

論文内容要旨 (和文)

平成20年度入学 博士後期課程

専攻名 物質生産工学科

氏 名 大久保 健児



論文題目 金属粉末射出成形法における寸法精度向上に関する研究

金属粉末射出成形法 (以下 MIM) は、複雑な 3 次元形状の金属 (非金属) 製品を安定して量産できる製造技術である。原材料は、金属粉末と流動性を付与するバインダで構成され、用いる粉末の形状・粒径およびバインダの種類により最終製品の品質は変動する。特に、超精密な小型部品の製造においては、高い安定した寸法精度が要求され、MIM によりそれを実現することは容易ではない。

そこで本研究では、独自に設計考案したマイクロダンベル試験片を用いて、特殊なマイクロ射出成形機により最終焼結体のチャック部幅の寸法を制御する方法を考案した。マイクロダンベルのチャック部に圧力センサーを取り付け、射出成形機の射出容量を変更することにより、成形時の型内圧力を測定し、成形体 (Green compact) および焼結体 (Sintered compact) のチャック部幅寸法との関連性を調査した。その結果、成形時の型内圧力が増加すると、得られる成形体寸法は増加する傾向にあり、型内圧力を測定制御することで、成形体寸法を制御することができる。また、成形体寸法は焼結体寸法に依存し、ほぼ比例関係にあった。従って、射出成形時に射出成形機側で射出容量を変更し、型内圧力を制御することで、最終目標値とする焼結体寸法を得ることができた。

寸法精度を向上させるための手段として、金属粉末の粒径および粒度分布に着目した。通常使用される金属粉末は、平均粒径 $10\mu\text{m}$ のもので $1\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ まで分布があり、粒径により焼結特性が異なる。特に $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ サイズの粒子は凝集作用が働くため金属体内部で偏析し寸法精度に影響を与えると考え、 $5\mu\text{m}$ 以下の微粒子をカットした。またその微粒子と粗粒子の両方をカットし、非常に狭小な分布を有する材料も使用した。この際、新たなパラメータとして粒度分布の幅 (D_R) 定義し、寸法精度との関連性を調査した。その他、平均粒径を $5\mu\text{m}$ および $2\mu\text{m}$ のものを使用した。その結果、作製されたマイクロダンベル試験片の寸法精度は、 D_R を小さくすることにより大幅に寸法精度の向上が見られた。また、平均粒径を $5\mu\text{m}$ および $2\mu\text{m}$ にするとさらなる精度向上が見られたが、 $2\mu\text{m}$ の場合は最適な焼結条件が存在することが明らかとなった。

この精度向上のための原材料によるアプローチから、マイクロピラーの寸法精度向上へ展開した。通常の MIM で作製することは極めて難しく、新たな製造方法の確立が求められる。本研究では、プラスチック製樹脂型を利用した製造方法を提案し実用化した。マイクロ構造体の寸法は、幅 $150\mu\text{m}$ 、高さ $200\mu\text{m}$ の角柱形状である。この構造体が $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ の試験片表面に、 15×15 (計 225 本) 整列されている。これを粒度分布の異なる 3 種類の粉末を用いてマイクロピラーの幅および高さ寸法をレーザー顕微鏡により測定し、寸法ばらつきを変動係数 (C.V) として求めた。その結果、 D_R が最も小さい材料の方が、寸法ばらつきは小さいことがわかった。これは金属粉末の粒径を均一にすることにより、各構造体の充填密度が安定していることを示唆している。以上の結果から、従来では作製困難であったマイクロ MIM 部品の寸法精度を改善し品質が向上したことにより、これからの MIM の需要がますます増加すると考えられる。

