
鉄粉研究 10 年の歩み

Recent Activities in Research of Iron Powder for Powder Metallurgy

上ノ 菌 聡(Satoshi Uenosono) 高城 重彰(Shigeaki Takajo) 小倉 邦明(Kuniaki Ogura)

要旨：

わが国では現在、鉄粉の約 78% が自動車部品を中心とする輸送機械用部品に使用されている。この 10 年間で焼結部品の引張強さ、衝撃値、疲れ強さなどの基本特性、品質のばらつき低減による信頼性向上および部品製造の生産性向上によりコストダウンが図られてきた。川崎製鉄は主要鉄粉メーカーとしてこれらに対応し、この 10 年で多くの鉄粉新製品を開発してきた。その中から Cu 偏析防止粉、高流動性ワックス系偏析防止粉および被削性改善用鉄粉を取り上げて紹介する。

Synopsis：

About 78% of iron powder manufactured is used for sintered parts for transportation machines mainly for automobiles in Japan. Research and development have focused on improvement in fundamental properties as well as the productivity of manufacturing sintered parts. Kawasaki Steel, as a major manufacturer of iron powder, has developed new types of powder products for the last 10 years to bring to meet the above mentioned demands. This report introduced three typical products: (1) Highly flowable segregation-free iron powder using wax lubricant, (2) Segregation-free iron powder with suppressed copper powder segregation and (3) Iron powder for the enhanced machinability of sintered parts containing free graphite.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Recent Activities in Research of Iron Powder for Powder Metallurgy



上ノ蘭 聡

Satoshi Uenosono

技術研究所 溶接・鉄粉研究部門 主任研究員(課長)



高城 重彰

Shigeaki Takajo

技術研究所 溶鉄・鉄粉研究部門長・理博



小倉 邦明

Kuniaki Ogura

技術研究所 研究企画業務部 主任(部長補)

要旨

わが国では現在、鉄粉の約 78% が自動車部品を中心とする輸送機械用部品に使用されている。この 10 年間で焼結部品の引張強さ、衝撃値、疲れ強さなどの基本特性、品質のばらつき低減による信頼性向上および部品製造の生産性向上によりコストダウンが図られてきた。川崎製鉄は主要鉄粉メーカーとしてこれらに対応し、この 10 年で多くの鉄粉新製品を開発してきた。その中から Cu 偏析防止粉、高流動性ワックス系偏析防止粉および被削性改善用鉄粉を取り上げて紹介する。

Synopsis:

About 78% of iron powder manufactured is used for sintered parts for transportation machines mainly for automobiles in Japan. Research and development have focused on improvement in fundamental properties as well as the productivity of manufacturing sintered parts. Kawasaki Steel, as a major manufacturer of iron powder, has developed new types of powder products for the last 10 years to bring to meet the above mentioned demands. This report introduced three typical products: (1) Highly flowable segregation-free iron powder using wax lubricant, (2) Segregation-free iron powder with suppressed copper powder segregation and (3) Iron powder for the enhanced machinability of sintered parts containing free graphite.

1 はじめに

川崎製鉄は、1966 年に還元鉄粉の一貫製造設備を千葉製鉄所内に設置し、鉄粉の製造および販売を開始した。以後、品質の優れた鉄粉の製造と安定供給を目指し、各種鉄粉の製造技術の開発および製造設備の新設と拡張を行ってきた。1978 年にアトマイズ鉄粉製造設備を新設し、還元鉄粉とアトマイズ鉄粉の 2 本建てによる鉄粉総合メーカーとしての地位を確立した。今回、技術研究所 30 周年特集号を刊行するにあたり、最近 10 年間の鉄系粉末冶金の技術動向と 2, 3 の当社新製品を紹介する。

2 鉄系粉末冶金の技術の潮流

2.1 鉄粉の需要

我が国では現在、鉄粉の約 78% が自動車部品を中心とする輸送機械用部品に使用されている。自動車 1 台あたりの焼結部品の搭載量は 1997 年度で 6.5 kg で、この 10 年間で約 1.8 倍に増加している¹⁾。しかし、Fig. 1 に示すように 1991 年以降その需要量は 10 万 t/年で停滞状態が続いている。原因はバブル経済崩壊後の自動車生

