研 究

MIM プロセスによる自己潤滑性耐摩耗材料の開発

三浦 秀士^{☆1}, 森川 浩光^{☆2}, 川上 雄士^{☆3}, 石橋 章義^{☆3}

^{☆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}熊本大学大学院工学研究科, 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1. ^{☆3}(株)リケン精機部品部製品開発 G, 〒360-0031 熊谷市末広 4-14-1.

Development of Self-lubricating Wear-Resistant Materials Through MIM Process

Hideshi Miura^{☆1}, Hiromitu Morikawa^{☆2}, Yuji Kawakami^{☆3} and Akiyoshi Ishibashi^{☆3}

^{☆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.

^{☆3}Eng. & Develop. Dep., Riken Corporation, 4-14-1 Suehiro, Kumagaya 360-0031.

Received January 14, 1998

SYNOPSIS

Metal injection molding (MIM) process is hoped to be quite useful for improvement of the quality and productivity in the automotive sintered parts. In our previous studies, high performance ferrous sliding abrasive wear-resistant materials using prealloyed steel (SCM440) and 3mass%TiN powders were obtained by MIM process.

This study has been investigated to develop the high performance self-lubricating wear-resistant materials in the same way. A water atomized tool steel (SKD11) powder was used as the matrix and 2~8mass% CaF₂ powder was added to improve the self-lubricating properties. The compacts were densified to near full density by liquid phase sintering at 1493K, and the final carbon content was controlled to be almost 1.6mass%. CaF₂ powder particles were distributed uniformly in the compacts. Addition of 6mass% CaF₂ powder caused a remarkable improvement of wear-resistance under non-lubricating conditions. This indicates that MIM process has enormous potential to produce high performance ferrous composites for the automotive sintered parts.

KEY WORDS

metal injection molding, SKD11 steel, CaF₂ powder, self-lubricating properties, abrasive wear-resistance

1 緒 言

粉末冶金法は経済性、量産性に優れることから、様々な自動車用部品の作製に多用されている。なかでもエンジン廻りの部品は摩擦環境下での使用が多いことから耐摩耗性を必要とするが、本分野においては自己潤滑性を呈する耐摩耗材料の開発¹⁾も求められている。その1つに、硬質微細粉末を添加した耐摩耗材料の開発が行われているが、従来のプレス成形法では微細粉末を用いた場合、微細粉末の凝集や成形体にスプリングバックによるき裂を生じやすいことなどから健全な材料を得ることは困難である。

そこで本研究では、新しい微細粉末加工法である金属粉末射出成形法を適用し、工具鋼粉末に自己潤滑作用が期待されるCaF₂粉末を添加して、自己潤滑性と耐摩耗性を合わせ持つ材料の開発を試みた。ここでは、得られた部材における添加粒子の分散状態、および添加粒子量の機械的性質、特に摺動特性に及ぼす影響を調査、検討した。

2 実験方法

原料粉末にはTable 1に示す組成の水アトマイズSKD11粉末(平均粒径10.7 μ m)、また固体潤滑剤としてはCaF₂粉末(粒径: -45 μ m)を用い、SKD11のみのものおよび2, 4, 6, 8mass%のCaF₂を添加したものを用意した。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%からなるワックス系バインダを使用した。まず上記粉末とワックス系バインダとを体積比60:40で調整し、423Kで3.6ks加熱混練したのち、横型スクリー式射出成型機により引張試験片およびシャルピー衝撃試

Table 1 Chemical composition of powder used in this study.