さらに本論文では、MIM により寸法制御されたマイクロ構造体をインプリント用のスタンパー (金型) として作製し、MIM 製インプリント金型 (MIM-mold) の特性評価を行った。さらに作製した MIM-mold を用いてインプリント成形を行い、転写評価を行った。これはどこも試みていない新しい内容である。原材料である金属粉末の粒径を $10\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $0.74\mu\text{m}$ の 4 種類を用いて MIM-mold を作製し、焼結条件により微細構造体の表面性状 (粗さ) を任意に変化させ、インプリント成形体の転写特性を調査した。その結果、金属粉末の粒径を小さくすれば、構造体の転写特性は向上し表面粗さが低減された。

MIM-moldを作製することができた。さらに、インプリントされた成形体の転写特性は、MIM-moldの表面粗さに依存した傾向を示した。また、粉末焼結特有の結晶粒界や空孔も転写されている様子が確認でき、ナノスケールの微細な転写成形が可能であることを示した。従って、作製したMIM-moldはインプリント用金型として十分適用可能であることが明らかとなった。

金属粉末の微細転写成形において、ナノスケール粉末の微細転写に着目した。MIMにおいてナノスケール粉末は、粉末の表面積の関係から添加するバインダ量が多くなる。そのため作製されたマイクロ構造体には過大なバインダ量が混在し、脱脂焼結時に構造体を保形できない。そこで、遠心成形法を提案した。遠心成形法は、発生した遠心力により比重の高い金属粉末を金型底部に均一に充填させることができる特長を有している。そのため、ナノスケール粉末の微細転写成形が可能か検討した。その結果、遠心成形で発生する遠心力により金属粉末とバインダを2層に分離することができ、マイクロ構造体に金属粉末を高い割合で充填できることがわかった。以上の結果より、MIMに変わる微細転写成形法として遠心成形法を用いて、金属粉末の微細転写が可能であり、ナノスケール粉末への適用が可能であることがわかった。

論文内容要旨 (英文)

平成20年度入学 博士後期課程

専攻名 物質生産工学

氏 名 大久保 健児



論文題目 Study on improvement for dimensional accuracy in metal injection molding

This study aims to develop processing techniques to improve dimensional accuracy of tiny parts produced by metal injection molding (MIM). With MIM process, three-dimensional complex components can be produced in large quantity. Recently the demand for miniaturizing metal parts with high dimensional accuracy is growing. It is impossible that applied the conventional injection molding technique. In this study, micro injection molding was used to manufacture micro dumbbell specimens with narrow necking portion. Influences of injection volume on cavity pressure and dimensions of products were investigated, by monitoring cavity pressure during injection molding, and measuring both green compacts and sintered parts. By evaluating the relationship of cavity pressure and property of products, a new control method of dimensions of μ -MIM parts was examined. At the results, the dimension of green compact and sintered parts is related with the cavity pressure and the injected volume, which may be monitored during injection molding. It is, therefore, concluded that dimensional accuracy of μ -MIM products may be improved by monitoring the cavity pressure and controlling the injected volume during injection molding.

The effects of particle size and distribution of stainless steel powders on the coefficient value (namely CV value) of micro dumbbell specimen and micro pillar structure. We defined the range of particle size distributions (D_R) as new parameter. At the results, dimensional accuracy of micro dumbbell specimen was improved with using narrowest D_R and $2\mu\text{m}$ in particle size. But, optimizing the sintering temperature is existed in sintering process. In case of micro pillar, improving the dimensional accuracy using narrowest D_R .

We produced the nanoimprint stamper with improving the dimensional accuracy in MIM in order to apply for nano imprint lithography (NIL). The experimental results that micro structure of imprinted structure were great replicated property. It is concluded that possible application of MIM-mold used for NIL.

We applied the centrifugal molding for new replication technique. It has been future the metal powder uniformly filled into the mold with the centrifugal force. PMMA mold with a fine structure used in this study, and the polymer mold were performed by micro injection molding machine. Replication behaviors of the fine structure with nano scale powder were investigated to evaluate the application for nano scale powder in centrifugal molding. At these results, it is developed that replication behavior of the fine structure could be molded with using nano scale powder.