エアータッピング (AT) 法による金型への粉末充填

Air Tapping (AT) Apparatus and Method for Powder Filling to Die

永田 浩, 佐川 真人

Hiroshi Nagata, Masato Sagawa

Key Words : Air tapping, Powder, Filling, Die pressing

1. はじめに

金型による粉末の圧縮成形において、金型キャビティーへの粉末充填法の改良は重要課題である^{1,2)}。

さきに、我々は新しい圧粉成形法として RIP (Rubber Isostatic Pressing) 技術を開発し^{3,4)}、この技術において、粉末をゴムモールドのキャビティーに充填する方法としてエアータッピング (AT) 法を提案した^{3,4)}。ここでは、金型による粉末の圧縮成形における、金型キャビティーへの粉末充填法としての AT 法を提案し、焼結部品の生産に実際に使われているプレス機に取付けて使用可能な AT 式フィードシュールモデル機の製作と、このモデル機による粉末充填テストの結果を報告する。

2. AT 法による金型キャビティーへの粉末充填

図 1 に、AT 法による金型キャビティーへの粉末充填の原理図を示す。フィードシュールに二つのバルブが

図1 AT (Air Tapping) 法による金型キャビティーの粉末充填の原理

取付けられている。バルブ1を開くと圧縮空気がフィードシュール内に導入される。バルブ2はフィードシュール内の圧力が一定圧力に達すると開いて、フィードシュール内の空気を外に放出する。バルブ1と2の開閉圧力等の調整により、フィードシュール内の空気圧を周期的に変化させる。

AT フィードシュール内部の典型的な圧力サイクルを図2に示す。この例では、圧力は、1気圧と1.1気圧の間を30Hzの振動数で振動し、この圧力振動が0.4s続いている。このような高速の圧力振動を、100cm³以上の容積をもつフィードシュール内の空間全体に与えるために、図1のバルブ1には特殊な高速バルブが使用される。

バルブ2にはオーバープレッシャーリリーフバルブ (Over Pressure Relief Valve) が使われる。

なお、粉末の種類やキャビティーの形状によっては、図2の圧力サイクルの低圧側を負圧 (1気圧以下) にした方がよい場合がある。この場合は、図1の

2000年10月24日受付

インターメタリックス株式会社

(〒615-8206 京都市西京区松室追上町22-1) TEL 075-392-8637

<著者紹介>

永田 浩

1986年広島大学大学院環境科学研究科修士課程修了。同年住友特殊金属(株)入社。1992年広島大学生物園科学研究科博士課程修了。同年インターメタリックス株式会社入社。取締役。現在に至る。

佐川 真人

1966年神戸大学工学部電気工学科卒。1972年東北大学大学院博士課程(金属材料工学)修了。同年富士通(株)入社。1982年住友特殊金属(株)入社。1988年インターメタリックス(株)設立。代表取締役社長。現在に至る。

図2 AT法フィードシューに与える典型的な圧力サイクル

バルブ2として、アスピレータ式真空発生バルブを使用する。

図1の構成で、粉末を充填したフィードシュー空間に図2の圧力サイクルを与えると、フィードシュー空間に連結した金型キャビティーに粉末が均一に充填される。AT法による粉末の均一充填のメカニズムは、まだ詳しく解析されていない。我々は、フィードシュー内空間に圧力サイクルを与えると、フィードシュー内とそれに連結したキャビティー内に発生する気流によって粉末のブリッジが破壊され、ブリッジのない粉末充填が実現されることが、均一充填の理由であると考えている。

特に、図2の圧力サイクルで、低圧側から高圧側に移行するときの圧力変動の速さを、それと逆方向の圧力変動の速さより大きくすると、キャビティー内のブリッジ形成は一層抑制され、充填密度が向上するとともに、充填密度の均一性が向上する。

これまで報告されている気流を利用した粉末充填法^{1,2)}と比べて、AT式粉末充填法は強い気流がキャビティー内部に形成されることが特徴である。すなわち、これまでの粉末充填法は、気流を利用した充填法を含めて、キャビティーより上部にある粉末の状態に変化を与えて、キャビティー内への粉末の充填状態を改善しようとしていたのに対して、AT式粉末充填法は、キャビティー内の粉末にも気流が作用し、この気流の調整により均一充填状態の実現をめざす。AT式粉末充填法は従来の充填法と比べて、より直接的な粉末充填法であるといえる。

3. AT フィードシューモデル機による充填テスト

焼結部品やボンド磁石の生産に実際に使われてい

図3 生産用プレス機に取付けできるように設計したAT式フィードシューの模式図

る、機械プレス機や油圧プレス機に取付けて使用できるAT式フィードシューのモデル機を作製し、鉄焼結部品用粉末により充填テストを行った。作製したフィードシューモデル機の模式図を図3に示す。このモデル機はつぎのように設計した。

粉末保持容積：150cm³

上パンチ直下部フィードシュー高さ：70mm

また、粉末を貯蔵するホッパーとフィードシューはφ25mmのゴム管で連結した。充填テストに使用した鉄粉は、Höganäs Distaloy AEである。

AT法と従来の重力のみを利用する充填法を比較するために、つぎのような実験を行った。

- (1) AT法による充填：粉末を満たしたフィードシューをキャビティー直上までスライドさせ、図2に示すAT圧力サイクルによりフィードシュー内の粉末をキャビティーに充填した。キャビティーに充填された粉末の質量を毎回測定して、充填密度を算出した。
- (2) 従来法による充填：上記(1)で使用したフィードシューを用いて、AT圧力サイクル印加なしで、フィードシューを前後に2回シェーキングするだけでフィードシュー内の粉末をキャビティーに充填した。キャビティー内の粉末を(1)と同様に質量測定して充填密度を算出した。

