

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.33 (2001) No.4

自動車用鋼管・鉄粉特集号

焼結体被削性に優れた合金鋼粉

Alloyed Steel Powder for Sintered Compacts with Excellent Machinability

宇波 繁 (Unami, S.) 上ノ菌 聡 (Uenosono, S.) 藤長 政志 (Fujinaga, M.)

要旨：

KIP シグマロイ 2010 (2%Ni-1%Mo 部分合金化鋼粉) は、KIP シグマロイ 415S (4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo 部分合金化鋼粉) に比べて、焼結体でのドリル穿孔性、旋盤加工性が優れている。これは、KIP シグマロイ 2010 を用いた焼結体は、KIP シグマロイ 415S に比べ、硬さが低いことと、Ni が濃化した靱性の高いオーステナイト相が少ないためである。また、KIP シグマロイ 2010 は、KIP シグマロイ 415S に比べ、焼結浸炭材での硬度が高く、大きな圧環強度が得られる。これは、オーステナイトのマルテンサイトへのひずみ誘起変態挙動に起因する。

Synopsis：

The sintered compacts made from KIP SIGMALOY 2010 (2%Ni-1%Mo partially alloyed steel powder) attain superior machinability in drilling and turning to those made from KIP SIGMALOY 415S (4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo partially alloyed steel powder). The excellent machinability is attributed to the lower hardness and the reduction of Ni-rich tough austenite of the sintered compact made from KIP SIGMALOY 2010. After case-hardening the same sintered compacts made from KIP SIGMALOY 2010 attain higher hardness and radial crushing strength than those made from KIP SIGMALOY 415S due to strain induced martensitic transformation of austenite.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Alloyed Steel Powder for Sintered Compacts with Excellent Machinability



宇波 繁

Shigeru Unami

技術研究所
鉄粉・磁性材研究部門
主任研究員(主席掛長)



上ノ園 聡

Satoshi Uenosono

技術研究所
鉄粉・磁性材研究部門
主任研究員(課長)



藤長 政志

Masashi Fujinaga

千葉製鉄所 鉄粉・溶
材部 鉄粉・溶材技術
室 主査(課長)

要旨

KIP シグマロイ 2010 (2%Ni-1%Mo 部分合金化鋼粉) は, KIP シグマロイ 415S (4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo 部分合金化鋼粉) に比べて, 焼結体でのドリル穿孔性, 旋盤加工性が優れている。これは, KIP シグマロイ 2010 を用いた焼結体は, KIP シグマロイ 415S に比べ, 硬さが低いことと, Ni が濃化した靱性の高いオーステナイト相が少ないためである。また, KIP シグマロイ 2010 は, KIP シグマロイ 415S に比べ, 焼結浸炭材での硬度が高く, 大きな圧環強度が得られる。これは, オーステナイトのマルテンサイトへのひずみ誘起変態挙動に起因する。

Synopsis:

The sintered compacts made from KIP SIGMALOY 2010 (2%Ni-1%Mo partially alloyed steel powder) attain superior machinability in drilling and turning to those made from KIP SIGMALOY 415S (4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo partially alloyed steel powder). The excellent machinability is attributed to the lower hardness and the reduction of Ni-rich tough austenite of the sintered compact made from KIP SIGMALOY 2010. After case-hardening the same sintered compacts made from KIP SIGMALOY 2010 attain higher hardness and radial crushing strength than those made from KIP SIGMALOY 415S due to strain induced martensitic transformation of austenite.

1 緒 言

自動車の高性能化にともない, 自動車用焼結部品への合金鋼粉の適用が増加している¹⁾。純鉄粉の表面に Ni, Cu, Mo を拡散付着させている KIP シグマロイ 415S (4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo 組成の部分合金化鋼粉) は, 圧縮性が高く, かつ焼結後および熱処理後の強度が高いため, 高強度自動車部品に従来の鋼材に比べて広く用いられている。しかし, この KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体は, 焼結するだけでも硬くなるので被削性が悪く, 切削加工が必要な形状の部品の場合は工具摩耗が多くなり加工コストが高くなるため, 問題となっていた。従来, 被削性を改善するため種々の添加剤が検討されてきた。たとえば, 高純度の MnS 粉を 0.5% 程度添加することで被削性が改善される²⁻⁴⁾。しかし, 機械的特性がわずかに低下するため, 最近の高負荷部品の要求には十分ではなかった。

