研 究

落込み充填における粉末充填挙動の可視化

近藤 幹夫^{☆1}, 竹本 恵英^{☆2}^{☆1} ㈱豊田中央研究所, 〒480-11 愛知県愛知郡長久手町. ^{☆2} トヨタ自動車㈱, 〒471 豊田市トヨタ町1.

Visualization of Powder Behavior for Gravity Filling

Mikio Kondoh^{☆1} and Shigehide Takemoto^{☆2}^{☆1} Toyota Central Research & Development Laboratories Inc., Nagakute-cho Aichi-gun, Aichi 480-11.^{☆2} Toyota Motor Corporation, 1 Toyota-cho, Toyota 471.

Received July 24, 1996

SYNOPSIS

It is essential for improving the dimensional tolerance of complex P/M parts to uniformly fill powders in a die cavity. This study is aimed at clarifying the powder behavior in filling the die cavity. A visual apparatus was developed for observing the powder behavior. Using this apparatus, the effects of the die cavity shape and feed-shoe speed on the filling behavior, density and particle size segregation of filled powders were investigated for gravity filling of atomized iron powders.

It is clarified that the particle size segregation in filling occurs independently on the shoe speed and die cavity shape. Coarse particles segregate in the place where the powder falls along the angle of repose, while fine particles segregate in the thin-walled part and the position where the empty space finally disappears.

KEY WORDS

dimensional tolerance, gravity filling, filling behavior, particle size segregation

1 緒 言

自動車用の焼結部品は、薄肉で大きな段差を有する複雑な形状のことが多い。そのために、一回の成形と焼結だけでは寸法精度が確保できず、後加工としてサイジングや切削加工が必要となる。低コスト化のため、できるだけ後加工を省略するには、焼結部品の寸法精度を向上させる必要がある。寸法精度の向上にとって、粉末を金型キャビティへ均一に充填することが成形技術の重要な課題の一つである。しかし、粉末充填に関する研究は少なく、その挙動には不明な点が多い^{1, 2)}。

本研究では、新しく考案した充填挙動の可視化装置を用いて、落込み充填における粉末の充填挙動、密度、粒度偏析などに及ぼす粉末特性、キャビティ形状、粉箱移動速度などの影響について調べた。

2 実験方法

2.1 粉末充填可視化装置と試験条件

考案した粉末充填可視化装置の外観をPhoto.1に示す。この装置は粉箱とキャビティ及び制御盤から構成されている。粉箱と型の前面は、粉末の動きを観察できるように透明なアクリル板で構成してある。キャビティ形状は、3分割した下パンチのそれぞれの深さと厚さを変えることにより、種々に変化させた。実験に用いたキャビティ形状をFig.1に示す。薄肉の矩形キャビティは幅20mm、深さ40mmとして厚さ(t)を1, 2, 5mmと変えた。複雑な形状のキャビティは中央部に段差のある1mmの薄肉部を有し、両側に厚肉部があるものとした。粉箱は横方向と正面からそれぞれ移動させ、移動速度(V)は10~60mm/sまで変えた。粉末の充填過程は

Feed-shoe for back and forth direction

Photo. 1 Appearance of visual apparatus.

Fig. 1 Schematic illustration of die cavities

ビデオカメラで、粉末の充填状態はCCDカメラでそれぞれ撮影した。

2.2 使用粉末

原料粉末は、ヘガネス社製の噴霧鉄粉ASC100-29とCuを10%拡散合金化したDISTALOY-ACu、日本黒鉛社製の黒鉛粉J-CPBである。潤滑剤は日本油脂製のステアリン酸亜鉛(ZnSt.)である。実験にはFe+0.3, 0.8, 1.2% ZnSt. の3種類、Fe-2%Cu+0.8%ZnSt., Fe-2%Cu-1%C+0.8%ZnSt. 混合粉及びヘガネス社製のPre-mix粉(Fe-2%Cu-0.8%C+0.8%Lub.)を用いた。充填状態のマイクロ観察には、Fe-2%Cu+0.8%ZnSt. 混合粉を用いた。

