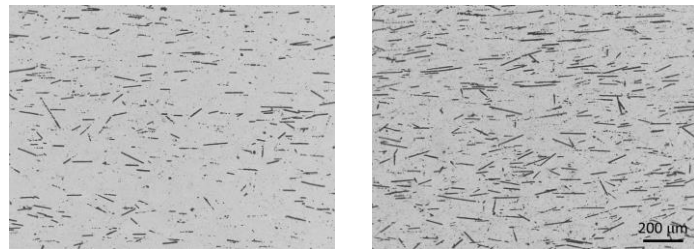


Fig. 3 Surface of sintered specimen.

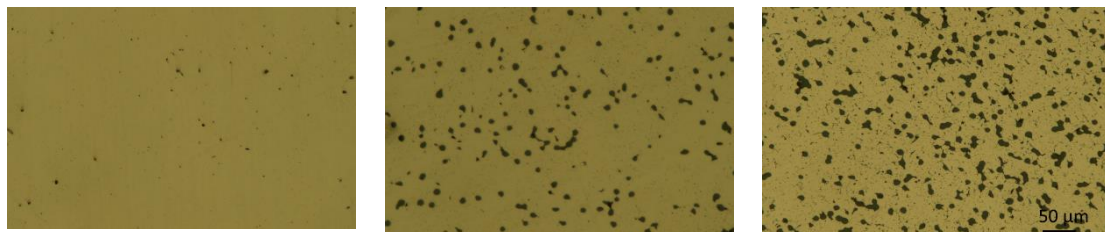


Fig. 4 Cross section of sintered specimens.

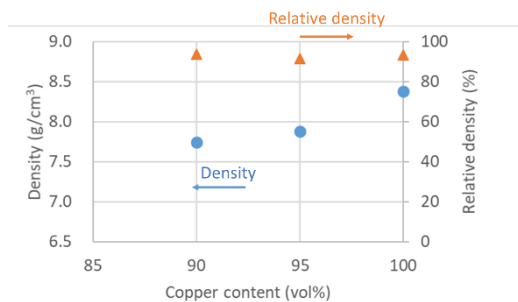


Fig. 5 Density of sintered specimens.

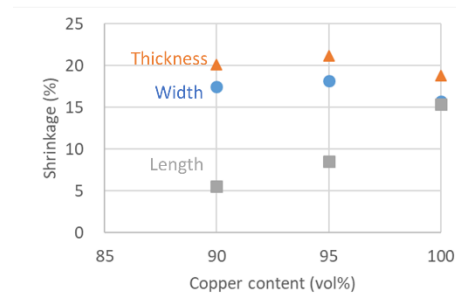


Fig. 6 Shrinkage of sintered specimens.

脱脂焼結時のその場観察の結果を図 7 に示す。Cu100, Cu95 では焼結後に試験片先端に自重によるたわみが見られるが、Cu90 では焼結後の試験片にたわみが見られず、繊維が長手方向に配向していることにより、変形が抑制されたものと考えられる。

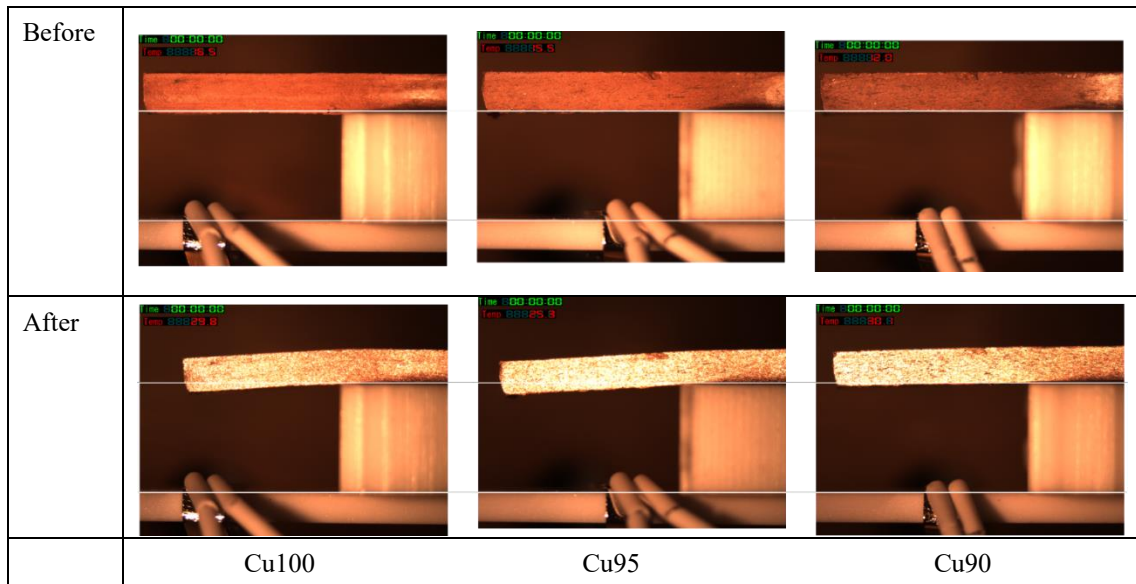


Fig. 7 Specimens before and after debinding and sintering.

