電動式 CNC 粉末成形プレスを利用した継ぎ足し成形法による粉末高速度鋼部品の製造 —圧縮軸方向密度分布への影響—

鶴 英明, 中川 威雄

東京大学生産技術研究所, 〒106 港区六本木7-22-1.

High Speed Steel Parts by Repetitive Compaction Process Using Electric Drive CNC Press—Effects on Green Density Distribution along Compacting Axis—

Hideaki Tsuru and Takeo Nakagawa

Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1 Roppongi Minato-ku, Tokyo 106.

Received August 31, 1992

Water-atomized high speed steel powder was pressed into a component with high aspect ratio by repetitive compaction process using electric drive CNC press and the uniformity of green density along the compacting axis was investigated. For the dimensional accuracy the uniform density distribution is very important because of large linear shrinkage ratio of about 10% during vacuum sintering. The CNC compacting press has superior versatility of compaction sequences and makes it possible to minimize the difference of local green density by repetitive compaction which consists of several sets of powder filling and compaction.

The green compact ($\phi 14 \times 45$) by repetitive compaction showed fairly uniform density distribution and smaller local density variation compared with green compact by conventional single compaction. The measured profile curves along a side wall of sintered parts were in good agreement with the predicted density distribution and the dimensional variation in radial direction was reduced. Tensile strength was equivalent to that of conventional part and the breakage didn't occur at the joining point. The experimental results shows the possibility of near-net-shape production of P/M high speed steel parts with large height.

1 結 言

高速度鋼の製造プロセスは溶製法と粉末法の二つに大別することができる。前者は溶解・鋳造したインゴットを鍛造・圧延して棒材を作製し、これを機械加工して最終製品を得るという最も一般的な方法である。しかし、こうした溶製高速度鋼ではMo, Co, V, Cという合金元素の多量添加が一次炭化物の粗大化を引き起こし、これが偏析して鋳造性や鍛造性、および

被研削性や靱性を著しく低下させる。そこで登場したのが後者の粉末冶金法による製造プロセスである。粉末高速度鋼は焼結により固化するため微細な炭化物組織を均一に分散させることができ、溶製法より優れた諸特性を有する鋼種を得ることが可能となる。

粉末高速度鋼の製造プロセスは、アトマイズ粉末を原料とするHIP成形が現行の主流であるが、最終製品形状を付与するには機械加工を施さねばならず、溶

製材と比較すると製造コストが高くつくのが現状である。これに対して、水アトマイズ粉末¹⁾を冷間金型成形して製品形状を直接付与するプリフォーム法は真空焼結後の機械加工を省略することができ、粉末成形法のコストメリットを最大限に活かす手法として大きく期待されている。高速度鋼圧粉体は、焼結時に長さで約10%、体積で約25%の収縮を起こすことから、寸法精度を得るためには均一な圧粉密度分布が要求される。しかし、アスペクト比が大きい、いわゆる長尺形状品を金型成形すると金型と粉末間に働く摩擦の影響を無視できず、圧粉体内部に大きな密度勾配が生じる。そのため、プリフォーム法の適用は圧縮軸方向高さが小さい製品に限られていた。

筆者らが開発を進めている電動式CNC粉末成形プレス²⁾は各成形軸が独立した駆動系を有し、CNC制御下でダイとパンチによる成形シーケンスを自由に設定することができる。この機能を利用して垂直方向に粉末充填と圧縮成形を繰り返し行う手法が継ぎ足し成形法で、圧縮軸方向に分割しながら各部を均等な圧力で成形するため、均質な製品の成形が期待される。そこで本報では継ぎ足し成形法による粉末高速度鋼長尺丸棒の成形を試み、圧縮軸方向密度の均一化における本プロセスの効果を調査した。

2 実験方法

2.1 供試粉末

成形実験に使用した水アトマイズ工具鋼粉末(PX16, SKH51相当、三菱製鋼(株)製)の特性をTable 1に示す。潤滑材として1wt%ZnStを添加混合して供試粉末とした。粒子が球状であるガスアトマイズ粉末に対し、水アトマイズ粉末は不規則形状を有するため粒子同士の絡み合いがよく、冷間金型成形に適している。

