

パウダーキャストイングによる高精度転写金型製造法

High Precision Metallic Rapid Tool by Powder Casting and Sintering

野 口 裕 之*・中 川 威 雄*

Hiroyuki NOGUCHI and Takeo NAKAGAWA

1. は じ め に

金型の製作法には多くの方法がある。金属ブロックから切削により削り出す方法が一般的であるが、切削後の金型磨き処理など、製作時間が長くコストもかかる。近年、ラピッドツーリングの研究として、金属粉末にレーザー光を照射して硬化させ、これを積層造形することにより3次元CADの形状通りに金型製作を行う方法¹⁾、光造形モデルをゴム型に転写し、このゴム型に金属粉末スラリーを流し込んでの金型製作が開発されているが、いずれも寸法変化があり、実用化に当たって金型精度に問題を残している²⁾。

例えば、前者の方法では成形密度が低いため3~4%、後者の方法では球状粉末密度の粒度分布を変えて0.8%の収縮に抑えることができているものの、まだ十分とは言えない。

そこで本研究では、これら金属製ラピッドツーリングの研究における、金型精度を向上することを目的とし、パウダーキャストイング法を考案し、成形体の粉末密度を高めることで、より高精度な金型寸法結果が得られることが明らかとなったのでここに報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 既存のスラリーキャスト成形

一般的な簡易金型製作に使用されるのはエポキシ樹脂に金属粉末類を混入した材料を用いたスラリーキャスト成形である。その中に混入する粉末量をできるだけ多くしたい。しかし、流し込み成形を行うために必要な流動性を確保するために、粉末の混入量には限界がある。これは流動性を落とすと空気の巻き込みなどによる空孔が内部に残り欠陥が発生しやすくなるためである。そのた

*東京大学生産技術研究所 第2部

め混入された粉末はエポキシ樹脂中に粉末が浮いている状態であるため、混入粉末密度の高い成形体を作製することは、困難となる。これはバインダーとして液状スラリーを用いる以上仕方のないことと考えられている。

2.2 転写パウダーキャストイング

上記のスラリーキャスト成形の粉末混入量の限界を打開し、より高密度の金属成形体を作製するため、図1に製作工程を示すような新たなパウダーキャストイング法を試みた。まず光造形法等により所望の金型形状モデルを作製し、モデル表面の段差除去を行い平滑に仕上げる。次にこのモデルをシリコンゴムで転写したゴム型を作製する。このゴム型の中に球状金属粉末を高密度に充填する。この粉末充填行程がパウダーキャストイング法の重要なキーポイントとなる。充填の際には特別に振動を重量する。粉末は振動によりお互いの粉末が接触しながら自らの自重により充填されていき、高密度な充填状態を得る。特に外部より加圧していないため、粉末の上部数ミリぐらいの部分では密度が低いものの、これより下の部分では、自重の影響もあって、ほぼ密度が一定となる。このままでは粉末充填体を取り出せないため、充填された粉末を固化させる必要がある。粉末を固化させるためには樹脂の真空注型法を活用する。すなわち粉末間の空気を脱気し真空状態にし、液体バインダーを粉末に注ぐ。その後、真空を解除し大気圧により加圧することで、粉末にバインダーを含浸させる。バインダーの種類は自硬性のものであれば何を使用してもよいが、使用するバインダーの粘度が高い場合はバインダーの含浸速度が遅く、大気圧による加圧のみでは、バインダーの未充填部分が生じる場合がある。その場合には、ゴム型全体を加圧容器に入れ、圧縮空気により加圧することで粉末全体にバインダーを浸透させることができる。このバインダーを

