

アルミナ段付き円柱成形体における流動パラフィン添加が及ぼす密度への効果

日大生産工 (院) ○小田倉 研史

日大生産工 高橋 清造

1. 諸言

アルミナの単結晶や焼結体は密度が $3.97\sim 4.02$ $[\text{g}/\text{cm}^3]$ で化学的にも物理的にも極めて高い安定性を有しており、耐熱性($2050[^\circ\text{C}]$)、セラミックスとしては比較的高い熱伝導率($20\sim 40[\text{W}/\text{mK}]$)、高強度(常温で曲げ強度 $276\sim 1034[\text{MPa}]$, $1000[^\circ\text{C}]$ で $250[\text{MPa}]$)、破壊靱性($2.7\sim 4.2[\text{MPa}]$)、高硬度(ビッカース硬度 $18\sim 23[\text{GPa}]$)、電気絶縁性(抵抗率 $10^{14}\sim 10^{16}[\Omega\text{cm}]$, 禁制帯幅 $9.5[\text{eV}]$)、可視、赤外領域の光学的透明性、耐食性、生体適合性など多様の性質をもち、セラミックスの代表ともいえるべき優れた材料である¹⁾。

応用の実例として炉材、軸受、切削工具、研磨、研削材、電力輸送用絶縁碍子、IC回路基板、MHD発電用絶縁壁、スパークプラグ用絶縁体、レーザ発振材料、レーザ用窓材料、人工宝石、高圧ナトリウム灯用管材、人工骨、人口歯根、人口関節、ウラン濃縮用ガス拡散多孔質分離膜など様々である¹⁾。

しかし、硬度と電気絶縁性が高いが故、焼結後の機械加工や電気加工などの除去加工が困難となる為、焼結体は最終製品に近い形状を得る必要がある。加えて、成形体の密度が製品の性能に直結するので高密度である必要もある。私達は高い寸法精度かつ高密度を求めて今まで研究してきた結果、流動パラフィン(LP: Liquid Paraffin)の添加を行う流動成形が有効であると分かったが、この添加量は成形体の形状によって変化するものであった。また、金型に入った成形体の上に新たな顆粒を積層させ、

もう一度プレスすることで新たな成形体を得ることが可能である。この積層法を用いれば一つの金型で複数の形状の成形体を得られる。

そこで、本研究は積層法でなければ成形が困難な段付き円柱の成形を試み、断面積が急激に変化する複雑な形状に対する流動パラフィンの添加が及ぼす密度への効果と、積層法による成形体の評価を行い、高密度の成型体を得ることを目的とする。

2. 実験方法及び計測方法

アルミナ顆粒に流動パラフィンを $0\text{mass}\%$ から $2.5\text{mass}\%$ 刻みで $12.5\text{mass}\%$ まで添加及び混合させた6種類の粉末を、それぞれ成形圧力 50MPa , 75MPa , 100MPa で成形し、密度への効果と外観の評価を行った。本実験で成形した段付き円柱の概略図を Fig.1 に示す。

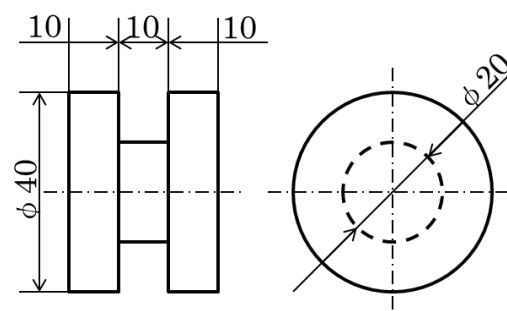


Fig.1 Shape and dimension of green compact.