図 8 に、引張試験の結果を示す。弾性率は繊維量の増加とともに増加し、最も多い Cu90 で最も高くなったが、引張強度の低下が見られた。Cu95 の引張強度は最も高く、銅よりも弾性率および強度が高い繊維が試験片長手方向に配向した効果が得られたと考えられる。図 9 に破面の SEM 写真を示す。Cu100 の破面にはディンプルが見られ、延性破壊したことがわかる。繊維を添加したものは破面に繊維の引き抜けたあとが見られた。このことから、界面の接着性は良好であるとはいえないが、弾性率および強度は向上したことから、繊維の添加が機械的特性の向上に有効であることは確認された。

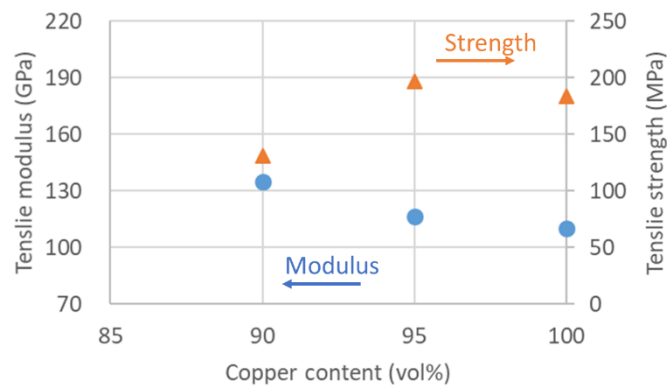


Fig. 8 Tensile test results.

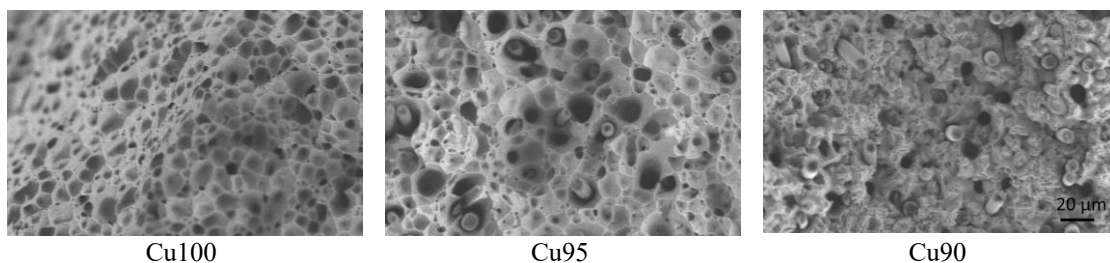


Fig. 9 Cross section of sintered specimens.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 長田稔子, 小林訓史, 品川一成
2. 発表標題 金属粉末射出成形による炭素繊維強化銅複合材料の機械的特性
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshiko Osada, Satoshi Kobayashi, Kazunari Shinagawa
2. 発表標題 Metal Injection Molding of Cu/CF Composites
3. 学会等名 22nd International Conference on Composites Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長田稔子, 小林訓史, 品川一成
2. 発表標題 金属粉末射出成形による炭素繊維/銅複合材料の開発
3. 学会等名 第11回日本複合材料会議 (JCCM11)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長田稔子, 小林訓史
2. 発表標題 金属粉末射出成形による炭素繊維/銅複合材料の力学的特性
3. 学会等名 日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshiko OSADA and Satoshi KOBAYASHI
2. 発表標題 Development of Powder Injection Molded Carbon Fiber Reinforced Composites
3. 学会等名 The American Ceramic Society (ACerS) 45th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC ' 21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長田稔子, 小林訓史, 品川一成
2. 発表標題 金属粉末射出成形による炭素繊維/銅複合材料の変形挙動
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	品川 一成 (Shinagawa Kazunari) (30215983)	九州大学・工学研究院・教授 (17102)	
研究 分担者	小林 訓史 (Kobayashi Satoshi) (80326016)	東京都立大学・システムデザイン研究科・教授 (22604)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------