再圧縮および熱処理用合金鋼粉として開発された KIP シグマロイ 2010⁵⁻⁹⁾ (2%Ni-1%Mo 組成の部分合金化鋼粉) は, 焼結後では硬さを低く抑え, 再圧縮時に密度が向上しやすく, さらに焼結後に熱処理することによって高硬度, 高強度が得られるように合金設計されている。したがって, KIP シグマロイ 2010 は, 焼結後に硬さが低く, 被削性が KIP シグマロイ 415S より改善されることが期待

される。

本報告では, これらの KIP シグマロイ 2010, KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体のドリル穿孔時, 旋削時の被削性および熱処理体の機械的特性について述べる。

2 実験方法

2.1 ドリル穿孔性に及ぼす黒鉛添加量および穿孔条件の影響

供試粉には, KIP シグマロイ 2010 および KIP シグマロイ 415S を用いた。供試粉の化学組成を Table 1 に示す。これらの鋼粉に, 黒鉛粉を 0~0.6 mass%, ステアリン酸亜鉛 1 mass% を添加し, 6.80 Mg/m³ の密度に成形した。次に, N₂10vol% H₂ 中, 1250°C, 60 min の条件で焼結した。これらの焼結体についてドリル穿孔試

Table 1 Chemical compositions of partially alloyed steel powders used

Powder	Chemical composition (mass%)		
	Ni	Cu	Mo
KIP SIGMALOY 2010	2	—	1
KIP SIGMALOY 415S	4	1.5	0.5

* 平成13年8月8日原稿受付

験を行い、被削性を評価した。ドリル穿孔試験は、長さ 55 mm、幅 10 mm、高さ 10 mm の焼結体を試験片とし、4 mmφ の超硬ドリルを用いて回転数 1000~1500 rpm、送り 0.03~0.1 mm/rev、切削油なしの条件で行い、被削性はドリルが折損するまでの穿孔数として評価した。

2.2 ドリル穿孔性に及ぼす焼結条件の影響

KIP シグマロイ 2010 および KIP シグマロイ 415S に、黒鉛粉を 0.5 mass%、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を 0.75 mass% 添加し、7.00 Mg/m³ の密度に成形した。比較材として KIP シグマロイ 415S に被削性改善剤として MnS 粉を 0.5 mass% 添加したものについても成形した。次に、吸熱型変成ガス (RX, CO₂=0.3vol%) 中、1130°C、20 min の低温焼結あるいは N₂-10vol% H₂ 中、1250°C、50 min の高温焼結の 2 種類の条件で焼結した。これらの焼結体についてドリル穿孔試験を行い、ドリル穿孔性を評価した。ドリル穿孔試験は、外径 60 mm、高さ 10 mm の焼結体を試験片とし、1.2 mmφ のハイスドリルを用いて回転数 10000 rpm、送り 12 μm/rev、切削油なしの条件で行い、被削性はドリルが折損するまでの穿孔数として評価した。

2.3 旋削加工における被削性

供試材は、2.2 節と同一の条件で成形し、RX ガス (CO₂=0.3vol%) 中、1130°C、20 min の条件で焼結した。これらの焼結体について旋削試験を行い、被削性を評価した。旋削試験は、外径 60 mm、内径 20 mm、高さ 25 mm の焼結体を試験片とし、超硬工具 T110A、切削速度 100 m/min、横逃げ角 8.5°、すくい角 0°、切り込み 0.2 mm、ノーズ半径 0.4 mm、送り 0.1 mm/rev、切削油なしの条件で行い、被削性はフランク摩耗量で評価した。

2.4 焼結浸炭材の機械的特性

供試材の焼結体は、2.2 節と同一の条件で作製した。これらの焼結体を 870°C、60 min、C.P.=0.8% の条件で浸炭し、60°C の油中に焼入れ、200°C、60 min の条件で焼き戻しを行い、硬さおよび圧環強度を測定した。圧環強度は、外径 35 mm、内径 14 mm、高さ 10 mm のリング状焼結体を試験片とし、径方向に荷重を加え、破壊したときの応力を測定した。

