受賞記念講演：平成 15 年度技術功績賞

流れ性、充填性を重視した粉末冶金用プレミックス鉄粉の開発

関 義和

(株)神戸製鋼所, 〒 676-8670 高砂市荒井町新浜 2-3-1.

Development of Iron Based Pre-mixed Powder Improved Flowability and Filling-ability in P/M Manufacturing

Yoshikazu Seki

Kobe Steel, Ltd., 2-3-1 Shinhama, Arai-cho, Takasago 676-8670.

Received March 15, 2005

SYNOPSIS

One of the most important subjects in the P/M manufacturing is productivity of compacts. There are two processes that are controlling productivity in P/M manufacturing. (1) Discharging of powders from the hopper. (2) Filling of powder into the die cavity.

To evaluate the discharging characteristics of powders, the simplified discharging equipment was designed to measure the critical discharging diameter of iron based pre-mixed powder. The critical discharging diameter showed good relation to flow patterns of powders in the hopper.

In the die filling process, the air release from the die cavity was found to be important phenomena. "Agitating-shoe" which can accelerate the air release from the die cavity was able to increase the filling rate and decrease the weight variation of compacts compared to a conventional feed shoe.

KEY WORDS

flowability, feeding shoe, segregation-free powder

1 緒 言

日本の鉄粉生産量は Fig.1¹⁾ に示すように 2002 年度で約 20 万 t であり, 輸出用も含めると約 70% は焼結機械部品用原料粉として使用されている。焼結機械部品は原料である鉄粉または合金鋼粉と副資材である合金添加材, 黒鉛, 潤滑剤などを混合し, 金型へ充填, プレスにて加圧成形され, 焼結炉で焼結, 製造されている。

鉄粉と副資材を混合する際, 特に黒鉛粉など鉄粉に比べ粒径が小さく, 比重が低い粉末は混合中に発塵する問題があり, また混合粉末を金型へ充填するためホッパーから搬送する際に黒鉛などが偏析する課題があった。

これらの課題を解決するため, 鉄粉表面にバインダにより黒鉛などを付着した偏析防止鉄粉が使用されるようになってきた²⁾。Fig.2 には神戸製鋼所の粉末冶金用鉄粉に占める偏析防止鉄粉の割合を示している。偏析防止鉄粉の使用比率は年々増加する傾向にあり, 焼結用原料粉の約 60% の割合を占めるようになってきた。

近年, 焼結機械部品は高強度化, 薄肉複雑化が進み, これ

に伴い原料粉も複合化が進みよりハンドリング性の高い粉末の要求が高くなってきた。

Fig.1 Shipment of iron powder in 2002 in Japan.

Fig.2 Ratio of segregation-free powder in P/M at Kobe Steel Ltd.

また焼結部品の低コスト化要求のため焼結工程での原料粉の特性改善の要求も高くなっている。

原料粉の立場から焼結工程の粉末の課題として、①プレス生産性の向上、②製品品質の向上が考えられる。生産性の向上は金型への粉末の充填性向上、薄肉複雑金型への充填性の向上が挙げられる。また製品品質の向上では成形体の重量バラツキの低減、部品部分密度の低減が挙げられる。しかしながらこれら要求特性を満足するための粉体の評価方法は確立されておらず、実機での評価に委ねているのが現状である。

そのため、原料粉の流れ性を中心に粉末の評価方法を検討した。また金型への充填ではその機構を調査し、充填改善方法を提案した。

2 流れ性の評価方法の検討

従来から流れ性の代表的な評価方法として流動度測定がある。これは50gの粉末がロートを流れ出る時間で評価する方法で最も一般的な方法である。しかしながら流動度の良好な粉末が必ずしもユーザの実機評価と一致していないのが現状である。また、ユーザでの流れ性の評価もホッパでの詰まりと金型への充填性に大別される。そのため流れ性を①ホッパからの排出性と②金型への充填性に分類しそれぞれ調査した。

2.1 ホッパからの排出性³⁾

ホッパからの排出性を調査するためにFig.3に示す2次元の亚克力製試験ホッパを製作した。ホッパは底部の角度と排出口幅が変更可能な構造となっている。本装置を用い各種粉末を試作し、流れの可視化により粉末の流れを評価した。代表的な可視化結果をFig.4に示す。ホッパ内の流れは潤滑剤により大きく影響を受けている。ホッパ角が大きくなるほど粉末の流動性は良好になり、排出口幅が大きくなるほど流動性が良好となっている。次に代表的なプレミックス鉄粉のバインダの有無と流動度に代表される粉体特性と可視化によって得られた流れの特徴をTable 1に示す。流動度と流れの特性は

Fig.3 Test hopper.