SKD11	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Fe	O
mass%	1.89	0.31	0.28	0.02	0.01	0.25	12.1	1.04	0.44	Bal.	0.33

験片を作製した。得られた成形体は、ヘプタン気相中に348Kで18ks保持して主にワックス成分を抽出したのち、マッフル炉を用いて残りのバインダ成分を窒素雰囲気中(ガス流量2.5L/min)1273Kまで加熱して揮散した。焼結は窒素雰囲気中1493Kで3.6ks行い、得られた焼結体に熱処理として1373Kで3.6ksの溶体化後油焼入れし、973Kで1.8ksの焼もどしを施したのち、引張試験、硬度試験、ピンドラム式摺動試験に供した。

3 実験結果および考察

3.1 焼結条件の検討

まず本鋼種(SKD11 組成)の最適焼結条件を見出すために、 CaF_2 無添加材を用いて焼結温度の検討を行った。焼結雰囲気としては、できるだけ脱炭を避ける意味で窒素を用いた。Fig.1 上段に焼結温度に対する相対密度変化を示す。密度は温度上昇とともに単調に増加しており、1493Kでは99.9%となったが、この高密度化の原因としては、液相発生により緻密化が促進したためと考えられる。通常、多量の液相が発生する場合、成形体の形状を維持することは困難であるが、本鋼種における液相の発生量はわずかであり、形状に関しての問題はなかった。なおFig.1の中、下段に示すように、硬度や引張強度も密度の増加とともに上昇することから、以後の焼結は高い焼結密度が得られる1493Kで行った。

次に CaF_2 無添加材、および2, 4, 6, 8mass%の CaF_2 添加材の熱処理後の組織写真をFig.2に示す。いずれの試料においても基地中に微細な炭化物が均一に析出した組織を呈しており、炭素量はすべてほぼ1.6mass%と規格内であった。相対密度としては CaF_2 添加量が増すと若干低下する傾向にあるが、これは真密度を計算によって求めたためであり、顕微鏡で観察しても気孔の量はすべての試料でわずかであった。なお黒色の部分は気孔のように見えるが、それが気孔か CaF_2 であるか

Fig.1 Effects of sintering temperature on the relative density, hardness and tensile strength of SKD11 compacts.

Fig.2 Microstructures of heat treated SKD11 compacts with 0, 2, 4, 6, 8mass% CaF_2 .

Fig.3 Secondary electron and characteristic X-ray images of heat treated SKD11 compact with 6mass%CaF₂.

Fig.4 Microstructures of heat treated SKD11 compact with 6mass%CaF₂.

を確認するため EPMA 分析も行った。その結果, Fig.3 (6mass%CaF₂添加材)に示すように前述の黒く気孔のように見えた部分には CaF₂が存在していることが確認された。ただ, 黒い部分のすべてが CaF₂ではなく, 若干の気孔も残存しているようであった。

ところで, 本実験では金属とセラミックスという密度の異なる粉末を使用することから, 密度差により CaF₂粒子の分散が不均一になることも予想されたので, CaF₂粒子の分散状態を調査するために, 焼結体の各部位について組織観察を行っ

た。その観察対象部位としては, Fig.4の左側に示すような射出方向に垂直な面と平行な面について行った。その結果, SKD11粉末に CaF₂粒子を添加し, 混練, 射出成形した試料においては, 添加粒子は偏ることなく均一に分散しており, 射出方向に垂直あるいは平行な面における粒子分散の異方性, 偏析等も観察されなかった。なお Fig.4には 6mass% の CaF₂添加材を示したが, 他の試料においても同様な結果を得ている。

3.2 各種機械的性質の検討

CaF₂無添加材, および 2, 4, 6, 8mass% の CaF₂添加材に熱処

理を施した場合の硬度、伸び、および引張強度について調査検討したので、その結果をFig.5に示す。硬度ならびに引張強度はCaF₂添加量が贈すにつれ減少しており、とくに引張強度の低下は著しいものがある。いずれにしても両特性が低下した理由としては、密度の減少、すなわちCaF₂添加による金属地の有効断面積の減少によるものである。なお伸びについては、全般的に低い値(1%前後)を示した。

次に、上記試料の摺動特性を調査した。耐摩耗性の評価に用いた摩耗試験装置をFig.6に示す。本摩耗試験装置は、一定速度で回転するドラムに荷重を負荷した試験片を押し当てるピン・ドラム式摺動試験と呼ばれる形式のもので、ピン材として本MIM材を用いた。また、試験条件をTable 2に示す。本研究では、摺動面での油切れ時にも耐摩耗性が確保できることを目的としているため、無潤滑条件での試験も行った。な

Fig.5 Mechanical properties of heat treated SKD11 compacts with 0, 2, 4, 6, 8mass%CaF₂.