産台数の伸びの鈍化と焼結メーカーの海外進出によるといわれている。

一方、北米は 1992 年以降急激な伸びを示し、1997 年は 31 万 t/年の需要で自動車 1 台あたりの搭載量は 14.1 kg で 2000 年には 22.5 kg を目指している。欧州も 1994 年以降上昇に転じ 1997 年で 6.3 kg となっている。北米ではコンロッドやベアリングキャップなどの大型部品 (300~1000 g/個) の大幅採用が寄与している。

日本においても、粉体粉末冶金協会が主催する自動車焼結部品分科会が設立され、また、自動車焼結部品の焼結技術に関する共同の

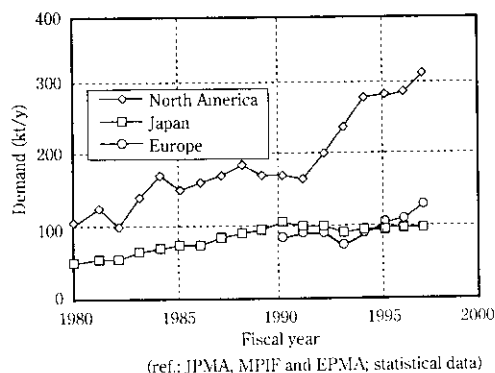


Fig. 1 Trend of iron powder demand for powder metallurgy

* 平成10年11月6日原稿受付

研究会が発足して、鉄系自動車焼結部品採用のために活動を行っている。

2.2 鉄系粉末冶金製品に求められる技術

鉄系粉末冶金製品には基本特性面と経済面の二面から、他の競合する素形材製品と競合している。そのためには、引張強さ、疲れ強さ、耐摩耗性、衝撃靱性などの基本特性の一層の向上が要求される。また、一般にこれらの特性は密度が高いほど向上するので、並行して高密度化技術が重要である²⁾。

一方、経済的には部品製造全体から見た生産性を高め、部品コストの低減を追求する技術の開発が指向されている。生産性の向上には (1) 黒鉛や合金粉の均一分散化を目的とした偏析防止により、C や合金成分のロット内のばらつきを低減することによる原料や製品歩留りの向上、(2) 焼結部品の寸法精度の向上による製品歩留りの向上と加工コストの低減、(3) 成形速度の向上による成形コストの低減、(4) 熱処理省略による焼結コストの低減、(5) 被削性の向上や、複雑部品の成形技術の向上による切削コストの低減などがある。以下基本特性と、部品の生産性の両面から、最近の技術進歩を紹介する。

2.3 基本特性の向上

2.3.1 高強度化

焼結体の強度を向上させる研究開発が広く行われてきた。当社が開発した Fe-2Ni-1Mo 部分合金化粉 (KIP シグマロイ 2010) は 2 回成形・2 回焼結で高密度とした後に、光輝熱処理を施すことにより 2000 MPa の高い引張り強さが得られている³⁾。この高強度化は、焼結体内部に分布した残留 γ 相の歪み誘起マルテンサイト変態による。

また、焼結コストの低減の一環として、熱処理を省略し、焼結ままでの強度の向上を図る技術が注目されている。通常の Ni や Mo の添加でベイナイト組織を得る方法⁴⁾に加えて、当社においては、微細パーライト組織により 1000 MPa の引張強さが得られる Cr 系の Fe-1Cr-0.3Mo-0.3V 組成の完全予合金銅粉 (KIP103V) を開発した⁵⁾。これは、通常の焼結炉の冷却速度で高強度の微細パーライト組織が得られる特徴がある。

2.3.2 高密度化

焼結材料の機械的特性が焼結密度に強く依存することはよく知られており、焼結密度の向上には従来から行われていた原料粉末の高純度化による圧縮性の向上に加えて、Table 1 のような種々の方法が開発されている。2 回成形・2 回焼結法、焼結鍛造および液相焼

結法は実用化されているが、コストや材料特性に問題があると言われる。適用分野が限定されているのが実状である。最近では、150°C 前後の温度で加圧成形する温間成形法が開発されており、これに適した粉末も発売された⁶⁾。一方、Mo を含有し、高温の α 相焼結により高密度にするための粉末⁷⁾ も開発されている。

2.4 焼結部品の生産性向上技術

2.4.1 部品の高寸法精度化

大量に生産される焼結部品は、品質の安定性が重要である。特に、焼結材料の寸法精度の向上は部品の価値を高めるとともに、製造工程でのサイジングなどの寸法矯正や切削などの機械加工工程の省略にもなるため注目されている。

