

高強度プレアロイ型鋼粉の機械的特性

吉田真規・佐藤正昭・佐久間均・関 義和

鉄粉本部・鉄粉工場

Mechanical Properties of High Strength Pre-alloyed Steel Powders

Masaki Yoshida・Masaaki Satoh・Hitoshi Sakuma・Yoshikazu Seki

Alloy elements have a great effect on the compressibility of steel powders and the mechanical properties of sintered compacts. In this investigation, Ni and Mo contents were optimized with a special emphasis on compressibility to achieve high-strength and high-durability sintered compacts. High tensile and fatigue strength were achieved by the chemical composition 0.5Ni-1Mo and 1.5Ni-1Mo. The first alloy provides excellent heat treatment properties and a fatigue limit of 529 N/mm² (case-hardened). And the second together with 2mass%Cu resulted in a tensile strength equivalent to that of a partially-alloyed powder.

まえがき = 鉄粉は粉末冶金用原料としてもちいられている。粉末冶金法は他の製品の製造方法と比較して材料歩留が高く、量産性が優れ、かつ複雑形状の部品製造に適している¹⁾。そのため、粉末冶金製品は機械部品として使用され、中でも自動車用部品としてその多くが採用されている²⁾。当社では、高強度化、良加工性(高被削性)、高密度化(高圧縮性)、高成形性などのさまざまなユーザーニーズに応え、商品のラインアップに努めてきた。なかでも、粉末冶金原料の高強度化は適用部品の範囲が広がるばかりでなく、部品の軽量化も期待できる³⁾。

粉末冶金製品の高強度材として合金鋼粉がある。合金鋼粉は拡散型鋼粉とプレアロイ型鋼粉に大別される。前者は純鉄粉に合金元素の微粉を拡散接合して製造され、後者は溶解工程で合金元素を添加して製造される。一般的には、圧縮性が優れる4Ni-1.5Cu-0.5Mo拡散型鋼粉が多く使用されている。しかし、拡散形鋼粉を原料とした粉末冶金材料の金属組織はNiを主成分とした脆弱な残留オーステナイト相が島状に析出しているため、焼結体密度を上げて回転曲げ疲労強度は440N/mm²が限界であった⁴⁾。

いっぽう、プレアロイ型鋼粉は圧縮性が劣る欠点を有するものの2P2S法[(2回プレス(Pressing), 2回焼結(Sintering)]をはじめとした高密度化技術の開発により、粉末冶金製品を高強度化する可能性を有している⁵⁾。

本報では、2P2S法により従来より高い疲労強度をえることを目標に、プレアロイ型鋼粉の化学組成の最適化を検討した結果および新しく開発した高強度鋼粉46F3H(1.5Ni-1Mo)と46F4H(0.5Ni-1Mo)の機械的特性について報告する。

1. 合金成分量の最適化

一般に焼結工程では雰囲気ガスとしてエンドサーミックガスが使用される⁶⁾。そのため、酸化の影響がない合金成分としてNi, Moを選定し、これら合金組成の最適化を検討した。