お、試験後の試験片の摩耗幅を測定し、その測定値より摩耗体積を算出して試験片の摩耗量とした。摺動試験の結果をFig.7に示す。まず潤滑条件下では、全試料において摩耗量は少なく、CaF₂添加の有無による差異もほとんど見られない。これに対し、無潤滑条件の場合、CaF₂添加が有効に働いており、特に6mass%CaF₂添加材での摩耗量は無添加材の約1/75と大幅に減少し、耐摩耗性が飛躍的に向上することがわかった。なお、ここでは4mass%CaF₂添加材のデータを省略しているが、これについては健全な試料が得られなかったため現在追加検討中であるが、おそらく2mass%CaF₂添加材と6mass%CaF₂添加材との中間の値を示すものと思われる。

ところで、摺動材料においては材料自身の耐摩耗性も重要であるが、相手材への影響も無視することはできない。そこで、無添加材および6mass%CaF₂添加材を用いて試験した後のドラムの損傷状態を光学顕微鏡による観察を行った(Fig.8)。潤滑条件下でも、無潤滑条件下でも、ともに無添加材による方がドラムの損傷度合いは大きいことがわかる。特に無潤滑条件下ではかなり大きな差が生じている。そこで、これらの損傷度合いを定量的に把握するため、摩耗試験後(無潤滑条件)のドラムの表面粗さを測定した。その結果をFig.9に示す。6mass%CaF₂添加材を用いた試験後のドラムの表面はCaF₂無添加材の場合に比べ、粗さの深度が非常に小さいことがわかる。換言すれば、6mass%CaF₂添加材は自己潤滑作用により相

Fig.6 Schematic drawing of the pin-drum type wear test.

Table 2 Test conditions for the pin-drum type wear test.

Test piece	Pin	Surface roughness : Ra=0.3 μm Dimension : 5×5×20 mm End of pin : R6 mm
	Drum	Surface roughness : Ra=0.3 μm Diameter : 46 mm Material : S53C as quenched
Rotational speed of drum		1m/s
Load		784Pa
Time	Non-lubricating	25min
	Lubricating	13.9hr
Lubricating conditions		Lubricating oil : Motor oil (CD10W-30) Oil temperature : 80℃ Oil supply : 400cc/ min

Fig.7 Wear test results for heat treated SKD11 compacts with 0, 2, 4, 6, 8mass%CaF₂.

手材を損傷させることなく優れた耐摩耗性を示すと言えよう。

4 結 言

MIMプロセスによる高性能な鉄系摺動材料(SKD11鋼種)の開発を目的に, CaF₂粉末粒子の添加ならびにその分散状態が摺動特性に及ぼす影響について調査検討した結果, 以下のような結論を得た。

SKD11 粉末にCaF₂ 粒子を添加したMIM 材における添加粒子の分散状態は偏ることなく均一に分散しており, 材料内各部(射出方向に垂直もしくは平行)における分散状態の異方性, 偏析等も観察されなかった。CaF₂ 添加量の増大とともに引張強度や硬度は低下するが, 摺動特性に関しては2mass%のCaF₂ を添加するだけで, 耐摩耗性は大幅に向上し, 特に無潤

Fig.9 Surface roughness of the sliding face of drum under non-lubricating condition.

Fig.8 Appearances of the drums after wear test.

滑状態での摩耗量は極めて少ないことが明らかになった。このことは、自動車焼結部品としての摺動材料へのMIMプロセスの適用が極めて有効であることを示唆するものである。

文 献

- 1) 馬場, 長谷, 本田, 三浦: "MIM プロセスによる高性能鉄系摺動材料の開発", 粉体および粉末冶金, 43(1996)1333-1338.