たとえば、最も一般的な Fe-Cu-C 系においては、焼結時の熱膨張、添加黒鉛粉、Cu 粉の鉄粉中への拡散などによりその寸法が複雑に変化する⁸⁾。このため寸法精度を高めるために、焼結体中の C 量のばらつきの減少を狙った偏析防止処理粉が開発されてきた⁹⁻¹¹⁾。当社においては、黒鉛粉の偏析防止技術を確立し、さらに改善を続けるとともに、銅などの他の合金成分についても偏析防止技術を開発した。

鉄粉に添加される黒鉛粉は比重が鉄粉と大きく異なるため、単純混合粉では粉末の移送時にこれらが鉄粉と分離偏析しやすい。これを解決するために、鉄粉粒子表面に結合剤で黒鉛粉を付着させる方法が原料鉄粉メーカー各社で開発されている。Fig. 2 に示すように

Table 1 Densification techniques

Compacting/sintering methods	Advantages	Disadvantages
Double press/double sinter ●	Established	High process cost
Powder forging ●	Established	High process cost
Warm compaction ◎	Low cost	High equipment cost
High pressure compaction ○	Low cost	Short die life
Die lubrication ○	Low cost	Low productivity
Cold forming ○	No sintering	Insufficient size precision
Liquid phase sintering ●	Low temperature sintering	Low ductility
α phase sintering ◎	Ductility	Limitation of composition

●: Matured, ◎: Commercialized, ○: Developing

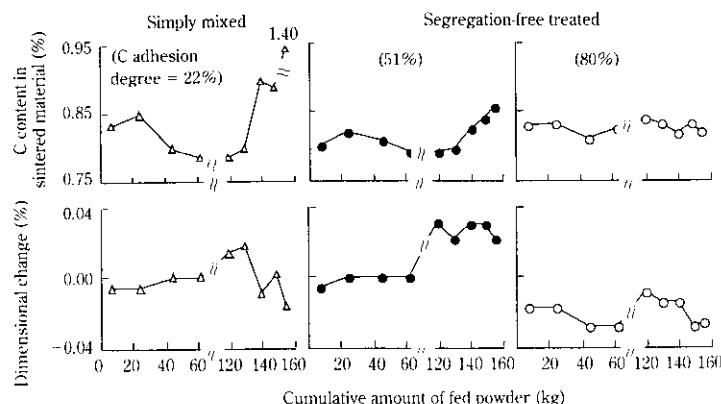


Fig. 2 Stabilization of sintered material properties by segregation-free treatment

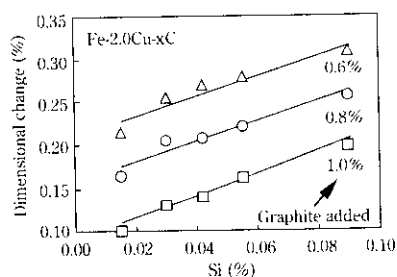


Fig. 3 Effect of Si content in iron powder and added graphite content on dimensional change

偏析防止粉による C 偏析の改善により焼結時の寸法変化が安定化する。

一方、原料鉄粉そのものの影響として、Fig. 3 に示すように、鉄粉中の Si 量が寸法変化率に大きな影響を与えることが明らかになっている¹²⁾。これは、鉄粉粒子表面の Si 酸化物が、焼結中の黒鉛の浸炭速度を低下させるためである。鉄粉中の Si 量を精密制御し、焼結寸法変化率のロット間ばらつきを小さくした鉄粉を、当社において開発している。

2.4.2 高速成形技術

焼結メーカーでは部品成形時の金型への原料粉末の流れを制御することにより、金型中への充填量の変動を抑制することが検討されている。乾燥空気を導入した新型のフィードシュアの開発により、鉄粉を高流動化させ、その結果として成形速度の向上と焼結製品の重量ばらつき、寸法精度の向上が同時に図られることが報告されている^{13,14)}。今後、これらの粉末成形技術および装置の発展に合わせた原料粉末の開発も必要である。

2.4.3 被削性の改善

鉄系焼結材料はその低い熱伝導性と断続切削のため、溶製材に比べ著しく被削性に劣る問題があり¹⁵⁾、鉄系焼結材料の被削性を改善するために種々の添加剤の検討が行われている。現在、高純度の MnS を添加することが一般的であるが¹⁶⁾、当社においては焼結体中の遊離黒鉛を利用した被削性改善技術を開発した¹⁷⁾。

2.4.4 焼結接合による切削工程の省略

従来は焼結後に 2 列のスプロケットの間を切削加工していたものを、2 つの部品に分割成形し、これらを組み合わせて焼結することにより部品を一体化する焼結接合技術が開発されている¹⁸⁾。本法により原料コスト低減と切削コストの削減を図ることが可能である。