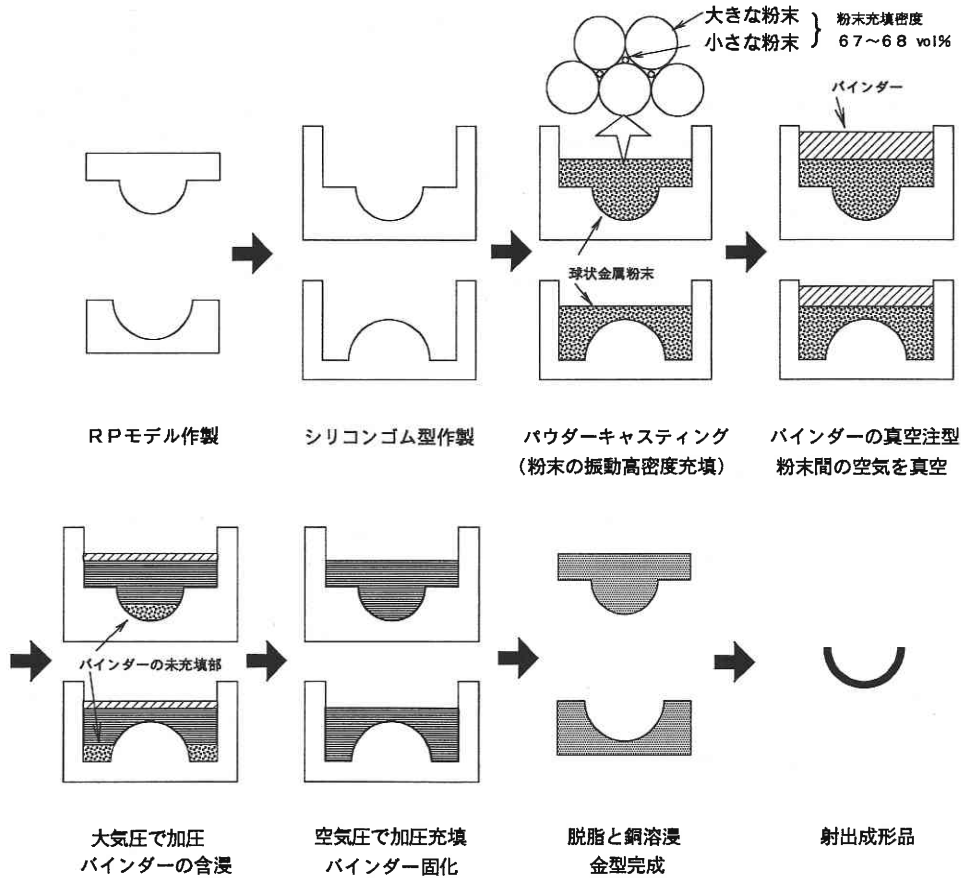


図1 パウダーキャスト法の行程図

固化させて粉末を結合させた後、成形体をゴム型より取り出す。使用目的によりこの成形体に後処理を行う。

2.3 供試材料

実験に使用した供試材料を表1に示す。金属粉末には大同特殊鋼製のガスアトマイズされたステンレスとハイスの2種類の球状粉末を使用した。球状粉末を使用することで、一般の不定形粉末より高密度に充填することが可能となる。ハイス粉末は粒径分布が広く粉末の形状も球に近く、また粉末自身も重いため、振動充填後の密度

表1 供試材料

球状ステンレス粉末	大同特殊鋼	DAP316L 平均粒径 66 μm
ステンレス微粉末		DAP316L 平均粒径 5 μm
球状ハイス粉末		DEX80 平均粒径 88 μm
エポキシ樹脂主剤	日本チバガイギー	アラルダイト PY302-2
エポキシ樹脂硬化剤		ハードナー HY917J
硬化促進剤		三級アミン DY070
フェノール樹脂主剤	保土谷アシュランド	ケムレツ 630HSL
フェノール樹脂硬化剤		ケムレツ 6016

は68 vol%と高密度になった。ステンレス鋼粉末においては、やや球形が崩れているためか、単体での密度が低かった。そのため、同種の粒径5 μmのステンレス鋼微粉末を添加して、大きな粉末間の空間に微粉を入れることにより密度を向上させた。ステンレス鋼微粉末の混入量と振動充填密度の関係を図2に示す。ステンレス鋼球状粉末単体の密度61 vol%がステンレス鋼微粉末を17.5 vol%混入することで67 vol%に向上した。

粉末を固化させるためのバインダーとしては、使用目的に応じてエポキシ樹脂と水溶性フェノール樹脂の2種類を使い分けた。

2.4 エポキシ樹脂バインダー

バインダーとしてエポキシ樹脂を使用すれば、金属・樹脂複合材料製の簡易型が製作できる。上記の充填粉末にエポキシ樹脂を含浸後に硬化させ、成形体をゴム型から取り出す。この方法ではゴム型内で十分強度のある成形体が作製できるため、硬化物のハンドリングに問題は生じない。その後、より硬く硬化させるための処理とし

