

(技術資料)

引張強さ600MPa級焼結材料「44FH30」

600MPa Tensile Strength Material As-sintered “44FH30”



吉田真規*
Masaki YOSHIDA



吉田智之*
Satoshi FURUTA



澤山哲也**
Tetsuya SAWAYAMA



佐藤正昭***
Masaaki SATO

A low pre-alloyed steel powder 44FH30 was developed as a high tensile strength as-sintered material in the 600MPa class. 44FH30 of 0.3wt%Mo has good compressibility equivalent to that of pure iron powder. 44FH30 exhibits a greater tensile strength than 600MPa and a high fatigue strength due to the precipitation of bainite at the boundary of the powder particles.

まえがき＝高強度焼結材料の原料鉄粉は、拡散型鋼粉とプレアロイ型鋼粉の2種類に大別される。代表的な拡散型鋼の品種として、4% Ni-1.5% Cu-0.5% Mo 拡散型鋼粉（以下、4Ni 拡散型という）がある。この4Ni 拡散型は、圧縮性に優れるため高密度化が容易である。また、焼結体でマルテンサイト組織が得られるため、引張強さ600MPa 級高強度部品用焼結材料の原料鉄粉として広く利用されている。しかし、4Ni 拡散型は Ni, Cu, Mo の合計で6wt%も高価な金属粉末を含有していることから、結果として材料コストが高くなるという問題がある。

プレアロイ型鋼粉は、合金源として安価な製鋼用合金鉄が使用できるため、低コスト化が可能である反面、合金元素が鉄のフェライト相に固溶して粉末が硬化する。このために圧縮性が低下し、高密度化が困難となる。さらに、焼結体ではマルテンサイト組織を得にくいいため、高強度焼結材料として用途が限定的である。

そこで当社は、高強度焼結材料の低コスト化を目的に、圧縮性が優れ、かつ、引張強さ600MPaを得るプレアロイ型鋼粉「アトメル® 44FH30」（以下、44FH30という）を開発した。44FH30は0.3wt%のMoを含有する。本稿では、44FH30の開発に際して調査したMo量の最適化（最少化）評価結果および44FH30の材料特性について報告する。

1. Mo量の最適化（最少化）

プレアロイ型鋼粉の強化元素として、合金化によるフェライトの硬化を小さくして¹⁾ 圧縮性の低下を抑え、フェライトが硬くなりやすく¹⁾、酸化性のエンドサーミックガスを用いた焼結雰囲気でも酸化することなく強度が低下しない特性をもつMoを選定した²⁾。

さらに、成形圧力588MPa、焼結条件1,393K×30minという標準的な方法で焼結体を作製し、引張強さ

600MPaを得るMo量を調査した。

1.1 実験方法

純鉄粉アトメル300M(0%Mo)を比較材とし、Mo量が0.1から1.5wt%のプレアロイ鋼粉(アンダーサイズ³⁾:250 μ m)6水準を準備した。これらの鉄粉に、強化材としてCu粉を2wt%、黒鉛粉を0.8wt%、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を0.75wt%混合し、588MPaの圧力で成形してMPIF規格No.10の引張試験片を作製した⁴⁾。さらに、ガス組成がN₂-10vol%H₂の雰囲気中で1,393K×30min[冷却速度(1,393~773K)17K/min]の条件で焼結を行った。

引張試験は、引張速度を2mm/minとして室温で実施した。引張試験破断片をナイトール(3vol%硝酸)で腐食し、光学顕微鏡によって金属組織を観察した。金属組織の比率(面積率)は以下の方法で求めた。

- ①撮影した金属組織写真を、フェライト組織、パーライト組織、マルテンサイト組織に区分けし、残りの金属部分をベイナイト組織とした。
- ②画像解析ソフトを用いてそれぞれの組織の面積を求め、比率を計算した。