1.1 実験方法

NiとMo含有量をそれぞれ0~2mass%, 0~3mass%

の範囲で変化させたプレアロイ型低合金鋼粉を実験装置で試作した。鋼粉の圧縮性および引張強度から最適配合量を求めた。

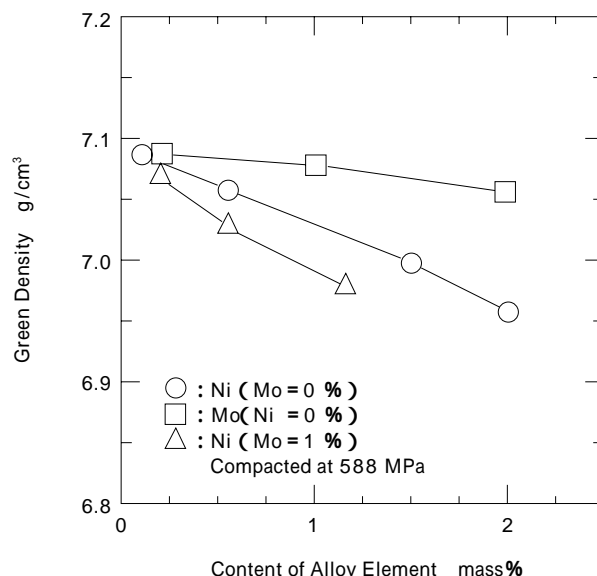
1.1.1 圧縮性

圧縮性は鋼粉にステアリン酸亜鉛を0.75mass%混合し、588MPaの成形圧力で11.3×10mmの寸法に成形したときの圧粉体密度の大きさで評価した。

1.1.2 引張強度特性

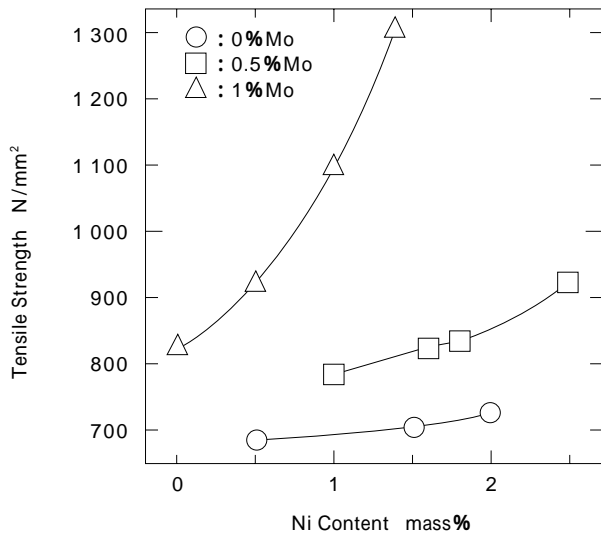
引張強度は焼結体と熱処理体の二通りの場合について調査した。焼結体は黒鉛粉を0.8mass%とステアリン酸亜鉛を0.75mass%混合し、588MPaの圧力で成形し、アンモニア分解ガス中で1073K×1800sで予備焼結し、さらに686MPaの圧力で再圧縮をおこない、1473Kで30min真空中で焼結してえた。

熱処理体は黒鉛粉を0.6mass%とステアリン酸亜鉛を0.75mass%混合した後、焼結体と同じ成形圧力と焼結条件で作製した。さらに、1173Kに30min保持した後、油焼入をおこない、473Kの焼戻し処理をおこなった。引張試験片は12.5×12.5×90mmの形状よりJIS14A(6mm)



第1図 圧縮性に及ぼす合金元素の影響

Fig. 1 Effect of alloy elements on compressibility



第2図 Ni量と引張強度(焼結体)の関係
Fig. 2 Change in tensile strength of as-sintered compacts as a function of Ni content

に機械加工した。

1.2 実験結果

1.2.1 圧縮性

第1図にNiとMo含有量と鋼粉の圧縮性の関係を示す。Mo鋼粉(Ni=0%)の成形体密度が大きく、圧縮性が優れる。次いで、Ni鋼粉(Mo=0%)の圧縮性が良く、Ni-Mo鋼粉(Mo=1%)の順となる。Moは純鉄へのフェライト硬化能が低く、そのためMo鋼粉の圧縮性がもっとも良くなったものと思われる⁷⁾。

1.2.2 引張強度

(1) 焼結体強度

合金添加量と焼結体強度の関係を第2図に示す。Ni量およびMo量が増加するにしたがい引張強度は高くなる。圧縮性の点では、Ni鋼粉やMo鋼粉などの単元素合金鋼粉が優れているが、引張強度ではNi-Mo鋼粉のほうが強度が高い。Mo量が0mass%もしくは0.5mass%と比較して1mass%の場合、Niを合金化させたときの引張強度の増加は大きい。本実験の範囲では、NiおよびMo含有量が多いほど、引張強度は大きいことがわかった。しかし、合金量を多くすると鉄粉の圧縮性が低下するため、圧縮性を考慮して、実用の範囲でMoが1mass%でNiが1.5mass%の組成が適正と考える。