断面積の急激な変化が特徴で、更にその面が積層面となるので最も壊れやすいところである。

Effect on green density of alumina step cylinder compact to liquid paraffin addition

Kenji ODAKURA and Seizou TAKAHASHI

段差の部分は、後から取り外し可能な二つに割ったリングを用いて成形した。今回は二段積層の成形体でデータを取った。

成形はダイ、上パンチ、下パンチ、段差用リング、ダイ受けの五つから成る金型一式を使用した。この金型一式と成形時の組み立て図を Fig.2 に示す。

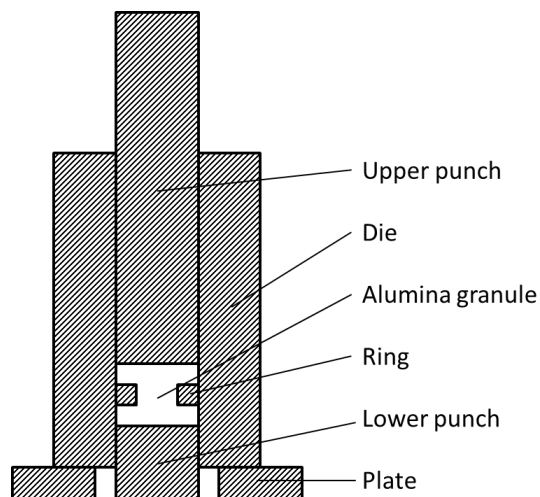


Fig.2 Apparatus of a single tooling set to step cylinder green compact.

段差用リングも一緒にプレスするところが従来行ってきた成形体との大きな違いであり、これが本研究における最大のポイントとなる。

成形手順は、アセトンで金型一式をよく洗浄した後、摩擦が起きる部分にそれを低減させる為、ステアリン酸亜鉛を塗布し、先に段差用リングを組み込んでから下パンチを入れるようにして、単軸油圧プレス機を用いて一層目の成形を行った。次に、上パンチと下パンチを抜き取り、ダイを上下逆転させ、新たに顆粒を充填させて同様に二層目の成形を行い、成形体を得た。この手順を Fig.3 に示す。

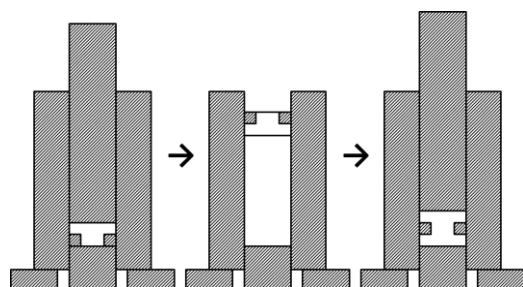


Fig.3 Compacting process.

本来は、一層目に通常の円柱を成形し、その上に段差用リングを乗せて二層目の成形を行う予定であったが、流動パラフィン添加量や成形圧力を変化させても積層面が接合できなかった。段差用リングが成形を阻害してしまうので、先に段を作っておくことによって積層面の接合に成功した。

計測方法は電子天秤と電子ノギスを用いて質量と体積を求め、密度を計算した。また、評価の方法は、初めに上パンチが接した直径 40[mm]の円柱部分を下部とし、続いて直径 20[mm]の部分を中部、そして残りを上部、そして平均の密度をそれぞれ調べ、密度の分布を評価した。それぞれの部位への分解はノコギリと紙やすりを用いた。密度分布を調べた各部位の図を Fig.4 に示す。

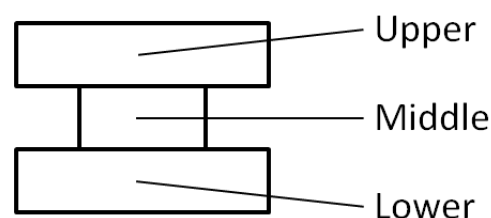


Fig.4 Local part of green compact.

3. 実験結果及び考察

初めに、成形圧力 50[MPa]における流動パラフィンの添加が及ぼす密度への効果を Fig.5 に示す。

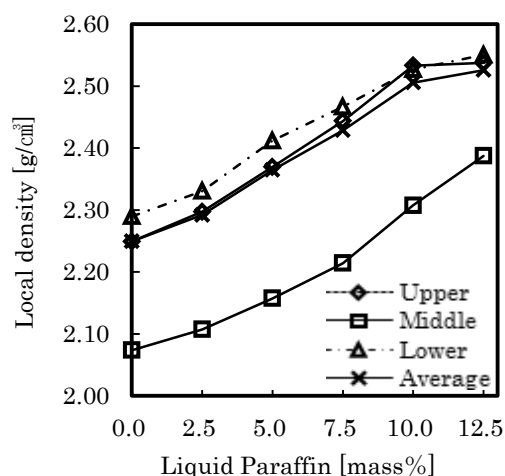


Fig. 5 Relation between local density and Liquid Paraffin. (50MPa)