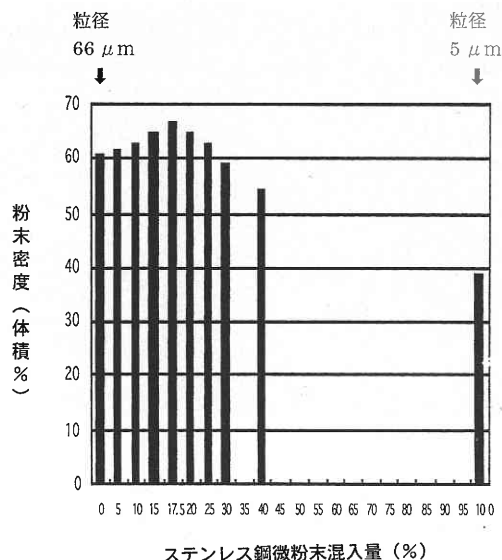


図2 ステンレス鋼微粉末混入量と振動充填粉末密度の関係

て、1次硬化および2次硬化の加熱処理を行う。エポキシ樹脂の粘度を下げるために、加熱した状態 (60°C) で含浸処理を行う必要があった。

2.5 フェノール樹脂バインダー

後行程で金属焼結・銅溶浸を行なう金型製作のバインダーには水溶性フェノール樹脂を用いる。この場合の樹脂含浸処理は常温で行なうことができる。フェノール樹脂の濃度により、成形体の強度は異なるが、実験では水で2倍に希釈したものを使用した。バインダーの粘度は0.5ポアズであった。フェノール樹脂含浸後、混入した硬化剤によりフェノール樹脂が硬化したら、成形体をゴム型から取り出し、真空乾燥を行い、型内の水分を乾燥させる。その後、金属粉末を酸化させないように不活性雰囲気 (N₂) 中で600°Cまで加熱し、一旦フェノール樹脂バインダーを気化させ、水分が抜けた穴を通してガスとして完全に除去する。水分が抜け出した気孔は連通しているため、脱バインダーは用意に行える。金型の大きさにもよるが、脱脂時間はおよそ3時間程度である。

その後、この脱脂処理された成形体の空間に溶かした銅を毛細管現象により溶浸充填し、金属粉末の空間を銅で置き換える。この溶浸処理は1130°Cの水素ガス還元雰囲気中で2時間保持した。この銅溶浸処理により強度と熱伝導性に優れた金型となる。

3. 実 験 結 果

図3にエポキシ樹脂含浸による携帯電話形状の金型と図4にその断面の光学顕微鏡写真を示す。粉末密度は

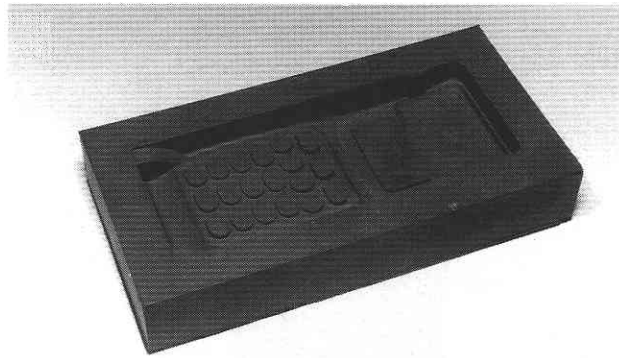


図3 エポキシ樹脂含浸により製作されたステンレス粉末金型

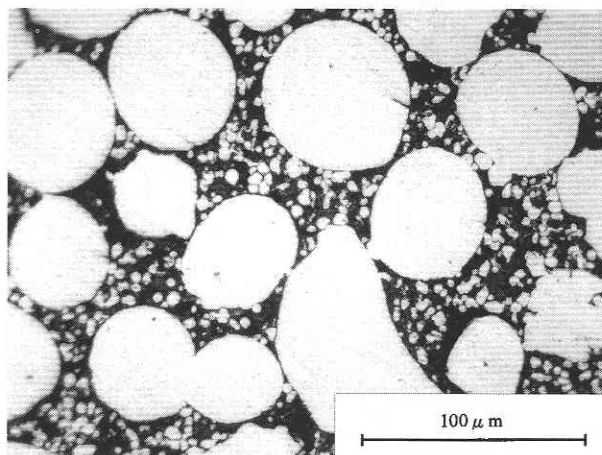


図4 ステンレス鋼微粉末混入による金型の断面写真 (白い部分：ステンレス鋼粉末、密度：67 vol %) (黒い部分：エポキシ樹脂)