3 実験結果および考察

3.1 ドリル穿孔性に及ぼす黒鉛添加量および穿孔条件の影響

KIP シグマロイ 2010 および KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体の黒鉛添加量とドリル折損までの穿孔数の関係を Fig. 1 に示す。黒鉛無添加の場合、2010、415S 焼結体いずれもほとんど穿孔できなかった。焼結体では添加した黒鉛は鉄中に固溶するが、黒鉛を添加しないと焼結体組織が高延性のフェライト単相になる。高延性の相は刃先におぼりつくため、黒鉛無添加焼結体では被削性が低かったと考えられる。2010、415S 焼結体いずれも、黒鉛添加量が 0.15 mass% で穿孔数が最も多く良好な被削性を示し、黒鉛添加量が 0.6 mass% では穿孔数が少なくなり被削性が低下した。パーライト量が 15~25% で被削性が最適となる炭素鋼と同様の結果で、セメントタイトの切りくずせん断域での応力集中源として働く効果と硬さを増加させる効果のバランスに工具寿命が依存している⁹⁾と考えられる。また、同じ黒鉛添加量では、2010 焼結体のほうが 415S

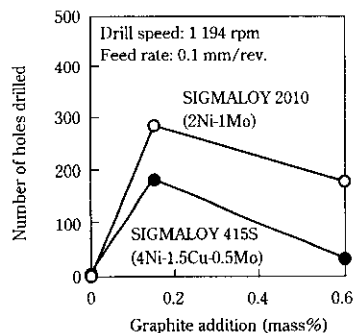


Fig. 1 Relationship between graphite addition and number of holes drilled for sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S

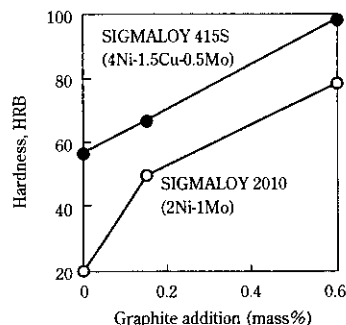


Fig. 2 Relationship between graphite addition and hardness of sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S

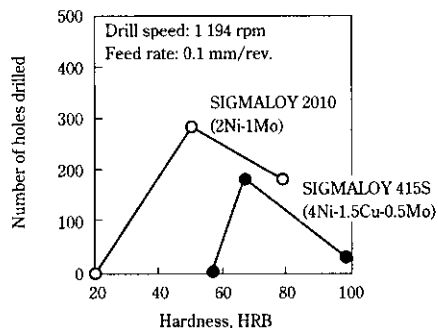


Fig. 3 Relationship between hardness and number of holes drilled for sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S

焼結体に比べ、穿孔数が多く被削性が良好であった。

黒鉛添加量と焼結体硬さの関係を Fig. 2 に示す。黒鉛添加量の多いほうが焼結体硬さは高くなった。2010 焼結体のほうが 415S 焼結体に比べ、同じ黒鉛添加量でも焼結体硬さは低かった。

焼結体硬さとドリル折損までの穿孔数の関係を Fig. 3 に示す。2010、415S いずれの焼結体も、被削性の最も良くなる硬さが存在するが、2010 焼結体のほうが 415S 焼結体に比べ、同じ硬さでも穿孔数が多く、被削性が良好であった。Ni 系の部分合金化鋼粉焼結体には Ni の濃度分布があり、Ni が高濃度の部分の組織はマルテンサイトとオーステナイトになっていると考えられる。オーステナイトは、高靱性の相であり、刃先におぼりつき刃先温度を上昇させ工

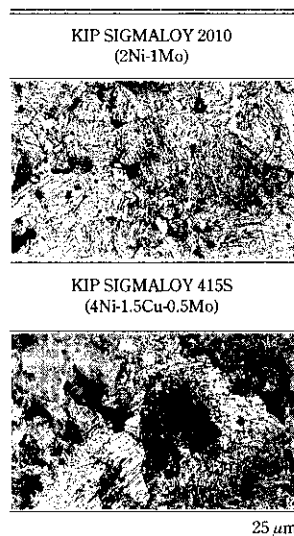


Photo 1 Optical micrographs of the sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.6 mass% graphite addition