1.2 引張強さと金属組織

焼結後の密度を測定した結果、7.00~7.08g/cm³と比較的小さい密度差のため、強度への影響を無視して以下の考察を行った。

図1にMo量と引張強さの関係を示す。Mo量が増えるに従って引張強さは増加し、600MPa以上の引張強さはMo量が0.2wt%以上で得られる。しかし、Mo量が0.2~0.85wt%の範囲ではMo量が増加しても、ほぼ同じ引張強さとなっている。0.85wt%以上にMo量が増加すると、再び引張強さは向上する。

図2に0.1, 0.2, 0.85, 1.5wt%Mo材の金属組織を示す。また、図3は0.2wt%Mo材および0.85wt%Mo材における金属組織の分布を示し、表1にMo量が異なる各種焼

*鉄鋼事業部門 鉄粉本部 鉄粉工場 **鉄鋼事業部門 鉄粉本部 ***(株)コベルコ科研

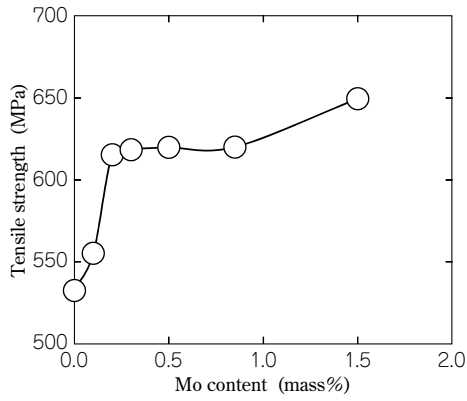


図1 Mo量と引張強さの関係

Fig. 1 Relationship between Mo content and tensile strength

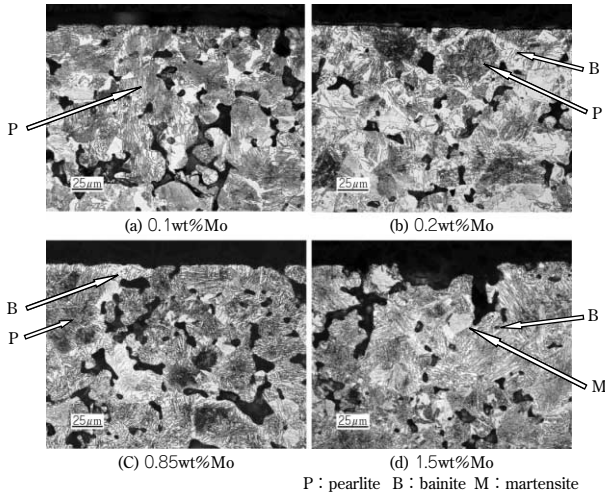


図2 光学顕微鏡組織

Fig. 2 Optical micrograph

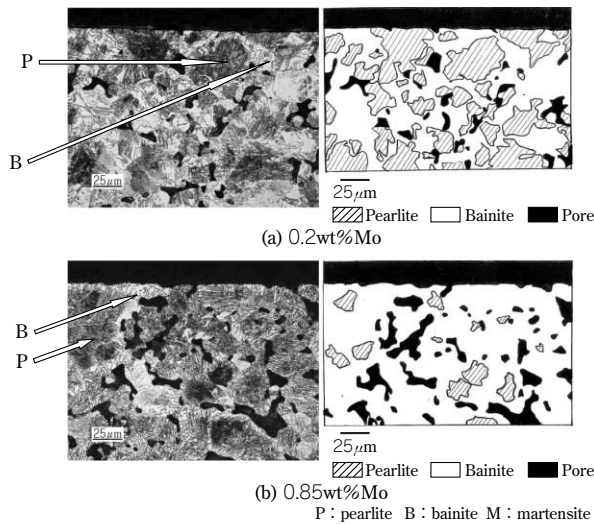


図3 金属組織のマップ

Fig. 3 Map of micro structures

結材料における金属組織の面積率を示す。さらに、図4は、Mo量とベイナイト量の関係を示す。0.1wt%Mo材の金属組織はフェライト+パーライト組織であるのに対し、0.2wt%Mo材では鉄粉粒子の表層部にベイナイト組織、中心部はパーライト組織のベイナイト+パーライト組織となっている。このことから、ベイナイト組織によって引張強さが向上したと考えられる⁵⁾。Mo量が増加するにしたがってベイナイト+パーライト組織中のベイ