使用した粉末の特性をTable 1に示す。各種粉末の限界流出径(Min. Dia.)は、オリフィス径を $\phi 0.5$

Table 1 Characteristics of powders used in this experiment

Powder	A.D. (g/cm ³)	Flow Rate (s/50g)	Min. Dia. (mm)
Fe+0.3%ZnSt.	3.57	23	1.0
Fe+0.8%ZnSt.	3.50	30	1.5
Fe+1.2%ZnSt.	3.43	44	2.0
Fe-2%Cu+0.8%ZnSt.	3.39	28	1.5
Fe-2%Cu-1%C+0.8%ZnSt.	3.35	Not flow	3.5
Pre-mixed powder	3.16	29	2.5

から $\phi 6$ mmまで変えたロートで測定した値である。この値が大きいほど流動度は小さい傾向にあり、ほぼ対応している。

3 実験結果及び考察

3.1 薄肉矩形キャビティへの充填

厚さ1mmの矩形キャビティへのFe-2%Cu+0.8%ZnSt. 混合粉の充填過程をPhoto.2に示す。粉箱がキャビティの真上まで前進して来ても、粉末は一気に落下することではなく、徐々に流れ落ちて充填した。

粉末による充填過程の違いをPhoto.3に示す。これらは粉箱が後退する直前の状態である。Fe+0.8%ZnSt. 粉ではほぼ充填が完了しているが、Fe+1.2%ZnSt.やPre-mix粉では粉箱が前進する過程では完全には充填せず、粉箱が後退する過程で充填が完了した。また、これらの粉末は粉箱内で棚をつくり、大きな空洞が発生するのが観察された。これに対し、Fe-2%Cu-1%C+0.8%ZnSt. 混合粉では粉箱が後退した後も完全には充填しなかった。

Photo. 2 Continuous video frames of powder filling process in rectangular cavity. (Powder: Fe-2% Cu+0.8%ZnSt.; t: 1 mm; V: 60 mm/s)

Photo. 3 Difference in filling processes of various powders. (t: 1 mm; V: 60 mm/s)

粉箱を 60mm/s の速度で移動させた時の充填密度に及ぼすキャビティ厚さの影響を Fig.2 に示す。いずれの粉末も充填密度は厚さが薄くなるほど低下し、厚さが 1mm では見掛け密度よりも低かった。その低下度合いは流動性の悪い粉末ほど大きかった。

キャビティ厚さ(t)が 1mm と 5mm の場合の粉末の充填状態を Photo.4 に示す。厚さが 1mm では充填された粉末には細粉が多く偏析しているのに対して、厚さが 5mm では粒度偏析が生じている部分は認められなかった。

Fig. 2 Effect of wall thickness of rectangular cavity on filling density.

Photo. 4 Photomicrographs of powder filled into rectangular cavity.

(Powder: Fe-2% Cu+0.8%ZnSt.; V: 60 mm/s)

Fig. 3 Effect of feed-shoe speed on filling density in complex cavity.

3.2 複雑形状キャビティへの充填

充填密度に及ぼす粉箱移動速度の影響を Fig.3 に示す。充填密度は粉箱の移動速度が大きいほど、いずれの粉末もわずかに高くなった。また、これらは見掛け密度より 0.1 ~ 0.2g/cm³ 高い値であった。

10mm/s の速度で粉箱を横送りとした場合の粉末の充填過程を Photo.5 に示す。粉箱がキャビティの端から数 mm 突き出た所から粉末の流出が始まる。その後、粉末は粉箱の移動に伴い安息角に沿って斜面を転がり落ちて順次キャビティを満たす。これに対して、粉箱速度を 60 mm/s とした場合には、Photo.6 に示すように、粉箱の先端が中央部付近に到達したあたりで、手前の厚肉部に粉末が一気に落下する(a)。そのためにキャビティ内の空気は激しく押し出され、その後に落下する粉末はこの空気の流れにより前方へ吹き飛ばされる(b)。薄肉部では空気と粉末との置換が遅れ、後から落下した粉末に空気の逃げ道を塞がれて空洞が発生する(c)。この空洞は徐々に上方へ移動しながら消滅する。その先の厚肉部では速度が 10mm/s の場合と同様、安息角に沿って充填が進行する(d)。

Photo. 5 Continuous video frames of powder filling process in complex cavity.