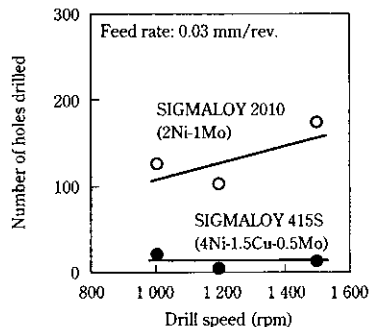


Fig. 4 Effect of drill speed on number of holes drilled for sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.6 mass% graphite addition

具熱摩耗を促進する⁹⁾と考えられる。KIP シグマロイ 2010 の Ni 量は、KIP シグマロイ 415S より少ないので、Photo 1 に示すように 2010 焼結体は 415S 焼結体より焼結体組織が均一で、2010 焼結体には 415S 焼結体より Ni が高濃度のオーステナイトが少ないため、同じ硬さでも被削性が良かったと考えられる。

黒鉛添加量を 0.6 mass% とした KIP シグマロイ 2010 および KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体のドリル折損までの穿孔数に及ぼすドリルの回転数の影響を Fig. 4 に示す。2010 焼結体は、回転数が高くなると、穿孔数が多くなった。一方、415S 焼結体は、回転数によらずほぼ一定であった。いずれの回転数でも 2010 焼結体のほうが穿孔数が多かった。

黒鉛添加量を 0.6 mass% とした KIP シグマロイ 2010 および KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体のドリル折損までの穿孔数に及ぼすドリルの送り速度の影響を Fig. 5 に示す。2010 焼結体、415S 焼結体いずれも、送り速度が高くなると、穿孔数が多くなったが、いずれの送り速度でも 2010 焼結体のほうが穿孔数が多かった。このときの切りくずを Photo 2 に示す。415S 焼結体の切りくずは青く酸化されていることから、工具と焼結体の接触部が高温になっていると考えられる。一方、2010 焼結体の切りくずは金属光沢を示し、ほとんど酸化されておらず、415S 焼結体に比べ切削抵抗が低いと

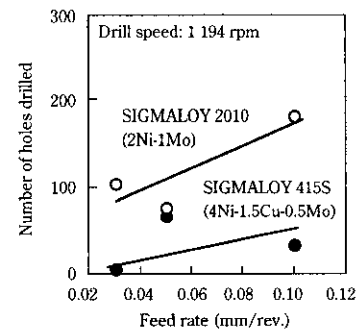


Fig. 5 Effect of feed rate on number of holes drilled for sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.6 mass% graphite addition

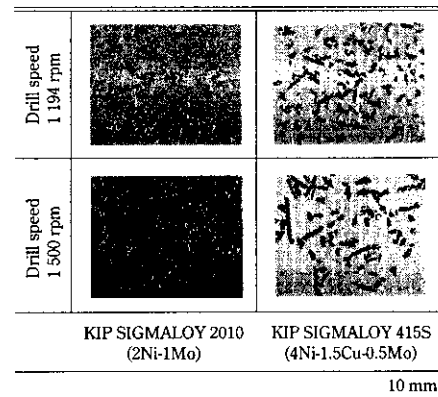


Photo 2 Optical micrographs of the chips drilled with a 4 mm drill at a feed rate of 0.03 mm/rev. from the sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.6 mass% graphite addition

考えられる。

3.2 ドリル穿孔性に及ぼす焼結条件の影響

KIP シグマロイ 2010、KIP シグマロイ 415S および MnS を添加した KIP シグマロイ 415S を用いた焼結条件を変えたときの焼結体硬さを Fig. 6 に示す。415S 焼結体は、1130°C の低温焼結でも 90HRB 以上と硬く、1250°C の高温焼結では 95 HRB と硬さが増加した。いずれの焼結条件でも MnS を添加した場合、硬さはわずかに低下した。一方、2010 焼結体は 1250°C の高温焼結でも硬さが 81 HRB と MnS を添加した 415S 焼結体よりも低かった。焼結条件を変えたときのドリル穿孔試験の結果を Fig. 7 に示す。415S 焼結体では、いずれの焼結条件でも全く穿孔することができなかった。MnS を添加した 415S 焼結体では、1130°C の低温焼結のみ 11 個穿孔でき、1250°C の高温焼結では穿孔できなかった。一方、2010 焼結体は、1130°C 焼結では 18 個、1250°C 焼結では 2 個穿孔でき、被削性改善剤の MnS を添加した 415S 焼結体を上回るドリル穿孔性を示した。

