研 究

鉄系粉末の金型潤滑成形における添加潤滑剤の挙動

上田 勝彦^{☆1}, 町田 輝史^{☆2}^{☆1}日立粉末冶金(株), 〒270-2295 松戸市稔台 520.^{☆2}玉川大学工学部機械工学科, 〒194-8610 町田市玉川学園 6-1-1.

Behaviors of Added Lubricant in the Compacting Iron Powders with Die-Lubrication

Katsuhiko Ueda^{☆1} and Terufumi Machida^{☆2}^{☆1}Hitachi Powdered Metals Co., Ltd., 520 Minoridai, Matsudo 270-2295.^{☆2}Department of Mechanical Engineering, Tamagawa University, 6-1-1 Tamagawa-Gakuen, Machida 194-8610.

Received January 27, 2000

SYNOPSIS

In order to achieve the higher density in a die-lubrication compacting process, an experimental investigation was conducted regarding the influence of zinc stearate lubricant added in iron powder on the green density, the friction between powder and die wall, and the friction between powders.

The lubrication of some 0.05 mass% was most suitable for the powder flowability and the axially uniform density. The die lubrication is important to reduce the die-powder friction, however, it can not improve the green density. The effect is similar as in case of graphite-added powder. The lubricant reduction is most promising when compacting pressures is higher than 700 MPa in the method.

KEY WORDS

Higher density, Compacting, Die wall lubrication, Friction force, Iron powder, Zinc stearate

1 緒 言

自動車や産業機械の高出力化, 高性能化あるいは小型化に伴って, その焼結部品に高強度が求められている。この要請に応えるためには高密度化が必要であり, これまで粉末原料¹⁾, 材料²⁾そして製法³⁾の面から様々な研究開発が行われてきた。例えば 1994 年頃ヘガネス社によって開発された温間成形技術⁴⁾は, 高密度焼結製品の製法として定着しつつある。

一方, 金型潤滑粉末成形が近年見直され, 基礎研究から技術開発⁵⁻⁷⁾まで盛んに行われている。これによれば原料粉末に添加する潤滑剤をかなり自由に設定また削減できるので, 成形体の密度を高くできる可能性がある。

本報では鉄系粉末の金型潤滑成形法を試みた。そして添加潤滑剤が密度, 粉末-金型間ならびに粉末間の摩擦に及ぼす影響を明らかにし, 高密度化への指針を得た。

2 実験方法

2.1 供試粉末

試料は(株)神戸製鋼所の水アトマイズ鉄粉アトメル 300M とそれに 0.6mass% 黒鉛を配合した粉末を使用した。成形潤滑剤

としてアデカファインケミカル社製のステアリン酸亜鉛を V 型ミキサーで 20min 間混合した。その添加量は 0~1.3mass% の範囲で設定した。

2.2 成形実験

成形にはアムスラー型万能試験機を用いた。成形圧力是一定 (980MPa) で, 金型潤滑を施したダイス (キャビティ直径 11.3mm) に粉末を充填し, ダイス下面を固定した片押し法で全長 15mm の成形体を作製した。金型潤滑は, アルコール懸濁ステアリン酸亜鉛をダイス内壁面に塗布し十分に乾燥する方法で行った。

また, とくに成形圧力の効果を明らかにするために, Fig.1 に示すように, ワッシャー型ロードセル上面に置いた無潤滑のダイスに 6~7.5g の範囲で調整した粉末を充填し 196~980MPa の圧力範囲で, 長さ 10mm の成形体を得た。

2.3 評価方法

オリフィス径 2.63mm の漏斗を使用して粉末の流動度を, また見掛け密度を測定した。

上パンチから下パンチへの圧力の伝達度によって生じる密度分布差から粉末間の摩擦力を, ロードセル受圧力の最大値

より粉末-金型間の摩擦力を評価した。

成形体の密度は、試験片の重量を直径及び全長から求めた体積で除して算出した。全長 15mm の試験片を三等分に切断し、軸方向の密度分布を測定した。

3 実験結果と考察

3.1 粉末特性

添加潤滑量と鉄系粉末の流動度ならびに見掛け密度の関係を Fig.2 に示す。図から、流動度は添加量 0.05mass% で極小を示すこと、それ以上では添加量に伴って直線的に上昇することが分かる。見掛け密度は、0.05mass% で最大値をとり、それ以上

Fig.1 Schematic of measuring method of received pressure of die.

Fig.2 Effect of amount of lubricant on powder properties in Fe-lubricant powders.