2.2 継ぎ足し成形プロセス

継ぎ足し法による長尺棒材成形の概念図をFig. 1に示す。金型成形では金型と粉末との摩擦による成形圧

Table 1 Characteristics of high speed steel powder PX16

Chemical compositions (%)					
C	Cr	Mo	V	W	O(ppm)
1.06	4.03	4.70	2.03	5.69	900
Particle size distribution					
+100	+150	+200	+250	+350	-350 (mesh)
0.8	15.1	20.7	10.4	18.9	34.1 (%)
Apparent density(Mg・m ⁻³)					2.53
Flow rate(sec/50g)					32.7

力の減衰を避けることは不可能で、通常の両押し一回成形の場合には中央部の密度が最も低くなり、圧縮軸方向に長尺になるほどその差は顕著となる。これに対し、圧縮軸に沿って小セグメントに分割して給粉・圧粉を繰り返すことで全体の密度勾配を極小化しようとするのが継ぎ足し成形法である。

Fig. 2に今回実験で行った継ぎ足し成形プロセスの概略図を示す。まずダイと下パンチで形成するキャビティに粉末を充填し、所定の位置まで移動した後上方より片押し成形する。圧粉体上端が次回給粉のキャビティ底となるため、粉末移動位置は圧縮下端位置を考

Fig.1 Diagram illustrating the concept of repetitive compaction process

Fig.2 Process diagram of unilateral repetitive compaction

慮して決定する。二回目以降は圧粉体上に粉末を積層充填し、粉末と圧粉体を移動して圧縮するという操作となる。これを五回繰り返して小セグメントを積層した長尺圧粉体 ($\phi 14 \times 45$) を作製した。各セグメントの粉末量を 8.60g (全体重量 43.00g) とし、理論密度比 75% (圧粉体密度で $6.0 \sim 6.1\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$) を目標として成形圧力を設定した。成形したサンプルは横置きにして Al_2O_3 粉末中に半分埋め、真空雰囲気中、 1215°C で 2 時間液相焼結した後、 $30^\circ\text{C}/\text{hr}$ で徐冷しながら途中 850°C で 2 時間保持して焼鈍処理を施した。

2.3 圧粉体の評価方法

継ぎ足し成形体と同形状を通常の一回成形で成形し評価の比較対象とした。まず、5 分割した圧粉体の外形寸法から各セグメントの圧粉密度を算出して圧縮軸に沿ってプロットし、圧粉体密度分布を調査した。焼結に伴う径方向の収縮変形量は部分密度に対応している。そこで密度分布を連続的にとらえるため、焼結体側壁の圧縮軸方向プロファイルを表面形状測定器 Surfcom 200B (㈱東京精密製) を使って測定し、焼結寸法への影響を調べた。

さらに、焼結体から Fig. 3 に示す形状の小型試験片を作製して AUTOGRAPH AG-10TE (㈱島津製作所製) による引張試験に供し、引張強さの比較および破断位置の観察を行った。

Fig.3 Specimen for tensile test

3 実験結果と考察

3.1 圧粉体および焼結体の強度

Photo. 1 に継ぎ足し成形した圧粉体および焼結体の外観を示す。圧粉体表面を観察すると積層したセグメント間の境界線をはっきりと確認できるが、ハンドリングには十分に耐える接合強度を有している。焼結体は $8.06\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ とほぼ理論密度に達しており、表面には境界線が残っているものの内部に接合境界面は認められなかった。作製した試験片の引張強度は一回成形体および継ぎ足し成形体ともに 833MPa で差は全く認められず、また継ぎ足し接合位置での破断は無かった。

3.2 圧縮軸方向密度分布

測定した各セグメントの圧粉密度を形状に沿ってプ

ロットした結果を Fig. 4 に、圧縮軸方向の均一性を評価した結果を Table 2 に示す。両押し一回成形したサンプルは、Fig. 2 で説明した通り両端セグメント I, V で最大密度、中央セグメント III で最小密度を示した。