流動パラフィン添加量の増加に伴い密度の上昇が読み取れる。しかし、中部は他の部位と比較して大きな密度差があり、0.163~0.255 [g/cm³]で平均 0.221[g/cm³]の差が見られた。下部は二度プレスされている為、上部よりも比較的高い。

続いて、成形圧力 75[MPa]における流動パラフィンの添加が及ぼす密度への効果を Fig.6 に示す。

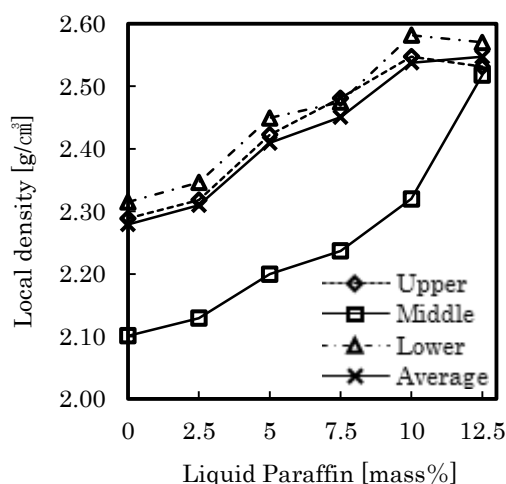


Fig.6 Relation between local density and Liquid Paraffin. (75MPa)

依然として中部に密度差はあるが、LP12.5mass%で密度が著しく上昇した。この密度差は 0.0522 [g/cm³]であり、全体的に密度が底上げされた。

そして、成形圧力 100[MPa]における流動パラフィンの添加が及ぼす密度への効果を Fig.7 に示す。

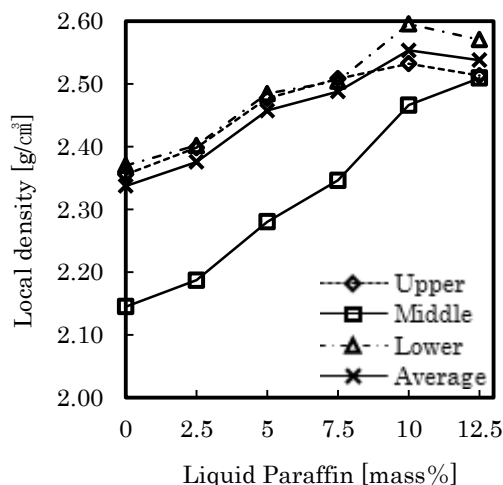


Fig.7 Relation between local density and Liquid Paraffin. (100MPa)

またも依然として中部に密度差はあるが、流動パラフィン添加量の増加に伴い、密度の上昇だけではなく、密度差が縮まる効果が見られた。LP12.5mass%において中部と上部はほぼ同じ密度になった。100[MPa]における成形はこの段付き円柱において最も有効であると評価した。また、LP10.0mass%にて本実験における最高密度のである 2.55[g/cm³]を得た。

ここで、50[MPa], 75[MPa], 100[MPa], 各成形圧力の平均密度を比較したグラフを Fig.8 に示す。

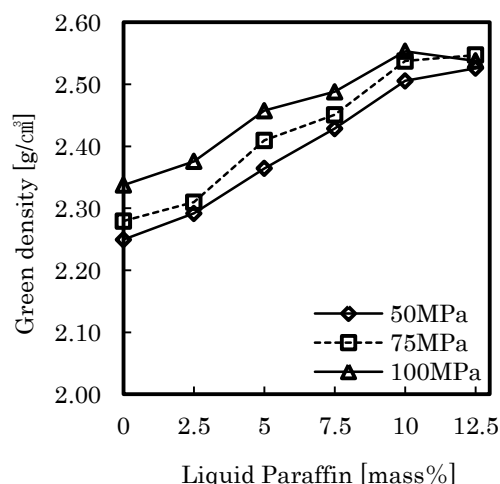


Fig.8 Relation between green density and Liquid Paraffin content by compacting pressure.