67 vol %であり、球状ステンレス鋼粉末の間にステンレス鋼微粉が入り込んでいる様子が観察される。

エポキシ樹脂含浸により製作された型は、金属粉末が接触しているため、圧縮に対しての強度は高いものの、引っ張り力に対しては樹脂本来の低い強度のみである。しかし、寸法変化のない型製作が可能であった。

図5にフェノール樹脂含浸による成形体例を示す。このようにパウダーキャスト法では成形体内や表面に空孔などの欠陥がまったく無い、高密度な成形体が作製できる。図6に球状ハイス粉末を用いたゴルフボール型形状の銅溶浸処理後の金型を示す。この寸法変化は0.4%であり、これまで報告されている最高の値の半分に減少することができた。図7にこの型の断面の光学顕微鏡写真を示す。丸い粒子がハイス粉末であり、周囲の部分は溶浸処理した銅である。球状粉末が高密度に充填されている様子が観察できる。



図5 フェノール樹脂含浸による成形体例
(ステンレス粉末：グリーン体)

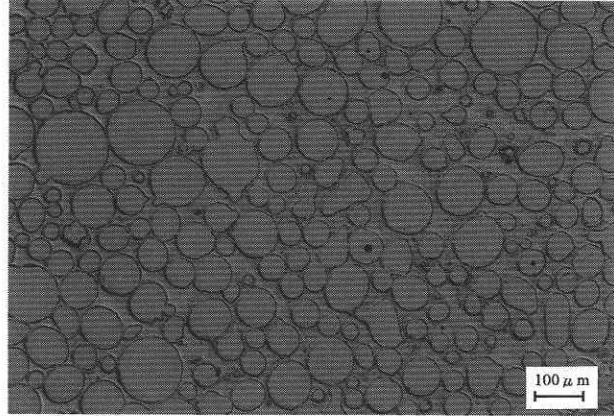


図7 銅溶浸後の金型断面の光学顕微鏡写真
(ハイス粉末：68 vol %；銅 32 vol %)



図6 銅溶浸後の金型例
(ハイス粉末：68 vol %，0.4 %収縮)

4. おわりに

金属粉末を無加圧で高密度に成形する方法として、転写パウダーキャスト法を考案し、積層造形モデルよりラピッドツーリングとして金型製作を試みた。この

方法は球状粉末を使用した高密度な振動充填体に、バインダーを含浸することで、高密度な成形体を作製することができた。エポキシ樹脂含浸においては、高密度で無欠陥な寸法変化がない、金属・樹脂複合成形体が製作できた。また、後行程で脱脂・焼結・溶浸を行なうフェノール樹脂含浸による金型製作では、現存する粉末を使ったラピッドハードツーリングでも、最小の0.4%の寸法収縮のものが得られた。

なお、このパウダーキャスト法において、バインダー含浸後に再振動を付加することで、パウダーキャスト成形体の密度をさらに2%程向上できることがわかった。この密度を上げた成形体は乾燥、脱脂後でもほとんど寸法変化を起こさず、このため銅溶浸処理後には元の寸法より多少大きくなる逆転現象が起こった。現在、寸法変化量ゼロを目指して添加粉末の検討を行っており、モデル寸法に対して0.07%の寸法収縮量の物が得られている。また、図5に示したように、この方法は金属製のラピッドプロトタイピングの可能性も高いと考えられる。

(1997年6月18日受理)

参考文献

- 1) 寺島：選択的焼結における金属粉末の積層成形と金型への応用，型技術，vol. 12, No. 2, P. 56-64, 1997. 2.
- 2) 中川：積層造形を利用したラピッドツーリングの技術動向，型技術，vol. 12, No. 7, P. 18-25.