表1 Mo プレアロイ焼結材料の金属組織の比率 (面積率)
Table 1 Area ratio of metal phase in Mo pre-alloyed sintered material

Mo (wt%)	Ferrite (%)	Pearlite (%)	Bainite (%)	Martensite (%)
0.1	21.0	79.0	0	0
0.2	0	50.0	50.0	0
0.3	0	21.9	78.1	0
0.5	0	20.6	79.4	0
0.85	0	9.6	90.4	0
1.5	0	0.0	91.8	8.2

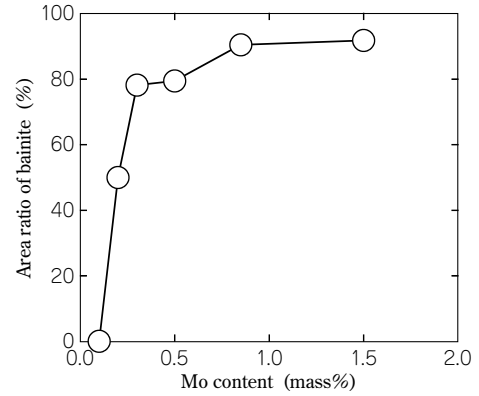


図4 Mo量とベイナイト量の関係

Fig. 4 Relationship between Mo content and area ratio of bainite

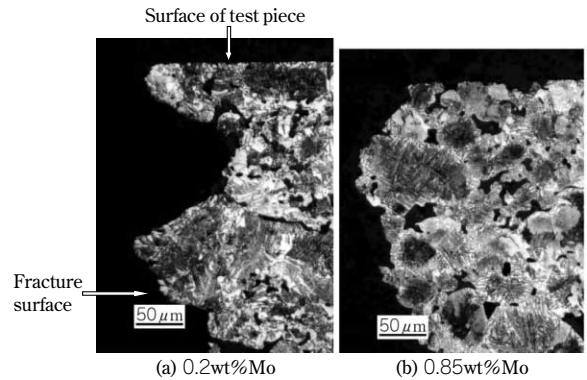


図5 破壊起点部近傍断面の金属組織写真

Fig. 5 Microstructures of cross-section of vicinity of crack start area

ナイト量は増加しており、Moが1.5wt%となるとマルテンサイトが出現している。

1.3 考察

0.2~0.85wt%Moの範囲で引張強さがほぼ同じ値である原因について考察した。0.2wt%Mo材および0.85wt%Mo材の引張試験片破面を観察した結果、焼結体の表面部から破壊していることを確認した。

この破壊起点近傍部で引張試験片を縦割りし、金属組織を観察した。図5は破壊起点部の金属組織を示す。0.2wt%Moおよび0.85wt%Moのいずれも粉末粒子表層部に形成されたベイナイト組織である。

図6にEPMA分析したCu元素の分布を示す。通常、焼結工程でCuは鉄粉粒子表面から拡散して鉄と合金化していくが、本調査の焼結条件では鉄粉粒子の中心部まで拡散せず、鉄粉粒子表面部つまり粉末粒子境界部のCu濃度が高くなっている。Cu元素の焼入れ性の効果により、粉末粒子境界部はベイナイト組織となる^{6), 7)}。破壊起点部の観察からベイナイト組織の強度が引張強度を