成形圧力が増すと密度が全体的に底上げされているのが読み取れる。特に、LP0mass%ではその効果が大きく、流動パラフィン添加量の増加に伴い、その差は徐々に小さくなった。LP 12.5 mass%になると成形圧力の違いによる密度差は見られなかった。

LP12.5mass%はどの成形圧力でも高密度でかつ密度差が微小で理想的なデータであった。しかし、この LP12.5mass%は積層面が接合できず、なおかつクラックが入ってしまう重大な欠陥を持つ。また、LP10.0mass%においても成形圧力 75[MPa]以上では積層面が接合できなかった。これら成形体の積層面の接合の可否及び外観評価をまとめたものを Table.1 に示す。

Table.1 Evaluation to appearance of green compact.(LP:0mass% - 12.5mass%)

		Liquid Paraffin[mass%]					
		0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5
Pressure	50MPa	○	○	○	○	○	×
	75MPa	○	○	○	○	×	×
	100MPa	○	○	○	○	×	×

○ : Good appearance

× : Failure of compact

LP7.5mass%までは全て外観良好で成形が可能であるが, 50[MPa]を除いて LP10.0mass%以上積層面が接合できなかった. 50[MPa]で積層面が接合できた理由は段差用リングの反力が比較的小さいものであったからだと推測している.

流動パラフィンの添加量増加に伴い密度が上昇することが分かったが, あるところを境に積層面が破断することが分かった. この境を詳しく調べる為, LP7.5mass%~10.0mass%の間を 0.5mass%刻みで中間の成形圧力 75[MPa]で実験を行った. そのグラフを Fig.9 に示す.

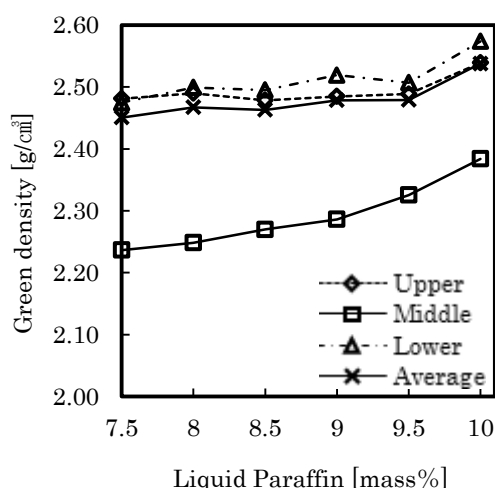


Fig.9 Relation between local density and liquid paraffin. (LP7.5mass% - 10.0mass%, 75MPa)

比較的微小変化ながら流動パラフィン添加量に相関しているのが読み取れる. 積層面が接合でき, かつ最高の密度であることが最適条件となるので,

破断するラインを調べた. LP7.5mass%~ 10.0mass%の間における成形体の積層面の接合の可否及び外観評価を Table.2 に示す.

Table.2 Evaluation to appearance of green compact. (LP:7.5mass% - 10.0mass%)

Pressure75[Mpa]					
Liquid Paraffin[mass%]					
7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
○	○	○	○	△	×

○ : Good appearance

△ : Strength poor

× : Failure of compact

LP9.5mass%で成形可能であったが, 自重には耐えられるが少しの力で積層面が破断してしまった. LP9.0mass%になると成形が可能なのは勿論のこと, 人の力で適度に引っ張っても破断せず, 外観も良好であった. 本実験における, 成形可能かつ最高密度である 2.48[g/cm³]を得た.

4. 結言

本研究では, 高密度の段付き円柱アルミナ成形体を得ることを目的とし, 流動パラフィンを添加した顆粒を用いて流動成形を行い, 以下の結果を得た.

- (1) 成形圧力が増すと全体的に密度が底上げされることに加え, 流動パラフィン添加量の増加に伴い, 問題点である中部と他の部位との密度差が縮まる効果が得られた.
- (2) 流動パラフィン添加量の増加に伴い密度は上昇するが, 50[MPa]を除く LP10.0mass%以上では積層面が破断し, 成形ができない.
- (3) 積層面がしっかり接合された状態で成形可能かつ最高密度の最適条件は LP9.0mass%で, 成形圧力 75[MPa]において 2.48[g/cm³]を得た.

参考文献

- 1) 水田 進, 河本邦仁「セラミックス材料科学」東京大学出版会, (1996) p.19-23.