必ずしも一致していない。

試験ホッパの排出口幅が粉末の流れの特性に影響を及ぼすことからFig.5に示す排出性評価試験機を考案した。試験機は粉体を入れる容器と下部に種々の排出径を有したシャッタから構成されている。粉体を容器に投入し、粉体が流れ出る最小の排出径を限界流出径と定義した。

各粉体の限界流出径測定結果と他の特性と併せFig.6に示す。流れの特性、特に排出性の悪い粉体の特性を限界流出径で表すことができた。

粉体の流動性は粉体層の付着力を測定することによっても評価される。付着力は粉体層にかかる垂直応力と粉体層のせん断応力の関係を測定することによって測定できる。粉体の付着力を三協パイオテック(株)パウダーベッドテスト PTHN-13BA 型を用い測定した。粉体の付着力の測定原理と付着力

Fig.4 Visible results of discharging in the test hopper.

Table1 Characteristics of pre-mixed powder.

	Lubricant	binder	AD (g/cm ³)	FR (s/50g)	state of discharging
A	Zn-st	none	3.30	30.4	G
B	Zn-st	yes	3.50	22.1	E
C	Wax	yes	3.20	26.0	G
D	Wax	yes	3.14	25.8	B
E	Wax	yes	3.66	29.3	E

(E: excellent smooth, G: good, B: bad)

Fig.5 Equipment for evaluating flowability of powder.

Fig.6 Relation between state of discharging and critical discharging diameter.

と限界流出径の関係をFig.7に示す。この結果から限界流出径と付着力に良好な関係が見られ限界流出径は付着力を代表しているものと考え、このことからホッパからの流出性は簡易的な限界流出径を測定することにより評価できる。現在本装置は神戸製鋼所のプレミックス鉄粉の配合設計に活用されている。

2.2 金型への充填性評価^{4,5)}

シューボックス(粉箱)から金型キャビティへの粉末の充填をシミュレートするためFig.8に示す金型充填性評価試験機を作製した。シューボックスはエアシリンダにより駆動され金型を模擬した容器が下部に設置されている。

シューボックス速度100mm/s一定の条件でスリット幅2.5mmの金型を用い一回のストロークで容器内に充填される粉末量を測定し、単位断面積当たりの重量を充填度と定義した。測定結果と限界流出径、流動度の関係をFig.9に示す。流動度、

Fig.7 Relation between critical discharging diameter and adhesive force.

限界流出径いずれの粉体特性も充填性を評価することはできなかった。特にスリット幅により充填度が異なった変化をしている。このことから充填性は単に粉末の特性だけでなく金型形状や充填方法に影響を受けていると考えられる。そこで充填機構を調査するためシューボックスの稼動をモータ駆動に変更し、種々の稼動方法で粉末の充填度が変わるか調査した。

*) E : excellent discharging G : good B : bad

Fig.9 Relation between degree of filling and powder characteristics.

Fig.8 Schematic diagram of the die flowability testing- devic.

模擬金型としてシリンダ状(外形30 mm, 内径20 mm)のキャビティを用い稼動方法をFig.10に示すように、金型上でのシェイク有・無、金型上での停止などを行い充填度への影響を調べた。

測定結果の一例をFig.11に示す。図から明らかなように金型上でのシューボックスの滞留時間が長い場合充填量が多くなっている。一方、Fig.12にはシューボックス内の粉末高さを変えた場合の結果を示す。充填量が少ない場合に最も粉末が金型へ入り易いことがわかる。このことは金型へ落下する粉末と金型内の空気との交換が充填速度に影響しているものと考えられる。