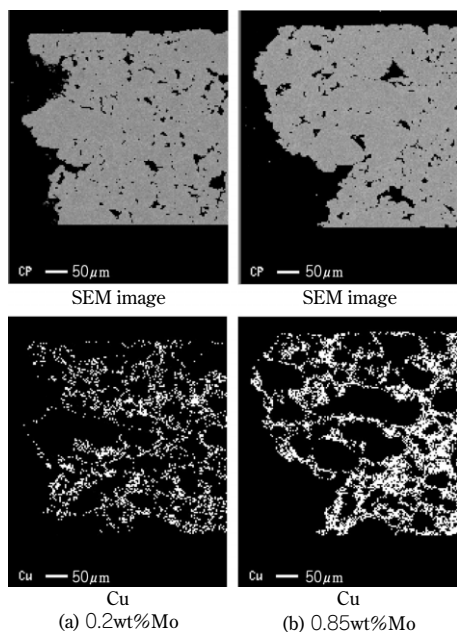


図6 Cu元素の分布
Fig. 6 Mapping of Cu element

決定していると考えられることから、0.2wt%Mo材および0.85wt%材の引張強さは同等となると考えられる。

以上の知見に基づき、さらに品質の安定性およびコストに配慮すると0.3wt%Mo材が最適と考える。

2. アトメル 44FH30 の特性

最適化で得られた結果を基に開発した0.3wt%Moプレアロイ型鋼粉「アトメル 44FH30」の主要化学成分および粉体特性を表2に示す。

44FH30は、以下の三つの特徴がある。

- ① 合金量が少ない低コストプレアロイ型鋼粉である。
- ② 圧縮性が良く、密度が高い焼結材料を得られる。
- ③ 600MPaの引張強さが得られる高強度・高疲労強度材料特性である。

本章では、44FH30の圧縮性および焼結体特性について述べる。なお、4Ni拡散型(4%Ni-1.5%Cu-0.5%Mo)を比較材とした。

2.1 評価方法

2.1.1 圧縮性

44FH30、4Ni拡散型および純鉄粉「アトメル 300M」にそれぞれステアリン酸亜鉛を0.75wt%混合後、490、588、686MPaの圧力で成形し、得られた成形体の密度を測定した。

2.1.2 焼結体特性

表3に示す材料配合で混合粉を作製した。これらの混合粉を490、588、686MPaの圧力で、MPIF規格No.10の引張試験片およびシャルピー衝撃試験片(10×10×55mm)を成形した。また、焼結は1章と同じ条件で実施した。

疲労試験片は、588MPaおよび686MPaの圧力で成形体を作製し、焼結後、切削加工によってJIS1号(φ8mm)の回転曲げ疲労試験片の形状とした。

シャルピー衝撃試験は常温で実施した。また硬さは、焼結体表面をHRBスケールにて測定した。

表2 44FH30の化学組成と粉体特性

Table 2 Chemical composition and powder properties of 44FH30

Chemical composition (%)			Apparent density (g/cm ³)	Flow rate (s/50g)
Mn	Mo	O		
0.15	0.3	0.10 ~ 0.15	3.00	22.5

表3 混合粉の配合

Table 3 Composition of mixed powders

Mark	Steel powder	Cu (%)	Graphite (%)	Zinc stearate (%)
44FH30-2Cu	44FH30	2.0	0.8	0.75
44FH30-3Cu	44FH30	3.0	0.8	0.75
4Ni	4Ni-1.5Cu-0.5Mo	—	0.6	0.75

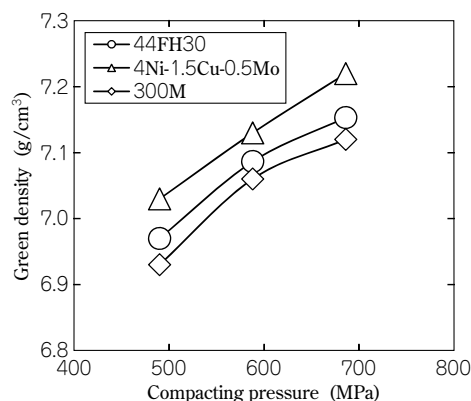


図7 44FH30の圧縮性

Fig. 7 Compressibility of 44FH30

さらに、回転曲げ疲労試験片における破壊起点近傍部の金属組織を観察した。まず、疲労破面を観察して起点部を特定した後、試験片を縦に切断した。その断面をナイタル(3vol%硝酸)で腐食させ、光学顕微鏡を用いて金属組織を観察した。