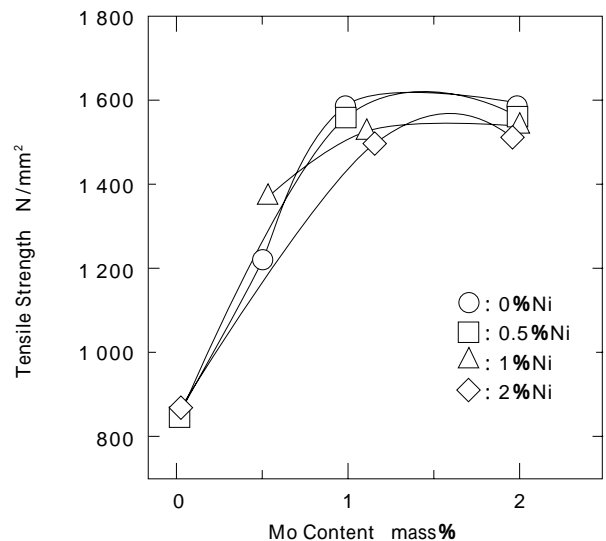
(2) 熱処理体強度

Mo量と熱処理体の引張強度の関係を第3図に示す。Moが1mass%までは引張強度は増加するが、それ以上となると引張強度の増加は認められない。Niによる高強度化はMoと比較して小さいことがわかる。以上より、最適組成として、Mo量を1mass%とし、焼結材料の靱性確保の点よりNiを0.5mass%とした。

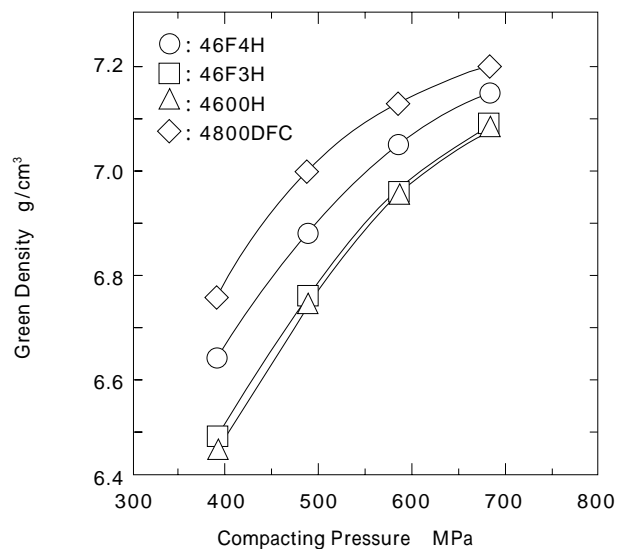
圧縮性、引張強度の結果をまとめると、焼結材用には1.5Ni-1Mo熱処理材用として0.5Ni-1Moの組成が良いと考える。

2. 高強度プレアロイ型鋼粉の特性

合金組成の最適化でえられた結果をもとに、新しく2種のプレアロイ型鋼粉を開発した。



第3図 Mo量と引張強度(熱処理体)の関係
Fig. 3 Change in tensile strength of heat-treated compacts as a function of Mo content



第4図 46F3Hと46F4Hの圧縮性
Fig. 4 Compressibility curves of 46F3H and 46F4H

第1表 46F3Hと46F4Hの化学組成

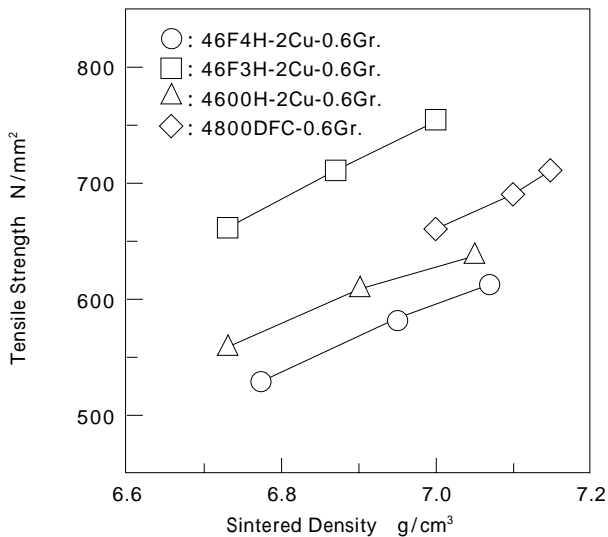
Table 1 Chemical compositions of 46F3H and 46F4H

Powder	Content mass%			Type
	Ni	Mo	Cu	
46F4H	0.5	1	—	Pre-alloyed
46F3H	1.5	1	—	
4600H	2	0.5	—	
4800DFC	4	0.5	1.5	Partially Alloyed