2.3 新しい充填装置^{6,7)}

前節で粉末を金型へ充填する際、特に金型内の空気と粉の置換が充填速度に大きく影響をおよぼすことが明らかになった。そこで空気置換をさらに向上させるため攪拌型シュー

ボックス“Agitating-shoe”を考案した。Fig.13にこの装置の概念図を示す。攪拌は2 mmの鉄棒を本上部のモータにより回転させることにより金型内の空気の置換を促進させる。Fig.14は固定層を用い攪拌なしの場合とありの場合の粉体層の通気抵抗を測定した結果を示すが、攪拌により通気抵抗が低下しているのが明らかである。

偏析防止処理した鉄粉を用いて、本装置を実際のプレス装置に組み込み成形を行った。プレス速度を速くした場合、金型へ粉が完全に充填されなくなる。充填することができる最大速度を最大ショット数(MSPM: Maximum shot per minute)と定義した。“Agitating-shoe”を付けた場合と無い場合のMSPMをFig.15に示す。攪拌によりMSPMが増加していて、特に充填性の悪い粉末Cで改善効果が大い。1分間10ショットの一定条件で連続成形を行い成形体の重量の変化をFig.16に示す。攪拌がない場合には成形体重量は攪拌有りに比べて低い。また回転数が150 rpmを超えると成形体重量が低下して

Fig.10 The motions of feed-shoe.

Fig.12 Effects of the powder level in the feed-shoe on the die flowability.

Fig.11 Effects of filling condition on die flowability.

Fig.13 The Concept of "Agitating-shoe".

Fig.14 Comparison of permeability in powder bed.

くる。Fig.17には成形体の重量の変化率を示すが、回転数が20rpmの場合最もばらつきが小さい結果となった。Fig.18には一個の成形体の各部位での部分密度分布を示す。攪拌なしの場合シューボックス進行方向の密度が高く、両側の側面の密度が低くなっている。これに対し攪拌を行うことにより各部位の密度差が小さく均質化が図られる結果となり、充填速度向上のみでなく部品の部分密度が均質化することが明らかとなった。

3 ま と め

粉末冶金の焼結工程における粉体の流れ性は生産性だけでなく製品品質に対しても重要な要因である。本報告で粉体の流れ性を、ホッパーからの排出性と金型への充填性に分類し粉体の評価を行った。

ホッパーからの排出性は粉体の付着力が影響し、この評価として簡易的な排出性評価試験機で粉体の評価ができた。

Fig.15 Comparison of MSPM (maximum shot per minute) with and without "Agitating-shoe".

Fig.16 Effect of rotating speed on weight of compact.

Fig.17 Relation between rotating speed and weight variation.

Fig.18 Local density of compact.

金型への充填性は粉体の充填方式によって異なり, 特に金型内の空気と粉体との置換が充填を律速していることを明らかにした.

また金型内の空気置換を促進する“Agitating-shoe”を考案し, 実機試験により生産性の向上のみならず部分密度の均質化が図られた.

謝 辞

最後に, 今回の受賞に際してご推薦いただいた当協会の諸先生に感謝するとともに, これら技術開発に携わった当社共同開発者各位のご協力に深く御礼申し上げます.

文 献

- 1) JPMA: "Annual Report", (2003)4.
- 2) D.Takai, K.Yoshioka, A.Kagawa, T.Koga and H.Suzuki: "Development of Technology for Mixed Powder Free from Segregation and Dusting", Kobe Steel Engineering Reports, 44

(1994)10-13.

- 3) T.Sawayama and Y.Seki: "The evaluating method of powder flowability", Abstracts of Spring Meeting of Japan Society of Powder Metallurgy, (1996)29.
- 4) T.Sawayama and Y.Seki: "The effect of filling conditions on die filling", Abstracts of Autumn Meeting of Japan Society of Powder Metallurgy, (1997)103.
- 5) T.Sawayama and Y.Seki: "The effect of filling conditions on die filling", Advances in Powder Metallurgy & Particles Materials, (1999)2-6.
- 6) Y.Hashimoto, M.Murakami and Y.Seki: "Improvement of die filling by "Agitating-shoe"", Proc. of 2002 Word Congress, (2002)247-252.
- 7) Y.Hashimoto, M.Murakami and Y.Seki: "Improvement of die filling by "Agitating-shoe"", Abstracts of Autumn Meeting of Japan Society of Powder Metallurgy, (2002)26.