2.2 評価結果

2.2.1 圧縮性

成形圧力に対する成形体密度を図7に示す。成形体密度は4Ni拡散型が一番高く、圧縮性が良いことを示唆している。純度が高い純鉄粉を原材料とする4Ni拡散型は、Ni粉などの拡散処理による焼鈍効果を受けることによって良好な圧縮性を有する。44FH30は、4Ni拡散型には及ばないものの300Mと同等の成形体密度を得、圧縮性が良好である。

合金化によって鉄が硬くなるため、鉄粉の圧縮性は低下するのが一般的である。しかしながら44FH30は、鉄粉製造工程の一つである還元工程において焼鈍効果を強化したことによって圧縮性が高く、焼結材料の高密度化が可能となった。

2.2.2 焼結体特性

44FH30の引張強さ、シャルピー衝撃値、硬さ、および回転曲げ疲労強さをそれぞれ図8~図11に示す。44FH30-2%Cu材は、588MPa成形で引張強さ614MPaを得た。また、44FH30-3%Cu材は、少ない合金量で4Ni拡散型と同等の引張強さが得られた。

一方、44FH30のシャルピー衝撃値や硬さは、4Ni拡散型と比較して低い。したがって、切削加工時の工具の長寿命化が期待される。

44FH30-2Cu 材および 44FH30-3Cu 材の回転曲げ疲労強さは 4Ni 拡散型より高い。なかでも 44FH30-2Cu 材は、4Ni 拡散型よりも引張強さが低いにもかかわらず高い疲労強さを有しており、疲れ限度比が高い。疲労破面を観察した結果、三つの材料いずれも試験片表面から破壊していることを確認した。破面を縦に切断した断面での破壊起点部近傍の金属組織写真を図12に示す。三材料とも粉末粒子境界部で破壊している。44FH30の粉末粒子境界部はベイナイト組織を呈する一方、4Ni 拡散型の粉末粒子境界部には、強度が低い残留オーステナイトが析出している。44FH30の高疲労強度特性は、粉末粒子境界部が高強度のベイナイト組織となることで得られていることがわかった。