一つは化学組成が1.5Ni-1Moの「46F3H」である。もう一つは化学組成が0.5Ni-1Moの「46F4H」である(第1表)。ここではこれら2鋼種の機械的特性について述べる。なお、比較として、市販中の既存鋼粉の4600H(2Ni-0.5Moプレアロイ型鋼粉)と4800DFC(4Ni-1.5Cu-0.5Mo拡散型鋼粉)のデータも併せて示す。

2.1 圧縮性特性

それぞれ4種の鋼粉の圧縮性を第4図に示す。46F4Hでは成形圧力が490MPaで6.90g/cm³の成形体密度がえられる。46F4Hはプレアロイ型であるにもかかわらず、



第5図 焼結体引張強度
Fig. 5 Tensile strength of as-sintered compacts

拡散型鋼粉 4800DFC の圧縮性には及ばないものの当社純鉄粉 (300M) に近い圧縮性がえられる⁸⁾。46F3H は 4600H と同等の成形体密度を示す。

2.2 焼結体特性

46F4H、46F3H および 4600H のプレアロイ型鋼粉に、2mass%のCu粉、0.6mass%の黒鉛粉および0.75mass%のステアリン酸亜鉛を混合した。拡散型鋼粉 4800DFC には、0.6mass%の黒鉛粉および0.75mass%のステアリン酸亜鉛を混合した。混合後、成形圧力 490、588、686MPa の3水準で成形しアンモニア分解ガス中で1398K×1800sの焼結をした。引張試験はMPIF試験片でおこなった⁹⁾。

第5図に引張強度を示す。2mass%Cuを添加した46F3Hは、拡散型鋼粉4800DFCと比較して焼結体密度は低いですが、同じ引張強度をえることが確認された。2mass%Cu粉を添加したことによるマルテンサイト組織の析出により、引張強度が向上したと考えられる。また、1.2.2(1)項でえられた結果と同じく、Moを1mass%とした46F3Hは、4600H(Mo=0.5mass%)より強度が高い。

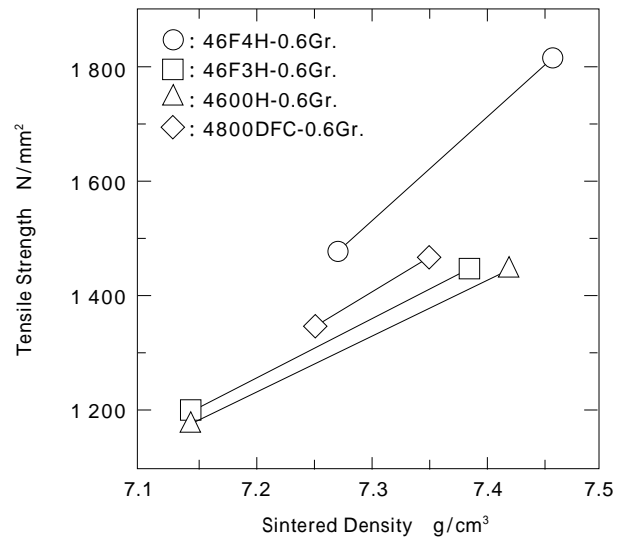
2.3 熱処理体特性 (光輝焼入焼戻し処理)

