

(論文)

# “ Agitating-shoe ”による鉄粉充填性の改善

## Agitating-shoe Application for Improved Die Filling



橋本康宏\*  
Yasuhiro Hashimoto



関 義和\*\*  
Yoshikazu Seki

Die filling with mixed powder is an important step in the manufacturing of PM parts. An agitating-shoe which has an agitator attached to a feed shoe to accelerate the air-release from the die cavity was developed. Using the agitating-shoe, filling tests were carried out using various molds. Results showed that the agitating-shoe can increase the filling rate by 20-80% and decrease weight variation by 30% compared to conventional feed shoes.

まえがき = 焼結部品製造の工程における一つの重要な課題は成形工程の生産性の向上である。成形工程では粉末は金型に充填され、連続プレスにより成形される。この工程では、金型への短時間での粉末の充填とともに、製品の精度向上のために均一な充填が要求される。

粉末の金型への充填には金型上を前後に動く粉箱が一般的に用いられており、粉末は重力により金型へ充填されている。しかしながら、近年部品の高強度化や高機能化のために、使用される鉄粉への添加副資材が多様化し、これが粉体の流れ性を障害して金型への充填性が悪化する傾向にある。また部品形状も薄肉化あるいは複雑化が進み、均一かつ短時間での金型への充填は難しくなりつつある。振動充填法<sup>1)</sup>など種々の充填方法が考案されているが、一般的な普及には至っていない。近藤ら<sup>2,3)</sup>は、粉箱内にガスを吹込み粉末の流動性を改善するエアレート充填法を開発し、寸法精度の向上が図れたと報告している。

著者らの一人は、金型への粉末の充填速度は金型内の

空気置換が重要であることを報告した<sup>4)</sup>。空気置換を積極的に促進し充填速度を向上することを目的に、粉箱内に攪拌機能を備え充填速度を向上する Agitating-shoe を開発した。本報では、充填速度、成形体の重量ばらつきおよび成形体部分密度分布に及ぼす Agitating-shoe の効果を報告する。

### 1. 実験装置

#### 1.1 Agitating-shoe の概念

図1に粉箱内の粉末を攪拌する数本の攪拌棒を有する Agitating-shoe の概念図を示す。粉末が金型内に充填落下する際、充填速度は落下する粉末と金型内の空気置換が大きく影響する。Agitating-shoe の主要な働きは、粉箱内の粉末を攪拌することにより金型内の空気の置換を促進することにある。攪拌により粉箱内の粉体層の通気抵抗が低下することを確認するため、図2に示す装置で粉体層の通気抵抗を測定した。図3にガス流速と粉体層の通気抵抗を攪拌が無い場合と比較して示す。粉体層を