3.3 旋削加工における被削性

KIP シグマロイ 2010、KIP シグマロイ 415S および MnS を添加した KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体の旋削加工における切削距離とフランク摩耗量の関係を Fig. 8 に示す。415S 焼結体では切削距離 4000 m を過ぎると急激にフランク摩耗量が増加し、7000 m

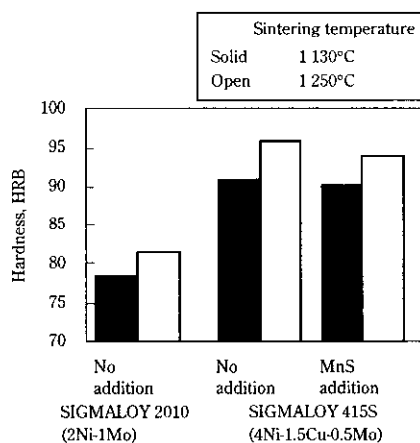


Fig. 6 Hardness of sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.5 mass% graphite addition

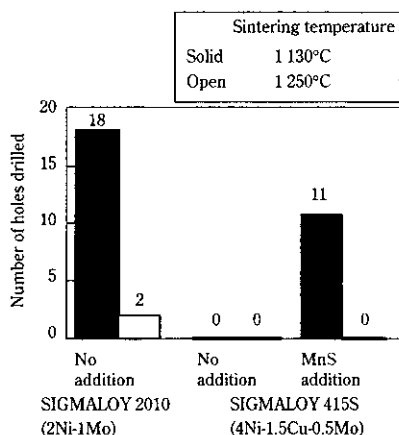


Fig. 7 Number of holes drilled with a 1.2 mm drill at 10 000 rpm with 0.012 mm/rev. of sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.5 mass% graphite addition

でフランク摩耗量が 0.5 mm に達した。MnS を添加した 415S 焼結体では、切削距離が増えるにしたがい、ほぼ直線的にフランク摩耗量が増加し、切削距離 7000 m でもフランク摩耗量は 0.3 mm 程度であった。これに対し、2010 焼結体は、MnS を添加した 415S 焼結体とほぼ同様の挙動を示し、MnS を添加した 415S 焼結体と同等の被削性であることが分かった。

3.4 焼結浸炭材の機械的特性

KIP シグマロイ 2010, KIP シグマロイ 415S および MnS を添加した KIP シグマロイ 415S を用いた焼結浸炭材の硬さを Fig. 9 に示す。415S 焼結浸炭材の硬さは、1130°C の低温焼結でも 30HRC を超える高い硬さが得られたが、MnS を添加した場合、わずかに低下した。一方、2010 焼結浸炭材は、いずれの焼結条件でも 415S 焼結浸炭材より高い硬さが得られた。

焼結浸炭材の圧環強度を Fig. 10 に示す。硬さと同様に、いずれの焼結条件でも 2010 焼結浸炭材のほうが、415S 焼結浸炭材より高い圧環強度が得られた。

硬さ、圧環強度いずれの機械的特性も 415S 焼結浸炭材に比較して 2010 焼結浸炭材が優れている主な要因は、オーステナイトのマルテンサイトへのひずみ誘起変態挙動と考えられる。Ni が濃化しているオーステナイトには、ひずみ誘起変態する相とひずみに対し

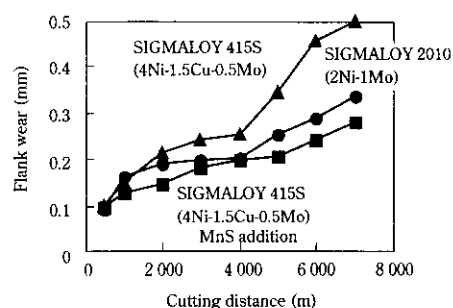


Fig. 8 Relationship between cutting distance and flank wear of tools for sintered compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.5 mass% graphite addition