Photo.1 High speed steel rod ($\phi 14 \times 45$) produced by 5-times repetitive compaction

Fig.4 Comparison of green density distribution along compacting axis

Table 2 Effects of repetitive compaction process on uniformity of green density distribution

compaction mode		single			repetitive		
compacting pressure (MPa)		515			441		
green density [*] ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	max.	6.24	6.04	6.11	6.24	6.04	6.11
	min.	5.97	5.95	6.04	5.97	5.95	6.04
	avg.	6.15	6.01	6.09	6.15	6.01	6.09
	$\Delta d^{**}/\text{avg.} (\%)$	4.39	1.50	1.15	4.39	1.50	1.15

^{*} excl. 1wt% ZnSt ^{**} $\Delta d = (\text{max.} - \text{min.})$

成形圧力515MPaでも中央部は目標圧粉密度である $6.0 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ を越えず、最大密度差は $0.27 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ であった。これに対して継ぎ足し成形体は470MPaで全体が目標密度に到達し、各セグメントがほぼ均一な密度に成形できた。均一性を評価する値として全体密度に対する部分密度変動幅の割合を比較すると、一回成形の場合の約1/3であった。

継ぎ足し成形したサンプルは各セグメントを等圧力で成形しているにも関わらず、下部側で密度上昇の傾向が認められる。これは先に充填・成形された粉末ほど、移動によるダイ壁との摩擦や上パンチからの圧縮を繰り返して受けるため徐々に高密度化したものと考えられる。これを改善するには、下部セグメントの成形圧力を相対的に小さくすればよい。

3.3 焼結体プロファイル

一回成形および継ぎ足し成形した焼結サンプルの側

a) single compaction (bilateral) b) repetitive compaction (unilateral)

	a)	b)
max. radial difference $d_{\max}$	75	50
avg. radial difference d_{avg}	31	18

(μm)

Fig.5 Profile curves of sintered PX16 rods

壁形状プロファイルをFig. 5に示す。一回成形焼結体は両端から中央部に向かって次第に大きな寸法収縮を示し、連続的にもFig. 4で示した密度分布曲線が正しいことを裏付けている。一方、継ぎ足し成形焼結体の外形は、片押し成形で生じる各セグメント内の密度勾配を周期的に繰り返したパターンを示しており、Fig. 2で説明した連続的な密度分布曲線と非常によく一致している。

外径寸法に関して最大径を基準とした変化量の最大幅および平均値を比較すると、継ぎ足し成形体では一回成形体に対していずれも減少しており、側壁形状がより直線に近い。さらに長尺な形状を成形する場合にはこの傾向がより顕著になり、継ぎ足し成形法を適用する効果がより高くなると考えられる。

4 結 言

粉末高速度鋼部品の製造において金型成形によるニアネットシェイプ成形の可能性を広げるためには圧縮軸方向に生じる圧粉密度差を改善する必要がある。そこで電動式CNC粉末成形プレスを使って継ぎ足し法による長尺丸棒の成形を試みた結果、以下のような結論を得た。

- 1) 圧縮軸に沿ってほぼ均一な密度分布を有する圧粉体を得ることができた。部分密度の変動幅は通常の一回成形に比べ約 1/3 となり、成形圧力を厳密に設定すればさらに均一性を高めることも可能である。
- 2) 密度の均一化に伴い、圧粉体内の部分密度差に起因する焼結体の径方向寸法差を減じることができた。
- 3) 焼結体から試験片を作製して引張試験に供した結果、一回成形体および継ぎ足し成形体ともに同程度の強度を示した。継ぎ足し成形体での接合面からの破断は見られず、引張強さへの影響が無いことを確認した。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり御指導および御協力を戴いた三菱製鋼(株)徳山幸夫氏ならびに赤沢和夫氏に深謝致します。なお研究の一部は平成3年度双葉電子記念財団自然科学研究助成を受けており、ここに謝意を表します。

文 献

- 1) 鎌田善仁, 徳山幸夫: 素形材'85, 11(1985) 7.
- 2) 鶴 英明, 中川威雄: 生産研究, 43(1991) 528.