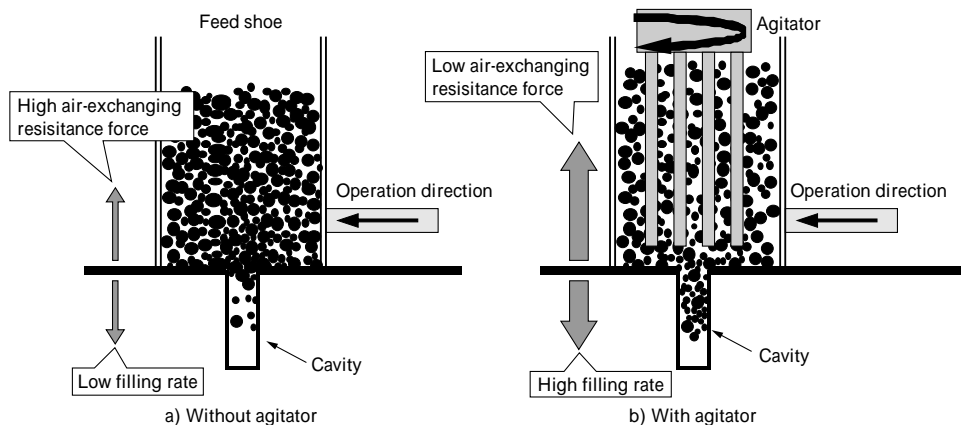


図1 Agitating-shoe の概念図  
Fig. 1 Concept of agitating-shoe

\*鉄鋼部門 鉄粉本部 鉄粉工場 \*\*㈱コベルコ科研 材料評価事業部 材料技術部

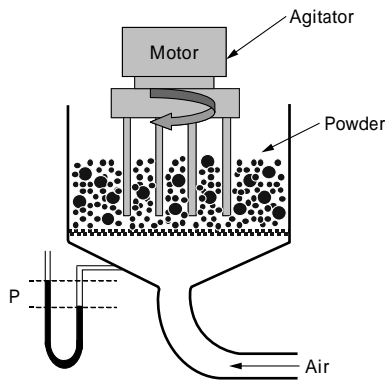


図2 空気透過性試験

Fig. 2 Apparatus of permeability in powder bed

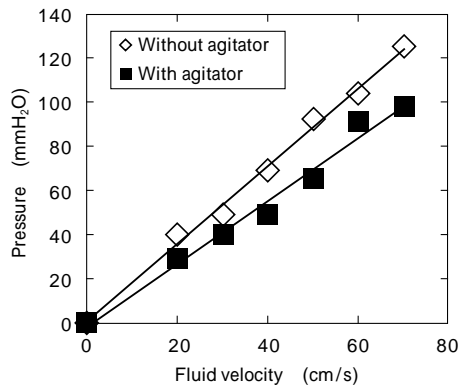


図3 通気性結果の比較

Fig. 3 Comparison of permeability in powder bed

攪拌することにより粉体層の通気抵抗が低下している。このことから、攪拌により金型内からの空気置換が容易になることが推定される。

### 1.2 充填性評価装置

粉末の充填速度を確認するために、図4に示す充填性評価装置を作製した。粉箱はモータにより前後に駆動される。金型に相当する種々の形状のキャビティが下部に設置されることが可能な構造になっている。

図5に示す2種の開口方向の異なった金型（幅2mm、長さ50mm、深さ45mm）を用い、粉箱が金型上を通過（100mm/s）する間に金型内に充填される鉄粉量をAgitating-shoe有、無で測定した。図5に1回のストロークで充填された鉄粉量を示す。粉箱の駆動方向に対し直角な形状では、Agitating-shoeがある場合約25%充填量が増加している。一方粉箱の駆動方向に対し平行な金型では、逆にAgitating-shoeがある場合充填量の低下が見られる。これは、粉箱の駆動方向に対し直角な形状の場合、粉箱が金型開口部を瞬時に覆いその結果金型内の空気置換が充填を律速するためと考えられ、粉箱内の粉末の攪拌により充填速度が改善したものと考えられる。一方粉箱の駆動方向と平行な金型の場合は、粉箱が金型開口部の一部しか覆っておらず金型内の空気は開口部から放散し易いため、攪拌の効果が見られなかったものと考えられる。