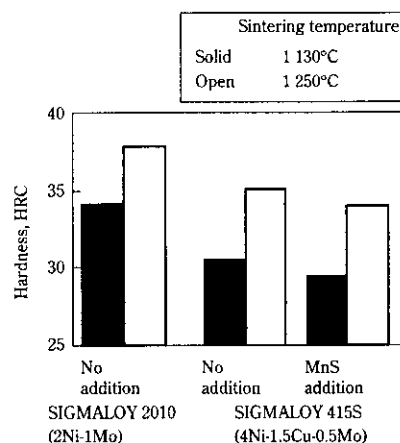


Fig. 9 Hardness of sintered and case-hardened compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.5 mass% graphite addition

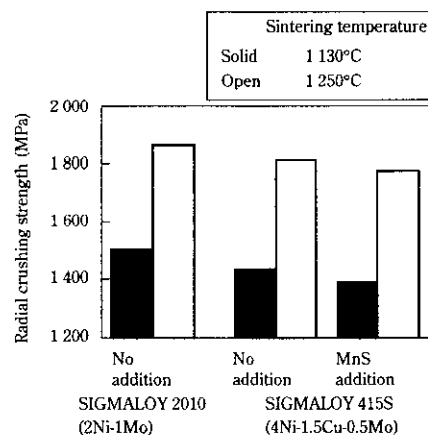


Fig. 10 Radial crushing strength of sintered and case-hardened compacts made from Ni partially alloyed steel powders, KIP SIGMALOY 2010 and KIP SIGMALOY 415S with 0.5 mass% graphite addition

て安定な相があるが、2010 焼結浸炭材では、ひずみに対して安定なオーステナイト量を 415S 焼結浸炭材より低減したことにより、機械的特性が向上したと考えられる。

4 結 言

Ni 系部分合金化鋼粉 (KIP シグマロイ 2010, KIP シグマロイ

415S)を用いた焼結体のドリル穿孔時、旋削時の被削性および熱処理体の機械的特性について調べた。得られた主な結論を以下に示す。

- (1) KIP シグマロイ 2010, KIP シグマロイ 415S いずれを用いた焼結体も、黒鉛添加量が 0.15 mass% で最もドリル穿孔性が良好であった。
- (2) KIP シグマロイ 2010 を用いた焼結体は、KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体に比べ、Ni が高濃度のオーステナイト相が少ないため、同じ硬さでもドリル穿孔性が良好であると考えられる。

- (3) KIP シグマロイ 2010 を用いた焼結体は、1130°C、1250°C いずれの焼結温度でも、被削性改善剤の MnS を添加した KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体を上回るドリル穿孔性を示した。
- (4) 旋削加工では、KIP シグマロイ 2010 を用いた焼結体は、MnS を添加した KIP シグマロイ 415S を用いた焼結体とほぼ同等の被削性を示した。
- (5) KIP シグマロイ 2010 を用いた焼結浸炭材は、KIP シグマロイ 415S を用いた焼結浸炭材に比べ、高い硬さ、圧環強度が得られた。

参 考 文 献

- 1) B. James and M. J. Koczak: "New Ferrous Powder Metallurgy Alloys An Overview", Proc. of 1993 Powder Metallurgy World Cong. Vol. 1, JSPM, Kyoto (Japan), July (1993), 483
- 2) K. S. Chopra: "Improvement of Machinability in PM Parts Using Manganese Sulfide", Prog. in Powder Metallurgy Vol. 43, MPIF, Dallas (USA), May (1987), 502
- 3) K. S. Chopra and D. S. Madan: "Role of Manganese Sulfide in Improving the Machinability of Powder Metallurgy Parts", World Conf. on Powder Metallurgy Vol. 2, EPMA, London (UK), July (1990), 61
- 4) D. S. Madan: "Effect of Manganese Sulfide (MnS) on Properties of High Performance P/M Alloys and Applications". Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials Vol. 4, MPIF, San Francisco (USA), June (1992), 245
- 5) 古君 修, 丸田慶一, 阿部輝宜, 高城重彰: 粉体および粉末冶金, 37(1990)2, 225
- 6) 古君 修, 丸田慶一, 前田義昭: 川崎製鉄技報, 24(1992)4, 273
- 7) 古君 修, 斎藤良行, 横石規子: 鉄と鋼, 79(1993)8, 1003
- 8) Y. Itoh and K. Akechi: "Newly Developed PM High Strength Steel", SAE Technical Paper, 980335(1998), 1
- 9) 荒木 透, 山本重男: 鉄と鋼, 57(1971)13, 1912