黒鉛粉を0.6mass%とし、2P2S法で密度が7.2~7.4g/cm³となるように試料を作製した。

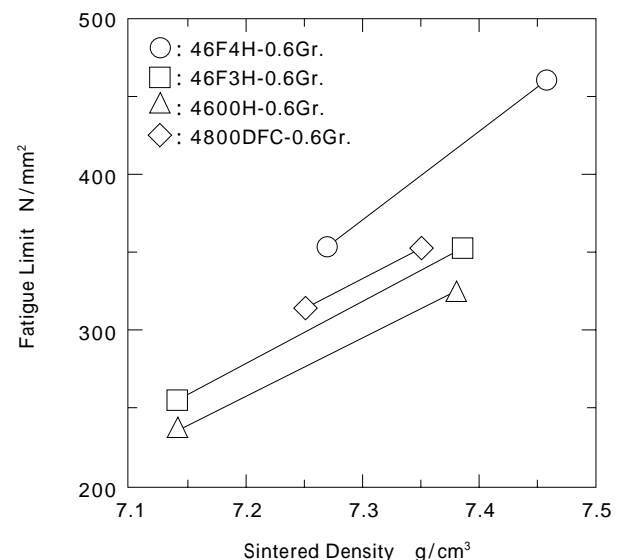
プレアロイ型鋼粉の3鋼種は490-686MPa、588-980MPaのそれぞれ2水準の成形圧力、再圧縮圧力で、拡散型鋼粉は1P1S法では686MPaの成形圧力、2P2S法では490-686MPaの成形圧力、再圧縮圧力で試料を作製した。焼結は4鋼種とも、1073Kのアンモニア分解ガス中で30minの予備焼結をおこない、その後1473K×1800sの真空焼結をおこなった。

焼結後、機械加工によりJIS14A号引張試験片(6mm)と小野式疲労試験片(8mm)を作製し、1123Kで30min保持後油焼入れし、473Kで焼戻し処理をおこなった。

第6図に引張強度、第7図に回転曲げ疲労強度を示す。46F4Hは密度7.46g/cm³で引張強度が1832N/mm²、



第6図 熱処理体引張強度
Fig. 6 Tensile strength of heat-treated compacts



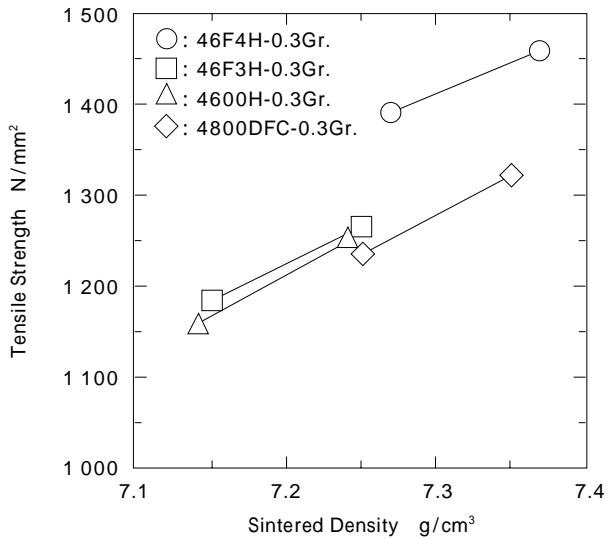
第7図 熱処理体疲労強度
Fig. 7 Fatigue limit of heat-treated compacts

回転曲げ疲労強度が460N/mm²をえており、拡散型鋼粉4800DFCより強度が優れることを確認することができた。

2.4 浸炭焼入焼戻し処理体

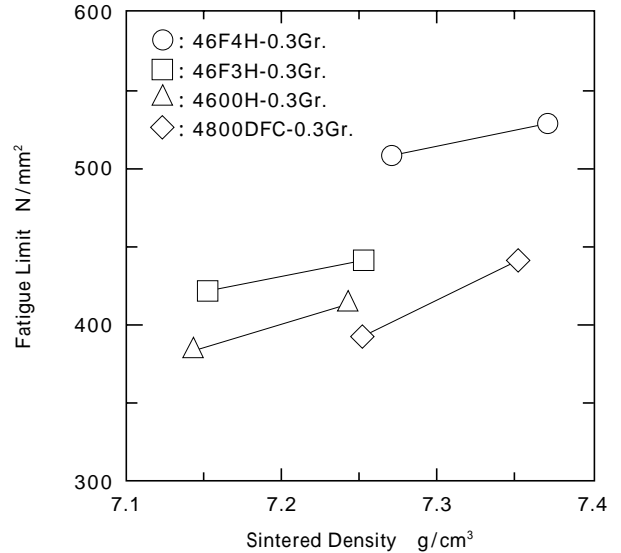
0.3mass%の黒鉛粉を添加して、浸炭焼入焼戻し材の試料を以下のようにして作製した。すなわち、プレアロイ型鋼粉の3鋼種は、成形圧力・再圧縮圧力を490-686MPa、および588-686MPaの2水準で試験片を成形した。拡散型鋼粉4800DFCは2.3節で述べた同じ条件の成形圧力とし、焼結は2.3節と同じ条件で実施した。焼結後、全浸炭深さが0.8~1.0mmとなるようにカーボンポテンシャル0.8%の浸炭雰囲気中で1193K×3hの浸炭処理をおこない、連続して1123Kで30min保持した後油焼入れした。焼戻しは473Kでおこなった。