実際の金型ではこのような単純な形状は少なく、これらの形状の組合わせになっているのが実情である。従って、最も充填速度が遅い部位が充填速度を律速するた

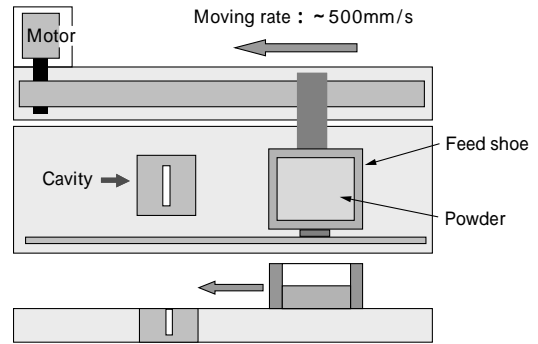


図4 金型充填性評価装置

Fig. 4 Schematic diagram of die flowability testing-device

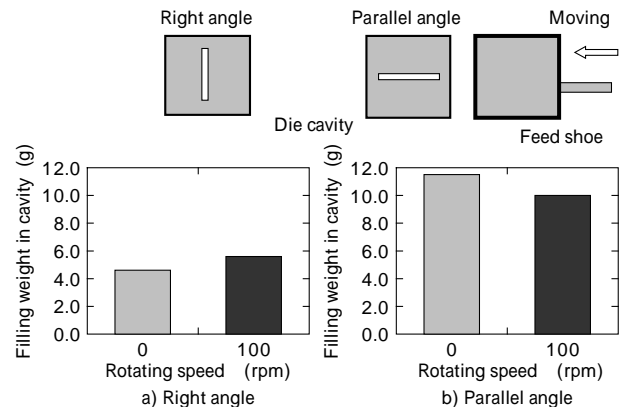


図5 充填量の比較

Fig. 5 Comparisons of filling weight

め、この充填速度が遅い部位の改善が重要と考える。

## 2. 実験結果と考察

Agitating-shoeの効果を調べるために、連続成形プレス機を用い、各種粉末の成形速度、重量ばらつきおよび成形体部分密度分布を調べた。

写真1に100トン連続成形プレスにAgitating-shoeを取付けた状況を示す。粉箱は2mmの4本の攪拌棒により攪拌される。モータは上パンチの制約のためベルト駆動で伝達する方式とし、回転数は0~300rpm可変となっている。より実部品に近い形状を想定し、外形30mm、内径26mmの金型を使用した。

### 2.1 成形速度の改善効果

1回のプレス速度を変化させ、未充填なく金型に粉末を充填できる最大のプレス速度をMSPM (Maximum Shot Per Minute)と定義した。図6に各種粉末を用い攪拌有無でのMSPMの結果を示す。いずれの粉末においても、攪拌することにより充填速度が上昇している。特



写真1 連続成形プレスに設置された Agitating-shoe  
Photo 1 Continuous press with agitating-shoe

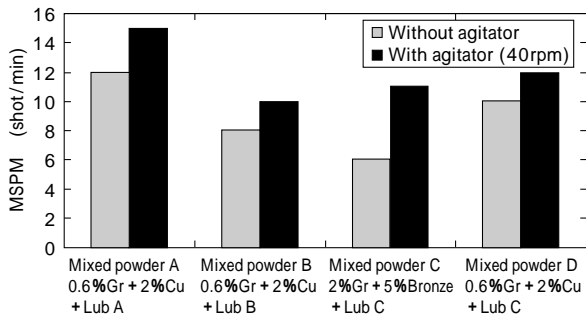


図6 最大ショット数の比較

Fig. 6 Comparison of MSPM (maximum shot per minute) with and without agitating-shoe

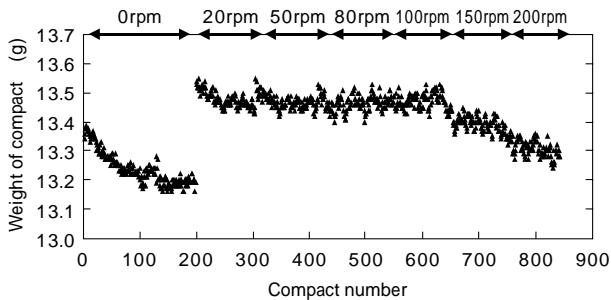


図7 成形体重量に及ぼす回転数の影響

Fig. 7 Effect of rotating speed on compact weight

に粉末Cのように副資材の添加量が多く、充填し難い粉末では攪拌による充填速度の改善効果が大きく約80%充填速度が向上している。

## 2.2 重量ばらつきに及ぼす影響

連続成形プレス機を用い Agitating-shoe の効果を確認するため連続成形を実施した。攪拌は0 ~ 200rpmまで変化させ、プレス速度は10個/分一定で行った。各回転数で100個ずつ成形を行い、成形体の重量を測定した。回転数と成形体重量の関係を図7に示す。Agitating-shoeを用いることにより1個当たりの重量増加が顕著に見られるが、回転数が150rpm以上になると成形体の重量が減少している。