(Powder: Fe-2%Cu+0.8%ZnSt.; V: 10 mm/s)

Photo. 6 Continuous video frames of powder filling process in complex cavity.

(Powder: Fe-2%Cu+0.8%ZnSt.; V: 60 mm/s)

60mm/s の速度で粉箱を正面送りとした場合の充填過程を Photo.7 に示す。この場合、粉箱がキャビティ上を移動する距離は 20mm である。粉箱がキャビティ端から 10 から 15mm 突き出たところで一気に粉末が落下して空気を前方へ押し出す(a)。しかし、薄肉部の空気は置換されず空洞が発生する。その後、薄肉部へは両側の上段から粉末が流入して徐々に充填される(b,c)。粉箱により上部を塞がれているため空洞はなかなか消滅しない(d)。このように、粉箱の移動方向をどちらにしても薄肉部には空洞が発生した。しかし、粉箱の速度が 20mm/s 以下では薄肉部に空洞の発生は認められなかった。

60mm/s で粉箱を横送りとした場合について、代表的な部位における粉末の充填状態を Photo.8 に示す。最初に粉末が流れ込む段差部では細粉と粗粉が分離して境界ができていて(b)。一方、その反対側の段差部や薄肉部(c)および充填過程で発生した空洞が最終的に消滅する所には細粉が集まり偏析していた。細粉は空洞を形成する空気の動きに容易に巻き込まれることによって生ずるものと考えられる。これに対して、安息角に沿って粉末が流れて充填される部分では粗粉が多くなった(a)。このことは、粉末のうち転がり易いのは粗粉であることによって発生すると言える。このような充填状態は、粉箱の送り速度が遅い場合や充填方向を変えた場合でも同様に認められた。

以上の観察結果から、複雑な形状のキャビティに粉末を充填する場合には、その過程で空洞が発生するような箇所には細粉が、安息角に沿った充填がされる箇所には粗粉が偏析することが分かった。通常の混合粉末では、銅粉や黒鉛粉は微粉で添加されることから、これらの粉末が偏析すると寸法精度に大きく影響することは寸法変化に関する文献^{3, 4)}から予想される。また、偏析防止処理がされた粉末であっても、粒度偏析が生じれば寸法変化に大きく影響する。従って、粉末と空気との置換を速くさせ空洞の発生を抑えることや安息角に沿って粉末が流れる様な充填を避けることが重要である。

4 まとめ

新しく考案した粉末充填可視化装置を用いて、落込み充填における粉末の挙動を調べた結果、以下のことが明かとなった。

1. 複雑な形状のキャビティへの充填過程においては、粉末と空気との置換の遅れによる空洞の発生、空気の流れによる粉末の飛散や安息角に沿った粉末の移動によって粒度偏析が生ずる。このような現象は、キャビティ形状、粉箱の移動速度 および粉末の流動性の影響を受ける。

Photo. 7 Continuous video frames of powder filling process in complex cavity when feed-shoe moves back and forth.

(Powder: Fe-2% Cu+0.8 %ZnSt.; V: 60 mm/s)

Photo. 8 Photomicrographs of filled powder in complex cavity when feed-shoe moves transversely.

(Powder: Fe-2% Cu+0.8%ZnSt.; V: 60 mm/s)

2. 薄肉部やそこに発生する空洞が最終的に消滅する箇所および空気に飛ばされた粉末が堆積する箇所には細粉が偏析し、安息角に沿って粉末が流れる箇所には粗粉が偏析する。
3. 単純な矩形キャビティでも薄肉になるほど細粉の偏析が顕著に生じる。また、充填密度も低下し、その度合いは流動性の悪い粉末ほど大きい。

文 献

- 1) 大石芳宏, 久保田毅, 浅井満, 木村尚, 犬飼敏昭, 宇野和夫: 粉体粉末冶金協会, 昭和 53 年度秋季大会講演概要集 (1978), 6.
- 2) E.R.Rice, J.Tengzelius: Powder Met., 29(1986) 183.
- 3) S.Masuhara, S.Kawai: Adv. Powder Met. 3 (1992) 267.
- 4) V.Arnhold, H.Rapp, R. Wahling: Adv. Powder Met. 3 (1994) 237.