では添加量に伴ってわずかに低下する傾向を示すことが分かる。

高密度化の上では比重の小さい成形潤滑剤の無添加が有利であると考えられる。しかし粉末の重要な特性である流動度及び見掛け密度は、微量添加の 0.05mass% に比較するといずれも大きく低下するため実用しにくいことが分かった。

3.2 成形体密度分布

鉄系成形体の密度分布を調べた結果を Fig.3 に示す。添加潤滑量をパラメータにしている。図から、成形体下部になるにつれて密度は減少すること、潤滑量が少ないほどその傾向は顕著になることが分かる。

密度差は添加量 0.8mass% でまったくなくなる。これは、潤滑剤が鉄粉を十分に覆う状態となるので粉末間の摩擦力が軽減され、成形荷重が上パンチから下パンチに効果的に伝達されるからと解釈できる。

これに対して添加潤滑量が 0.05 や 0.2mass% の場合、粉末間の摩擦が大きくなり密度分布は不均一になるものの水準は高い。両者を比較すると、密度分布自体に大きな差異が見られないことから、0.05mass% の方が高水準なので好ましいと言える。

3.3 成形密度

添加潤滑量をパラメータに、成形圧力と平均密度の関係を Fig.4(a)(b) に示す。図 (a) は鉄系、図 (b) は鉄-黒鉛系のものであり、それぞれ金型潤滑をしない場合の結果である。

図から、密度は一般に成形圧力の増加とともに単調に上昇すること、しかし圧力 382MPa 程度までは潤滑剤添加量の影

Fig.3 Relationship between amount of lubricant and axial density distribution in Fe-lubricant powders with die lubrication (compacting pressure = 980 MPa).

Fig.4 Relationship between amount of lubricant, compacting pressure and overall green density in (a) Fe-lubricant powders, (b) Fe-graphite-lubricant powders.

響を受けないことが分かる。そしておよそ成形圧力 700MPa 以上で潤滑剤量が及ぼす密度への影響が顕著に表れ、添加量が少ないほど高い密度を示す。

例えば鉄系の圧力 980MPa で比較すると、潤滑量 0.2mass% で密度 7.42Mg/m³ に対し、0.8mass% では 7.30Mg/m³ となり、密度差は 0.12Mg/m³ にのぼる。鉄-黒鉛系でも同様の傾向で、すなわち純鉄系では配合粉末の種類に関係なく、添加潤滑剤の軽減が高密度化に有効なことが分かる。

3.4 潤滑方法と摩擦力の関係

粉末と金型間の摩擦力すなわちダイス受圧力に及ぼす成形圧力の影響を Fig.5(a)(b) に示す。鉄系の図(a)から成形圧力が大きくなると受圧力が単調に大きくなること、その傾向は潤滑量が少ないほど顕著になることが分る。とくに潤滑量 0.2mass% ではその傾向が著しく、例えば成形圧力 980MPa の場合、ダイス受圧力は成形荷重の 37% にもなると計算される。

鉄-黒鉛系の図(b)は様相がかなり異なる。受圧力の水準が大きく下がり、さらに添加潤滑にそれほど依存しない。添加潤滑量 0.2mass% での成形圧力 980MPa におけるダイス受圧力は 17.6kN であり、鉄系で 0.8mass% 添加潤滑と同等の値をとっている。これは黒鉛が粉末-ダイス間摩擦力を減少するのに大きな効果を持つためと考えられる。

次に添加潤滑 0.2mass%、成形圧力 980MPa の条件で、鉄系成形体の密度とダイス受圧力を金型潤滑の有無で比較した。その結果を Fig.6 に示す。

金型潤滑により、ダイス受圧力は 38kN から約 70% も減少し 10kN となること、これに対して成形体密度はわずかに 0.05Mg/m³ ほど向上する程度である。このことより、粉末-金型間の摩擦力の低減のみでは成形体密度の向上効果をさほど期待できないことが分かる。換言すれば、成形密度はその他の要因、例えば成形荷重、粉末間の摩擦力ならびに粉末の塑性変形能によって支配されると言えよう。

粉末の圧縮性をデータから計算した。結果を Fig.7(a)(b) に示す。鉄粉、黒鉛及びステアリン酸亜鉛の比重をそれぞれ $\rho_p = 7.874$, $\rho_g = 2.295$, $\rho_s = 1.139$ として、式(1)及び(2)より密度比を算出した。

$$\gamma = D / Dt \quad (1)$$

$$Dt = \frac{W_p + W_g + W_s}{\frac{W_p}{\rho_p} + \frac{W_g}{\rho_g} + \frac{W_s}{\rho_s}} \quad (2)$$

ここで、 γ は密度比、 D は成形体密度、 Dt は理論密度、また W_p , W_g 及び W_s はそれぞれ鉄粉、黒鉛そしてステアリン酸亜鉛の配合重量である。

鉄系の図(a)から、密度比は成形圧力が高いほど単調に増加すること、添加潤滑量が大きいほど高めに平行移動することが分る。密度比の高低差は、同一試料鉄粉であることより粉末の塑性変形能は考慮の対象外であるから、成形中の粉末間摩擦力により失われる成形エネルギーの差に依存するものと

Fig.5 Relationship between amount of lubricant, compacting pressure and received pressure of die in (a) Fe-lubricant powders, (b) Fe-graphite-lubricant powders.

考えられる。例えば成形圧力 980MPa における密度比は添加量 0.8mass% で 97%, 0.2mass% で 95.3% となり, Fig.3 の結果と同様に少ない潤滑剤添加量では, 粉末間の摩擦力で消費される成形エネルギーが大きいことが分かる。もっともこの圧力での成形体密度は, Fig.4(a) に示したように潤滑剤添加量の少ない方が高密度となる。これは添加量が少ないほど, 相対的に式 (2) の理論密度 D_t が大きくなるからであり, 高密度化

Fig.6 Comparison of green density and receive pressure of die wall lubrication against non-lubrication in Fe-0.2mass% lubricant powder at 980 MPa.