3 当社の主要開発技術

2 章でも一部紹介したが、当社においてはこの 10 年に、以下の新製品を開発した。

- (1) 超高強度部品用の Ni-Mo 系合金銅粉 (KIP シグマロイ 2010)³⁾
- (2) 焼結まま高強度部品用の Cr 系合金銅粉 (KIP103V)³⁾
- (3) Si を精密制御した高寸法精度アトマイズ鉄粉
- (4) Cu 偏析防止粉
- (5) 高流動性ワックス系偏析防止粉
- (6) 被削性改善用鉄粉

本章では、その中から高流動性ワックス系偏析防止粉、Cu 偏析防止粉と被削性改善用鉄粉の技術内容について紹介する。

3.1 ワックス系偏析防止粉

偏析防止粉は、バインダ以外に配合される潤滑剤の種類により、

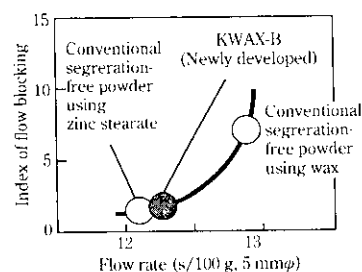


Fig. 4 Flowability of newly developed segregation-free iron based powder with wax lubricant compared with conventional segregation-free iron based powder

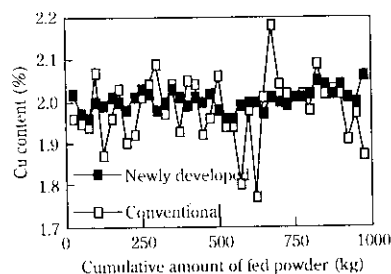


Fig. 5 Difference of scatters of Cu content during feeding between newly developed copper segregation-free iron based powder and conventional segregation-free iron based powder with a composition of Fe-2Cu-0.8C

ステアリン酸亜鉛系偏析防止粉とワックス系偏析防止粉に大別される。ワックス系偏析防止粉は、ステアリン酸亜鉛系偏析防止粉のように脱ろう時に発生する酸化亜鉛が焼結材に付着する問題がなく、その上、焼結体表面にすずが発生しにくい利点があるが、ステアリン酸亜鉛系偏析防止粉に比べ、流動性が悪いという問題点があり、改善課題となっていた。

粉の付着力がワックス系偏析防止粉の流動性を支配することが知られている¹⁹⁾。その付着力を構成するのは液架橋力、静電気力、分子間力である。それぞれの大きさを計算したところ、粉体間の分子間力が流動性に最も大きな影響を与えることがわかった¹⁹⁾。この知見に基づいて、従来のワックス系偏析防止粉に比べて格段に流動性の優れた新商品（商品名 KIP クリーンミックス KWAX-B）を開発した。Fig. 4 に KWAX-B の流動性を、流動度とホッパからの排出性として示す。なお、ホッパ排出性は、偏析防止粉 1 kg を充填した 2.5 mmφ の孔を有する 100 mm × 100 mm × 100 mm の簡易ホッパ上面に打撃を加え、粉が排出されるまでの打撃数で評価した。図から、KWAX-B の流動性はステアリン酸亜鉛系偏析防止粉にほぼ匹敵する良好な流動性を示すことがわかる。また、圧縮性、抜出力などの粉体特性や、焼結体特性も従来の偏析防止粉と同等である。

3.2 Cu 偏析防止粉

従来の偏析防止粉においては黒鉛粉の偏析は防止できるが、銅粉の偏析防止は困難であった。当社は、この問題を解決した銅偏析防止粉を開発した。Fig. 5 に、Fe-2Cu-0.8C 配合の偏析防止粉 1 t をバネ式チューブ型搬送機で輸送した場合の、成形体の銅の成分変動を示す。開発材は、従来の偏析防止粉に比べ、銅の分析値の標準偏差は 0.080% から 0.024% へと 70% 低減された。また、Fig. 6 に上記の成形体の金型基準の寸法変化率のトレンドを示す。図から、開発材は、従来の偏析防止粉に比べ、寸法変化のばらつきを約 20% 低