第8図に引張強度、第9図に疲労強度を示す。46F4Hと46F3Hは、既存鋼粉4600および4800DFCとくらべ引張強度、回転曲げ疲労強度が高い。とくに、46F4Hでは密度が7.37g/cm³で疲労強度529N/mm²をえた。写真1に46F4Hおよび46F3Hの浸炭層の金属組織写真



第 8 図 浸炭材引張強度

Fig. 8 Tensile strength of case-hardened compacts



第 9 図 浸炭材疲労強度

Fig. 9 Fatigue limit of case-hardened compacts

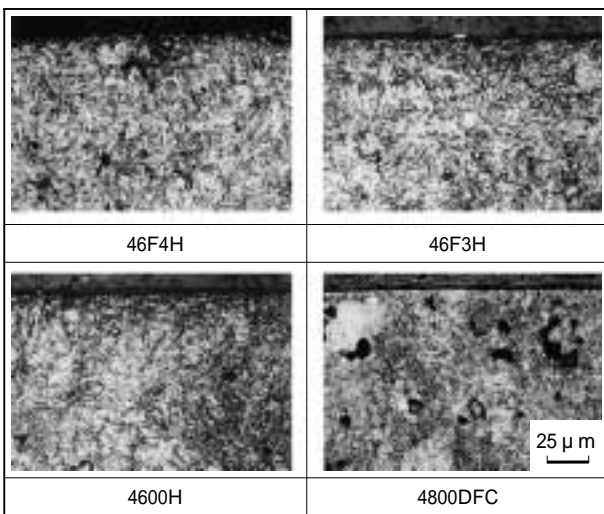


写真 1 浸炭材の金属組織

Photo.1 Microstructure of case-hardened compacts

を示す。拡散型鋼粉 4800DFC は残留オーステナイト相を析出するのに対し、46F4H および 46F3H は均一なマルテンサイト組織となっている。残留オーステナイトは Ni が多いと形成されやすく、とくに、炭素量が多い浸炭層表面に形成されやすい。したがって Ni 量を少なくした 46F4H、46F3H の熱処理材強度が高くなったものと考えられる。すなわち、合金の最適配合量を求めたことにより、従来えられなかった高い疲労強度の粉末冶金材料を開発することができた。

むすび= プレアロイ型鋼粉の化学組成の最適化をおこない、新たに、2 鋼種 (46F3H、46F4H) を開発した。それぞれの特性は次の通りである。

1) 46F3H (1.5Ni-1Mo) は 2mass%Cu 粉を添加することにより、4800DFC (4Ni-1.5Cu-0.5Mo) 拡散型鋼粉と同じ引張強度がえられることを確認した。

2) 46F4H (0.5Ni-1Mo) は熱処理特性に優れ回転曲げ疲労強度は、529N/mm² に到達する (浸炭焼き入れ焼戻し処理)。

参 考 文 献

- 1) 日本粉末冶金工業会: PM GUIDE BOOK89 焼結部品概要-PM PARTS- (1989), p.10.
- 2) David Whittaker et al.: Metal Powder Report, Vol.50, No.12, (1995), p.18.
- 3) 田端孝章: 粉体および粉末冶金, Vol.37, No.3, (1990) p.391.
- 4) M, Satoh et al.: ADVANCES in Powder Metallurgy, Vol.1, (1989), p.349.
- 5) M, Satoh et al.: ADVANCES in Powder Metallurgy, Vol.1, (1989), p.346.
- 6) 日本粉末冶金工業会: 焼結機械部品-その設計と製造, (1987), p.55, 技術書院.
- 7) 日本學術振興会製鋼第 19 委員会編: 鉄鋼と合金元素 (上) (1966), p.902, 誠文堂新光社.
- 8) 山上 徹: R&D 神戸製鋼技報, Vol.30, No.1, (1980) p.97.
- 9) MPIF (Metal Powder Industries Federation) s Standard, No.10, "Tension Test Specimens for Pressed and Sintered Metal Powders".