研 究

金属粉末射出成形法による SUS304L 焼結体の機械的性質に及ぼす粉末特性の影響

中山 英樹^{☆1}, 山上 勝義^{☆1}, 京極 秀樹^{☆2}, 小松眞一郎^{☆2}^{☆1} キングインベスト㈱, 〒720 福山市御幸町中津原1812. ^{☆2} 近畿大学工学部機械システム工学科, 〒739-21 東広島市高屋うめの辺1.

Effect of Characteristics of Powder on Mechanical Properties of SUS304L Sintered Compacts by Metal Injection Molding

Hideki Nakayama^{☆1}, Katsuyoshi Yamagami^{☆1}, Hideki Kyogoku^{☆2} and Shinichiro Komatsu^{☆2}^{☆1} King Invest Co., Ltd., 1812 Nakatsuhara Miyuki-cho, Fukuyama 720. ^{☆2} Dept. Mech. Sys., Fac. Eng., Kinki University, 1 Takayaumenobe, Higashihiroshima 739-21.

Received December 6, 1996

SYNOPSIS

The effect of characteristics of powder on mechanical properties of sintered SUS304L compacts made by injection molding was investigated. The specimens were made by injecting the mixture of water atomized or gas atomized powder and a polyamide binder into a metallic mold. The compacts were debound in air and sintered in vacuum at the various temperatures between 1573K and 1673K for 7.2ks. The relative densities of the sintered gas atomized powder compacts were higher than those of the sintered water atomized powder compacts. Some amount of oxide was found to exist in the microstructure of sintered water atomized powder compacts. The tensile strength and elongation of sintered gas atomized powder compacts were higher than those of sintered water atomized powder compacts mainly because of their relatively higher densities. The highest density of all was 70%. On the other hand, the proof stress and hardness of the sintered water atomized powder compacts were higher because of the existence of oxides.

KEY WORDS

metal injection molding, stainless steel, sintering temperature, oxygen content, mechanical properties.

1 結 言

金属粉末射出成形法 (MIM) では, 金属粉末とバインダを混合, 混練した後, 金型に射出成形を行いバインダを除去した後, 焼結するプロセスである. このプロセスでは, 三次元的な複雑形状で寸法精度の高い部品の製造が可能である.

オーステナイト系ステンレス鋼粉を用いた金属射出成形法に関しては武川^{1,2)}, 笠原ら³⁾, 斉藤ら⁴⁾ が成形および脱脂条件について, 黒田ら^{5,6)} が焼結体の機械的性質について報告している. しかし, 原料粉末の特性が焼結体の機械的性質に与える影響についての報告は少ない. 高速度鋼については, 三浦ら⁷⁾ が原料粉末の特性が焼結体の機械的性質に大きな影響を及ぼすこと

を報告している. よって本報では, 水アトマイズ粉とガスアトマイズ粉を用いて, 両粉末の特性が焼結体の機械的性質に及ぼす影響について調査した.

2 試料及び実験方法

原料粉末にはSUS304Lのガスアトマイズ粉と水アトマイズ粉を用いた. Table 1にガスアトマイズ粉と水アトマイズ粉の化学組成を示し, Table 2に両粉末の諸特性を示す. 平均粒径は水アトマイズ粉が約10.2 μm であり, ガスアトマイズ粉は約11.5 μm で多少水アトマイズ粉より粗い粉末を用いた. Photo.1に各粉末のSEM写真を示す. それぞれの粉末をポリアミド系バインダと混合・混練した. 成形は射出成形機を用い平行部30

× 3.5 × 6mm の引張試験片に成形し、大気中で加熱により脱バインダを行った後、真空焼結炉を用いて真空度 1Pa で焼結温度 1573K から 1673K の範囲で保持時間 7.2ks で焼結した。

焼結体の密度はアルキメデス法により測定した。引張試験はインストロン引張試験機を用いて行った。組織観察は 10% しゅう酸液中で電解腐食した後、光学顕微鏡により行った。引張試験後の破面観察は走査電子顕微鏡 (SEM) より行った。焼結体の酸素含有量は赤外線吸収法により定量分析した。

Table 1 Chemical compositions of SUS304L water atomized powder and gas atomized powder.

	Chemical composition (mass%)							
	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	O	Fe
Water	0.01	0.85	0.09	0.01	10.4	19.1	0.39	Bal
Gas	0.02	0.67	0.09	0.01	11.9	19.6	0.07	Bal

Table 2 Characteristics of SUS304L water atomized powder and gas atomized powder.

