研 究

薄肉・中空品の MIM インプロセス接合

三浦 秀士^{☆1}, 矢野 健文^{☆2}, 松田 光弘^{☆1}^{☆1}熊本大学工学部知能生産システム工学科, 〒 860-8555 熊本市黒髪 2-39-1.^{☆2}熊本大学大学院自然科学研究科, 〒 860-8555 熊本市黒髪 2-39-1.

MIM In-process Joining of Thin and Hollow Parts

Hideshi Miura^{☆1}, Takefumi Yano^{☆2} and Mitsuhiro Matsuda^{☆1}^{☆1}Dept. Mech. Eng. & Materials Sci., Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860-8555.^{☆2}Graduate School, Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Kumamoto 860-8555.

Received July 16, 2001

SYNOPSIS

MIM process is hoped to be an advanced powder processing technique for near net shape forming the high density, high performance, and complicated parts. However, there still remains the issue of limitation in the shape and volume of MIM compacts because of using the die.

In this study, as one of new approaches to improve the above problems in MIM process, MIM in-process joining of thin and hollow parts by using the exuded wax during solvent debinding step has been attempted to produce larger, more complicated and functional parts by combination of the same or different materials such as martensitic (SUS420J1) and austenitic (SUS304L) stainless steels.

KEY WORDS

metal injection molding, in-process joining, thin and hollow parts, exuded wax, solvent debinding

1 緒 言

金属粉末射出成形(MIM)プロセスによれば, 旧来の金型プレス成形による粉末冶金法では得られない高密度で3次元的に複雑な形状の部品をニアネットシェイプで作製することができる¹⁾, 本プロセスを用いてMIM製品のさらなる大型化・複雑化に加え, 異種材料の組み合わせによっては多機能化にも対応しうるMIMインプロセス接合の応用展開も期待されている. これまでの研究²⁾によれば, 溶媒抽出時の溶融バインダを利用することで同種, 異種材ともに加圧力を必要とすることなく, 接合可能なことがわかっている.

本研究では磁性を呈するマルテンサイト系ステンレス鋼(SUS420J1)粉末と, 非磁性のオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304L)粉末を用いて, 従来の単純形状部品の組み合わせでなく, よりMIMの特長を生かすという実践的観点よりリング形状をした薄肉かつ中空品である成形体(Fig.1)を作製し, それらの脱脂, 焼結特性ならびに3ピース品の接合特性について調査, 検討した.

2 実験方法

原料粉末としては, それぞれの平均粒径が13.24 μ m, 11.47 μ m

のガスアトマイズ・ステンレス鋼 SUS420J1 と SUS304L の両粉末を使用した. 両粉末の化学成分を Table 1 に示す. バインダにはパラフィンワックス 69mass%, ポリプロピレン 20mass%, カルナウバワックス 10mass% およびステアリン酸 1mass% から成るワックス系バインダを使用した. 上記の粉末とバインダを体積比で 60:0 となるように配合し, 423 K, 3.6ks で加熱混練した後, 横型スクリー射出成形機を用いて薄肉・中空品である3つの重ね合わせ用成形体を作製した. Fig.1 に, 成形体端部に45度の角度をつけて重ね合わせた, 種々の組み合わせの成形体を示す. ついで, 前報²⁾の結果よりヘプタン溶剤を使用してバインダ中の主にワックス成分を358 Kで18.0ks抽出脱脂した後, 加熱脱脂・焼結を同一炉内で水素雰囲気中, 1573 Kで3.6ks施した. 焼結後の試料は組織観察, 引張試験, EPMA 元素分析等に供し, 接合特性を総合的に評価した.

3 実験結果および考察

まず, 単に重ね合わせた試料の焼結後の接合体の外観写真を Fig.2 に示す. 本実験に使用した試料は薄肉・中空品であったために, 単なる3ピースを組み合わせただけでは接合はうまくゆかず, 健全な焼結体を得ることはできなかった.

た。そこでFig.3にも示すように、試料のずれを生じさせないようにアルミナブロック体に試料より大きめの穴をくりぬいて、そこに試料を入れさらにアルミナ粉末で包み込み、脱脂・焼結を施すという工夫を行った。得られた接合体の外観

写真をFig.4に示す。目視した限りでは未接合部は観察されず、良好に接合しており、アルミナ粉末による外部からの拘束とウィッキング効果によるワックス成分の抽出が効を奏したものである。Fig.5に接合部の顕微鏡写真を示す。同種材同士では界面の判別もつかないほど良好に接合しており、両試料とも高密度で気孔は独立球状の気孔を呈していた。ただ、SUS420J1材(相対密度:96.2%)に比べSUS304L材(相対密度:93.5%)の方が密度は若干低い値を示した。このことは、ステンレス鋼焼結材の緻密化挙動に関する報告^{3,4)}を参照すれば、 γ 相域で焼結が進行するオーステナイト系ステンレス鋼に比較して、マルテンサイト系の方は拡散が容易で緻密化しやすい α 相域で実際の焼結が進行した可能性を示唆している。なお、異種材同士でも界面において粗大な気孔や亀裂などは観察されず、極めて良好に接合していた。

そこで次に、引張試験による接合強度を調べた。Fig.6に同種、異種材の接合体ならびにSUS420J1, SUS304L焼結材の単体の引張試験結果を示す。なお、本試料のような薄肉・中空品の接合強度の直接評価は難しいため、試験はリング形状と同じ45度の接合面にて接合した引張試験片で行った。これよ

Fig.1 Schematic illustration of the coupling.