1回の充填に使用できる時間を、(1)では1秒間、(2)では2秒間とした。スリット幅が2mm以下のとき、ATなしでは、1秒間の充填により、粉末がほとんど入らないことがあるので、ATなしのときの充填

図4 ATフィードシュューおよび従来法フィードシュューによりスリットに鉄粉を充填したときの、スリット幅 W による充填密度の変化（充填時間はAT法するとき1秒間、従来法するとき2秒間とした）

表1 ATフィードシュューおよび従来法フィードシュューにより、スリット幅 $W=1\sim 10\text{mm}$ のスリットに鉄粉を充填したときの充填密度のばらつき（充填時間はAT法するとき1秒間、従来法するとき2秒間とした）

充填方法 \ W	充填密度のばらつき (%)			
	1mm	2mm	5mm	10mm
AT法	2.1	1.1	1.1	0.4
従来法	43.3	21.8	2.2	1.8

時間は2秒間とした。

また充填テストに使用したキャビティーは、開口部 $50\text{mm} \times W\text{mm}$ 、深さ 50mm で、 W を 1mm から 10mm まで変えた。この実験のために、 W が異なるキャビティーを持つアルミニウム製ブロックを用意し、このブロックを交換することによってキャビティーのスリット幅 W を変えた。上記 (1), (2) について、 $W=1, 2, 5$ および 10mm の各スリットごとに、それぞれ20回の試行を行った。

AT法および従来法により鉄粉をキャビティーに充填したときの、スリット幅 W による、充填密度の平均値の変化を図4に、そして充填密度のばらつきの変化を表1に示す。図4から、充填密度はAT法による方が、従来法によるより、常に高密度であること、また、従来法によると、 W が 4mm 付近以下で充填密度が急激に低下することが分る。また、表1から、AT法は充填密度のばらつきを低く抑えるのに大変効果的であることが分る。表1に示されているように、

AT法は従来法に比べて、キャビティーのスリット幅が充分大きいときでも、充填密度のばらつきつまりキャビティー内の粉末の量のばらつきを、半分以上に抑えることができる。そして、キャビティーのスリット幅がある限界値以下（この実験では $W \leq 2\text{mm}$ ）になると、従来法ではばらつきが急増して、実質的に制御不能になるのに対して、AT法ではスリット幅が 1mm でもばらつきの増加はわずかである。

4. AT法の将来

上述の実験によりAT法は、コストと品質が最もきびしく追求される鉄焼結部品の生産においても、十分に実用的価値を持つことが実証された。複雑な形状をもつキャビティー、深いキャビティー、薄肉リング状のキャビティー、浅くて広いキャビティー等に対して、これまでの粉末充填法では満足できる均一充填ができなかった。AT式フィードシュューは、このようなこれまで均一充填が難しかったキャビティーについても、キャビティーのすみずみまで、均一高密度充填を可能にする。近い将来、世界中の鉄焼結部品メーカーの金型プレス機にAT式フィードシュューが設置されることになるかと確信する。

AT式フィードシュューは、磁石粉末、セラミック粉末、カーボン粉末等、粒径が小さく流動性が悪い粉末に対して、その本領がさらに顕著に発揮される。NdFeB焼結磁石やSmCo焼結磁石用粉末は、造粒すると磁界配向ができなくなるので、流動性の悪い微粉の状態ではキャビティーへの粉末充填が行われる。このため、これらの磁石の生産では、圧粉成形工程の改良が最重要課題である。これらの磁石粉末以上に微細な粉末を取扱うセラミックや超硬製品の生産においては、微粉を造粒して問題を解決している。これらの工業において、もし微細な乾粉を造粒しないでキャビティーに均一に充填して圧縮成形できれば、造粒することに起因する、焼結体中への不純物の混入や微細な欠陥の発生を防止でき、セラミックや超硬製品の品質改良が期待される。このような観点からいくつかの高機能製品について、AT式フィードシュュー導入の検討が既に始まっている。

上述のように、RIP技術の副産物として生まれたAT技術は、歴史が長く、市場規模が大きい鉄焼結部品の生産において、また、永久磁石やセラミック等新素材の生産において、究極の粉末充填技術として、製品のコストダウンと品質向上に大きく貢献していくことが期待される。

文 献

- 1) Kondoh, M., S. Takemoto and I. Uehara : Proceedings of 1998 Powder Metallurgy World Congress and Exhibition, Granada, Spain, vol. 2, 85 (1998)
- 2) Zahrah, T. F., R. Rowland and G. Gasbarre, Jr. : *P / M Science & Technology Briefs*, **1**, 18 (1998)
- 3) Sagawa, M., H. Nagata, T. Watanabe and O. Itatani : Proceedings of 1998 Powder Metallurgy World Congress and Exhibition, Granada, Spain, vol. 2, 103 (1998)
- 4) Sagawa, M., H. Nagata, T. Watanabe and O. Itatani : Materials and Design, Elsevier Science, **21**, p. 243 (2000)