	Screen analysis(%)				Mean size (μm)	Tap density (Mg/m ³)
	0/11 (μm)	11/22	22/31	31/		
Water	49.0	36.9	11.6	2.5	10.2	3.69
Gas	47.8	43.2	9.0	0.0	11.47	4.78

Water atomized

Gas atomized

Photo.1 SEM images of water atomized powder and gas atomized powder

3 実験結果及び考察

水アトマイズ粉とガスアトマイズ粉では粉末の形状の違いのほか、粉末自体の酸素含有量の違いがある。粉末自体の酸素含有量の違いは焼結体の酸素含有量の変化に影響すると考えられる。よって、Table 3 に両粉末を用いた焼結体の酸素含有量の分析結果を示す。水アトマイズ粉焼結体がガスアトマイズ粉焼結体より酸素含有量が多くなった。これは水アトマイズ粉の粉末自体の酸素含有量が多いことと、粉末の粒径が小さく異形状で比表面積が大きいこと、大気雰囲気中の加熱での脱バインダで酸化が多く進んだためと考えられる。

Table 3 Oxygen content of sintered compacts.

Oxygen content (mass%)	
Water atomized	Gas atomized
0. 62	0. 11

Fig.1 に焼結温度に対する両粉末を用いた焼結体の焼結密度の変化を示す。それぞれの焼結体は温度の上昇とともに焼結密度が増加した。焼結温度 1573K の低い温度では水アトマイズ粉焼結体の密度が高くなったが、焼結温度が 1523K より上昇するとガスアトマイズ粉焼結体の密度が高くなった。焼結温度が 1573K 以下の温度では、水アトマイズ粉が粒径が小さく、比表面積が大きいことで低い温度での焼結性が高いために焼結密度が高くなったと考えられる。焼結温度が 1623K より高い温度になると水アトマイズ粉焼結体がガスアトマイズ粉焼結体より酸素含有量が多いことで酸化物が緻密化を阻害したため水アトマイズ粉焼結体の密度がガ

Fig.1 Effect of sintering temperature on the density of sintered compacts.

Photo.2 Variations in microstructure of the sintered compacts as a function of sintering temperature.

スアトマイズ粉焼結体の密度より低くなったと考えられる。

Photo.2に両粉末を用いた焼結体の焼結温度に対する組織の変化を示す。それぞれの焼結体の結晶粒は焼結温度が上昇するに従い大きくなる。両粉末を用いた焼結体の結晶粒を比較すると水アトマイズ粉焼結体の結晶粒が微細化している。Photo.3に両粉末を用いた焼結体での引張試験後の破面観察を示す。水アトマイズ粉焼結体の破面に酸化物と考えられる球状のものが多く現出している。これに対しガスアトマイズ粉焼結体の破面にはほとんど酸化物が見られない。よって、この

酸化物が水アトマイズ粉焼結体の結晶粒の成長を抑え微細化した⁹⁾と考えられる。また、水アトマイズ粉焼結体の焼結温度別の破面観察では、1573Kの酸化物は異形状であり、1673Kの酸化物はPhoto.3に示すように球形になっていた。焼結温度が高くなるに従い酸化物が球状化していた。

Fig.2に両粉末を用いた焼結体の焼結温度に対する引張強度の変化を示す。焼結密度の変化と対応し、それぞれの焼結体は焼結温度が上昇するに従い引張強度も上昇し、焼結温度1573Kでは水アトマイズ粉焼結体での引張強度が高い値を示し、焼結温度が1623Kより上

Photo.3 SEM images of fracture surface of the sintered compacts of water atomized powder and gas atomized powder.

Fig.2 Effect of sintering temperature on the tensile strength of sintered compacts.

Fig.3 Effect of density on the tensile strength of sintered compacts.

昇するとガスアトマイズ粉焼結体の引張強度が高くなった。引張強度の変化は焼結密度の変化に対応していることで焼結密度の影響により引張強度が変化したと考えられる。Fig.3に相対密度に対する引張強度の変化を示す。引張強度はこの相対密度の範囲ではほぼ直線的に変化しており、引張強度は焼結密度の影響を大きく受けることがわかる。

Fig.4に両粉末を用いた焼結体の焼結温度に対する0.2%耐力の変化を示す。0.2%耐力はすべての温度に対して水アトマイズ粉焼結体の方が高い値を示した。これは酸素分析結果より酸化物が水アトマイズ粉焼結体に多く含まれていることにより耐力が高くなったと考えられる。また、それぞれの焼結体の耐力の変化に

Fig.4 Effect of sintering temperature on the proof stress of sintered compacts.