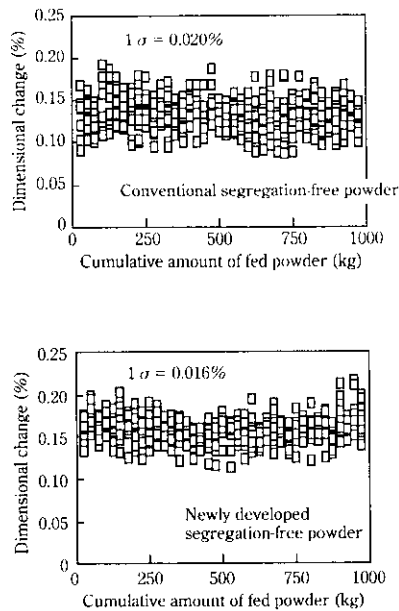


Fig. 6 Difference of scatters of dimensional change during feeding between newly developed copper segregation-free iron based powder and conventional segregation-free iron based powder with a composition of Fe-2Cu-0.8C

減していることがわかる。

以上のように、当社は高流動性ワックス系偏析防止粉と銅偏析防

止粉の開発により、焼結製品製造コストの低減に貢献していきたいと考える。

3.3 被削性改善用鉄粉

焼結体中の遊離黒鉛の利用を、新しい被削性の改善の手法として開発した¹⁷⁾。S を含有するアトマイズ鉄粉を Fe-Cu-C 系組成で、成形後、窒素中で焼結することにより、気孔部に遊離黒鉛を含有するフェライト・パーライト組織の焼結体が製造可能である。この遊離黒鉛は、被削性を著しく向上させるばかりでなく、従来被削性改善用に使用されている MnS 粉末の添加のように、衝撃値には悪影響を与えなかった。

鉄粉に含有される S は鉄粉表面に FeS として偏析し、鉄粉の表面エネルギーを低下させる。このため、添加黒鉛が焼結中に完全に拡散しないので、黒鉛が気孔に残留する。さらに S に加え、偏析しやすい B も同時に予合金化するとさらに大量の遊離黒鉛を生成させることも可能である²⁰⁾。

このように、鉄粉の表面に濃化しやすい元素などにより、鉄粉の表面を制御し、焼結部品の新しい機能を引き出す研究開発が今後重要となると考えられる。

4 おわりに

粉末冶金用鉄粉の究極の目標は、成形して焼結するという簡便な工程で高精度な部品を製造できるプロセスを実現することである。この目標に少しでも近づくための技術開発が必要である。

参考文献

- 1) *Metal Powder Report*, **51**(1996)7, 33
- 2) P. K. Johnson: *Int. J. Powder Met.*, **25**(1989)1, 55
- 3) 古井 修、斎藤良行、植石規子：鉄と鋼，**79**(1993)107
- 4) C. Lindberg: *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials-1992*, MPIE, Preprint, N.J., **5**(1992) 107
- 5) 宇波 繁、古井 修、上ノ蘭聡、小倉邦明：粉体および粉末冶金，**43**(1996)9, 1106
- 6) *Metal Powder Report*, **50**(1995)1, 7
- 7) *Metal Powder Report*, **50**(1995)8, 33
- 8) S. Jamil and G. Chadwick: *Powder Metall.*, **28**(1985)2, 65
- 9) 峰岸俊幸、牧野来与志、杉原 裕、前田義昭、高城重彰、桜田 一男：川崎製鉄技報，**24**(1992)4, 262
- 10) 特公平 4-32122
- 11) 特開平 5-86403
- 12) 石川博之、小倉邦明：粉体粉末冶金協会講演概要集平成 6 年度秋期大会，(1994) 255
- 13) 近藤幹夫、竹本恵英、浦田 勇：粉体および粉末冶金，**45**(1998)5, 412
- 14) 近藤幹夫、竹本恵英、浦田 勇：粉体および粉末冶金，**45**(1998)5, 417
- 15) J. S. Agapiou and M. F. DeVries: *Int. J. Powder Met.*, **24**(1988)47
- 16) K. S. Chopra: *Progress in Powder Metallurgy*, **43**(1987)502
- 17) 上ノ蘭聡、宇波 繁、小倉邦明：粉体および粉末冶金，**43**(1996)4, 545
- 18) 浅香 一夫：粉体および粉末冶金，**42**(1995), 522
- 19) 上ノ蘭聡、尾崎由紀子、小倉邦明：粉体粉末冶金協会講演概要集平成 10 年度春期大会，(1998) 1-10A
- 20) 上ノ蘭聡、小倉邦明、中野善文、楊 積彬：粉体および粉末冶金，**44**(1997)9, 871