Table 1 Chemical compositions of the powders used in this study.

Powder	Chemical composition (mass%)						
	Cr	Ni	Si	Mn	C	O	Fe
SUS304L	19.6	11.9	0.67	0.09	0.023	0.067	bal.
SUS420J1	12.7	—	0.41	0.13	0.194	0.074	bal.

Fig.3 Schematic illustration of the porous Al₂O₃ substrate.

Fig.2 Aspects of various couples sintered at 1573 K in H₂.

Fig.4 Aspects of various couples sintered at 1573 K in H₂.

Fig.5 Microstructures of the joined area for sintered SUS304L/SUS304L, SUS420J1/SUS420J1 and SUS304L/SUS420J1 couples.

Fig.6 The tensile strength of MIM compacts and various couples sintered at 1573 K in H₂.

り、接合体は焼結単体の強度とほぼ同等の値を示していることから、十分に一体化していると言える。なお、今回の実験では高密度化ならびに不純物の還元という観点から、焼結は水素雰囲気で行った。そのため、焼結雰囲気による脱炭等も考えられることから組織観察も行った。Fig.7にSUS420J1材、SUS304L材の炭素分析結果、組織写真ならびに両部材の接合部の組織写真を示す。SUS304Lはオーステナイトを呈しているが、SUS420J1材ではもともと粉末中に炭素は0.2mass%ほど含まれていたにもかかわらず、焼結後には0.01mass%にまで減少したためフェライトを呈しており、明らかに水素焼結による脱炭が生じていた。この脱炭がSUS420J1材に上記の α 相域焼結を生じていたことは容易に知れる。

ところで、両部材の接合部近傍においてSUS420J1側には両部材とは異なる組織が観察されたことから、接合界面近傍の微小硬度を測定した。その結果をFig.8に示す。界面近傍のSUS420J1側に存在していた組織には、基地に対して高硬度なものが存在していることがわかる。接合界面近傍のEPMAに

Fig.7 Microstructures of SUS304L, SUS420J1 and SUS304L/SUS420J1 sintered at 1573 K in H_2 .

Fig.8 Hardness distributions near the joined area of SUS304L/SUS420J1 couple sintered at 1573 K in H_2 .

Fig.9 EPMA line analysis of joined area for the SUS304L/SUS420J1 couple sintered at 1573 K in H_2 .

よる元素分析結果を Fig.9 に示すが、SUS304L 中の Ni が SUS420J1 側へと拡散していることがわかる。拡散層における組織については、Ni 量と Cr 量の測定の結果、シェフラーの組織図⁹⁾からマルテンサイトとフェライトの混合組織であることがわかった。このことは、本試料のような薄肉・中空部品においても界面の接合度合が高く、接合面を通る拡散が活発に生じていることを証明するものでもある。

4 結 言

マルテンサイト系ステンレス鋼(SUS420J1)粉末とオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304L)粉末を用いて、薄肉かつ中空品である成形体を作製し、それらの脱脂、焼結特性ならび

に 3 ピースの接合特性について調査、検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 薄肉・中空品の成形体をアルミナ粉末で包み込み、脱脂・焼結を施すことで健全な焼結体を得ることができた。
- (2) 同種材料同士の接合体を引張試験したところ、単体の MIM 材と同等な値が得られ、しかも接合界面の判別もつかないほど、ほぼ完全に一体化していることがわかった。
- (3) SUS304L/SUS420J1 の異種材料の組み合わせ接合体において、SUS304L 側から SUS420J1 側へ Ni がかなり拡散しており、接合部近傍においてはマルテンサイトおよびフェライトの混合組織が形成されていることから、接合面を通る拡散が活発に生じていることがわかった。

文 献

- 1) 三浦秀士, 高木研一: 粉末冶金の科学, 内田老鶴圃, (1996) 215.
- 2) 三浦秀士, 森健太郎: "新しい MIM 接合プロセスの開発と応用", 粉体および粉末冶金, 46(1999)927-932.
- 3) 鎌田政智, 徳永洋一: "マルテンサイト系焼結ステンレス鋼の緻密化および引張特性に及ぼす炭素量の影響", 粉体および粉末冶金, 38(1991)83-87.
- 4) 武田徹, 田村皓司: "ステンレス鋼圧粉体の焼結に伴う緻密化について", 粉体および粉末冶金, 17(1971)28-36.
- 5) 日本金属学会編: 金属データブック, 丸善, (1987)127.