ついてみると、ガスアトマイズ粉焼結体の耐力は焼結密度の変化に対応した。これに対し、水アトマイズ粉焼結体は焼結温度1623Kで一番高い耐力を示し、1623Kより上昇すると耐力が低下した。それぞれの焼結体の酸素含有量の分析結果では焼結温度による酸素量の差がほとんどないため、水アトマイズ粉焼結体の耐力が1623Kから低下した原因は酸化物の量による影響は少ないと考えられる。これは結晶粒の成長の影響によるのではないかと考えられる。⁹⁾ このように、ガスアトマイズ粉焼結体の耐力は焼結密度の影響を大きく受け、水アトマイズ粉焼結体は1623Kより低い温度では焼結密度の影響により変化し、1623Kより高い温度では結晶粒径の影響を大きく受けたと考えられる。

Fig.5 Effect of sintering temperature of the elongation of sintered compacts.

Fig.5に両粉末を用いた焼結体の焼結温度に対する伸びの変化を示す。伸びはすべての焼結温度でガスアトマイズ粉焼結体が高い伸びを示した。この結果も耐力と同じく酸化物の影響を受け酸化物が多いことで水アトマイズ粉焼結体の伸びがガスアトマイズ粉焼結体より低くなったと考えられる。また、それぞれの焼結体の伸びは焼結温度が高くなるに従い高くなった。ガスアトマイズ粉焼結体は焼結温度が1623Kより高くなると飽和状態になり焼結密度の変化に対応し、焼結温度1673Kで伸びが約70%と高い値を示した。これに対し、水アトマイズ粉焼結体は焼結温度が1623Kから伸びが増加する傾向を示した。水アトマイズ粉焼結体は1623Kより低い温度では焼結密度の影響を大きく受け、1623Kより高い温度では酸化物の形状が球形に変化し、

Fig.6 Effect of sintering temperature on the hardness of sintered compacts.

伸びがより向上したと考えられる。

Fig.6に両粉末を用いた焼結体の焼結温度に対する硬さの変化を示す。硬さも耐力の変化に対応し、すべての温度で水アトマイズ粉焼結体が高い値を示した。ガスアトマイズ粉焼結体は焼結密度の変化に対応した変化になり、水アトマイズ粉焼結体の硬さは焼結温度1623Kで一番高い硬さを示した。これらの変化も耐力の変化に対応していることより結晶粒の成長ならびに酸化物の球状化のため水アトマイズ粉焼結体の硬さが1623Kから低下したと考えられる。

水アトマイズ粉焼結体もガスアトマイズ粉焼結体も機械的性質は溶製材に匹敵する性質を得ることができた。引張強度は焼結密度の変化に対応し、最高でガスアトマイズ粉焼結体が高くなり、伸びに関しても、酸化物が少ないことよりガスアトマイズ粉焼結体が高くなり、最高で70%の伸びを得ることができた。また、耐力や硬さは、酸化物が多いことより水アトマイズ粉焼結体が高くなり、最高で70%の伸びを得ることができた。

4 結 論

粉末の特性がSUS304L焼結体の酸素含有量、組織や機械的性質などに及ぼす影響について検討した。得られた結果は次のとおりである。

- 1) 組織は水アトマイズ粉焼結体がガスアトマイズ粉焼結体より酸素量が多くなったことより、酸化物の影響で水アトマイズ粉焼結体の結晶粒がガスアトマイズ粉焼結体より微細化した。
- 2) 焼結密度は焼結温度1573Kでは水アトマイズ粉焼結体が高くなり焼結温度1623Kより高い温度ではガスアトマイズ粉焼結体の焼結密度が高くなった。
- 3) 引張強度は焼結密度の変化と同じ変化を示し、焼結温度1573Kでは水アトマイズ粉焼結体が高くなり、1623Kより高い焼結温度ではガスアトマイズ粉焼結体が高くなった。引張強度は粉末特性より焼結密度の影響を大きく受けた。
- 4) 耐力と硬さは酸化物の影響により水アトマイズ粉焼結体が高くなり、最高で70%の伸びを示した。

文 献

- 1) 武川淳二郎：粉体および粉末冶金, 35 (1988) 641.
- 2) 武川淳二郎：粉体および粉末冶金, 37 (1990) 608.
- 3) 笠原範雄, 大山良隆, 金子泰成, 岩崎弘通, 寒川喜光, 斉藤勝義：粉体および粉末冶金, 36 (1989) 178.
- 4) 斉藤勝義, 金子泰成：材料, 39 (1990) 844.
- 5) 黒田義和, 泉久司, 砂田久吉, 深浦健三：材料, 38 (1989) 771.
- 6) 黒田義和, 泉久司, 砂田久吉, 深浦健三：材料, 39 (1990) 1366.
- 7) 三浦秀士, 権藤寛, 本田忠敏：粉体および粉末冶金, 41 (1994) 9.
- 8) 京極秀樹, 篠原和充, 瀬尾俊弘, 今村拓夫, 津田正夫：日本金属学会誌, 56 (1992) 1072.