これは、粉箱内を攪拌することにより金型内の空気の放出がスムーズに起こり、その結果成形体1個当たりの重量増が可能になったものと考えられる。回転が無い場合は金型内の空気放出が十分でなく、その結果成形体1個当たりの重量が減少したものと考えられる。また回転数が高い場合は、攪拌棒の回転が粉体の金型内への落下を阻害し成形体重量を低下させたと考えられる。

図8に Agitating-shoe の回転速度と成形体重量のばらつきを示す。回転数20rpmで最もばらつきが低く、回転が無い場合に比べ約30%減少した。また、回転数の増加に伴いばらつきが上昇する結果となった。

## 2.3 成形体の部分密度分布

成形体の密度分布は焼結体の寸法精度に大きく影響を及ぼす。図9に粉箱の移動方向に対する各部位の成形体密度を示す。図8に示した結果と同様に、Agitating-shoeによる攪拌が有る場合は、無い場合に比べ同じ金型充填深さでも成形体の充填量が多く、その結果各部位の密度が増加している。また攪拌が無い場合には粉箱の駆動方向の前後で密度が高く、両側で密度が低い。これに対し

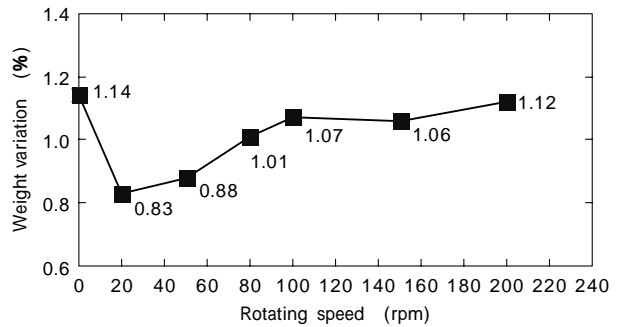


図8 成形体重量ばらつきと回転数の関係

Fig. 8 Relation between rotating speed and weight variation

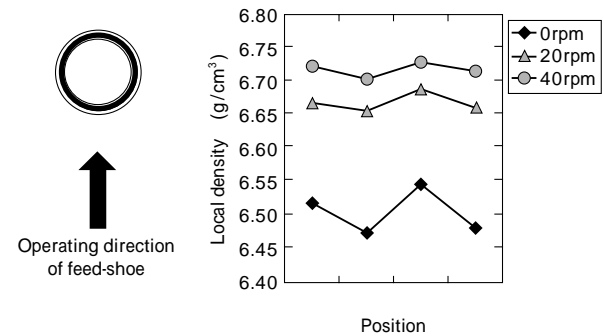


図9 部分密度分布

Fig. 9 Local density of compact

攪拌を実施することにより各部位間の密度差が小さくなっているのが明らかであり、Agitating-shoeを用いることにより重量ばらつきだけでなく部分密度の均一化も可能となる。

むすび=焼結プロセスにおいて、成形工程の短縮と成形体の品質安定は重要な課題の一つである。金型への粉末の充填では金型内の空気置換が大きく影響する。金型内の空気の置換を促進するために、粉箱に攪拌機構を有する Agitating-shoeを開発した。本装置を用い連続成形プレスに適用した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 成形速度は従来法に比べ20~80%上昇することが可能である。
- 2) 成形体1個当たりの重量増が図れるとともに成形体重量ばらつきは30%減少できる。
- 3) 成形体部分密度の均一化が図れ寸法精度の向上が期待できる。

これらの結果は比較的単純な金型で得られた結果であり、実用部品では金型形状に合わせた最適攪拌形状、条件を決定する必要がある。今後ユーザと共同して、Agitating-shoeの実用化を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 志賀竜治ほか：粉体粉末冶金協会春季大会講演概要集、(1996) p.31.
- 2) 近藤幹夫ほか：粉体および粉末冶金、Vol.45, No.5 (1998) p.412.
- 3) 浦田 勇ほか：粉体および粉末冶金、vol.45, No.5 (1998) p.417.
- 4) T. Sawayama et al.: Advances in Powder Metallurgy & Particles Materials, (1996) p.2.