の観点からは目標を満足できる。

一方, 図(b)の黒鉛を配合した場合には, かなり異なる挙動が見られる。密度比は成形圧力の増加とともに上昇するが, 圧力 980MPa では潤滑剤の添加量に依存なく約 97% を示した。これは黒鉛の潤滑作用で, 成形潤滑剤量の少ない試料粉末でも, 成形圧力による粉末間摩擦力が抑制されるためと考えられる。

鉄-黒鉛系及び鉄系粉末の潤滑剤添加量 0.2mass% における配合粉末の理論密度 D_t は, それぞれ 7.67Mg/m^3 と 7.78Mg/m^3 である。Fig.4 に示した 980MPa での鉄-黒鉛系の成形体密度は, D_t が小さいにもかかわらず鉄系とほぼ同等の値であり, ここでも黒鉛による粉末間摩擦力の軽減効果が分かる。

一般に粉末冶金製品として最も多く用いられる Fe-Cu-C 系原料粉末には 0.6~1mass% の黒鉛が配合されている。このような成分系の粉末に対して, 成形潤滑剤を削減した配合粉末を用いた圧力 700MPa 以上での金型潤滑成形法は, 前述の鉄系粉末に比べて金型-粉末間や粉末間の摩擦を考慮することなく, 潤滑剤を原料粉末内に添加する従来の粉末潤滑成形法より高密度化が図れるものと言える。

金型潤滑法による成形潤滑剤の削減は, 脱ロウや焼結行程での品質安定にもなる。

4 結 論

金型潤滑法を用いた高密度成形技術の指針を得るために, 純鉄粉ならびに黒鉛添加鉄粉の成形体密度, 粉末と金型間の摩擦ならびに粉末間の摩擦に及ぼす成形潤滑剤(ステアリン酸亜鉛)の影響を調査し, 次の結論を得た。

Fig.7 Relationship between amount of lubricant and compressibility in (a) Fe-lubricant powders, (b) Fe-graphite-lubricant powders.

- (1) 金型潤滑法を採用することによる成形潤滑剤の削減は、主に粉末一金型間ならびに粉末間の摩擦力の作用に大きな影響を及ぼす。
- (2) 金型潤滑法に適した鉄系原料粉末の成形潤滑剤添加量は、粉末特性及び密度分布の観点から 0.05mass% 近傍が良い。
- (3) ことに黒鉛を配合した原料粉末は粉末一金型間の摩擦の軽減に著しく効果がある。
- (4) 粉末一金型間摩擦力は成形体密度に大きな影響を与えないので、金型潤滑法のみでは高密度化は成し得ない。
- (5) 金型潤滑法により、純鉄粉を主成分とした配合粉末では、成形潤滑剤を削減し 700MPa 以上の成形圧力を用いることにより高密度化を達成できる。

文 献

- 1) 例えば, Linda Tremblay and Francois Chagnon: "Effect of Carbon Content and Post-Sintering Cooling Rate on Mechanical Properties of High Density Sintered Materials made from Diffusion-Bonded Powders", Proceedings of the 1998 Powder Metallurgy World Congress, Spin, EUROPEAN POWDER METALLURGY ASSOCIATION, 3(1998)129-134.
- 2) 例えば, 齊藤卓: "粉末冶金を利用した高剛性鋼", 粉体お

よび粉末冶金, 45(1998)399-404.

- 3) 例えば, 瀧川貴稔, 志賀竜治, 武田義信: "再圧縮同時焼入 (マルクエンチーリプレス) した Fe-Mo-Cu-C 系焼結鋼部品", 粉体および粉末冶金, 46(1999)544-547.
- 4) H.G.Rutz and F.G.Hanejko: "HIGH DENSITY PROCESSING OF HIGH PERFORMANCE FERROUS MATERIALS", ADVANCES in Powder Metallurgy & Particulate Materials, 5(1994)117-133.
- 5) W.G.Ball, F.W.Hinger, R.A.Mckotch and H.D.Pfingstler: "REPLACING INTERNAL WITH EXTERNAL LUBRICANTS", ADVANCES in Powder Metallurgy & Particulate Materials, 3(1994)71-82.
- 6) W.G.Ball, F.W.Hinger, R.A.Mckotch, H.D.Pfingstler and R.R.Phillips: "REPLACING INTERNAL WITH EXTERNAL LUBRICANTS: PHASE II", ADVANCES in Powder Metallurgy & Particulate Materials, 1(1995)2-11-2-23.
- 7) W.G.Ball, P.F.Hibner, F.W.Hinger, J.E.Peterson and R.R.Phillips: "REPLACING INTERNAL WITH EXTERNAL LUBRICANTS: PHASE III TRIBOSTATIC APPLICATION OF LUBRICANTS ONTO DIE WALLS", ADVANCES in Powder Metallurgy & Particulate Materials, 2(1996)6-3-6-14.