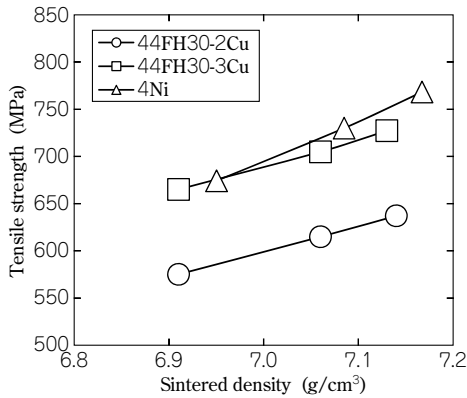


図8 44FH30の引張強さ
Fig. 8 Tensile strength of 44FH30

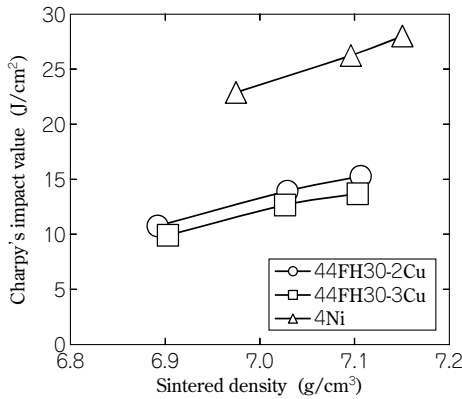


図9 44FH30の衝撃値
Fig. 9 Impact Value of 44FH30

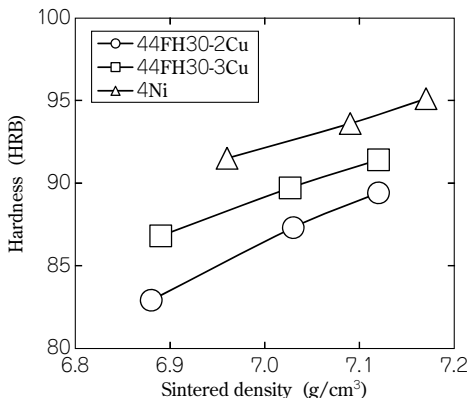


図10 44FH30の硬さ
Fig.10 Hardness of 44FH30

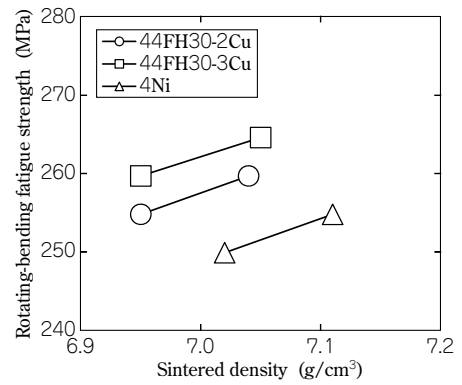


図11 44FH30の回転曲げ疲労強さ
Fig.11 Fatigue strength of 44FH30

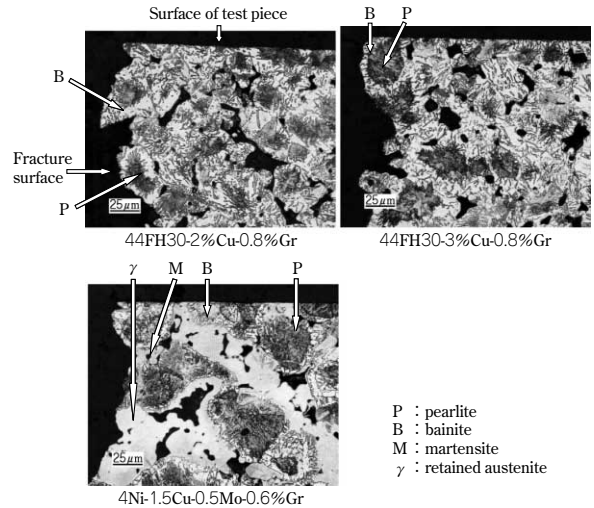


図12 破壊起点部近傍断面の金属組織写真
Fig.12 Microstructures of cross-section of vicinity of crack start area

むすび=焼結材料の低コスト化を目的に、引張強さ 600MPa 級 0.3wt%Mo プレアロイ型銅粉「44FH30」を開発した。44FH30の主な特性をまとめると以下のようになる。

- ①純鉄粉と同等の圧縮性をもつ高圧縮性プレアロイ型銅粉である。
- ②粉末粒子境界部のベイナイト組織の強度が引張強度を決定し、少ない Mo 量でも引張強さを得る。
- ③0.3wt%の少ない Mo 量で 600MPa の引張強さを有する高強度銅粉である。また、疲労特性も優れている。

参考文献

- 1) 日本学術振興会製鋼第 19 委員会編：鉄鋼と合金元素 (上), (1966), p.902, 誠文堂新光社.
- 2) 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.
- 3) 粉体冶金協会編：粉体粉末冶金用語事典, (2001), p.23, 日刊工業新聞社.
- 4) MPIF (Metal Powder Industries Federation)'s Standard, No.10, "Tension Test Specimens for Pressed and Sintered Metal Powders".
- 5) 矢島悦次郎ほか：若い技術者のための機械・金属材料, (1979), p.137, 丸善株式会社.
- 6) 榛葉久吉ほか：改訂増補粉末冶金学・標準金属工学講座 6, (1978), p.234, コロナ社.
- 7) 金属熱処理技術便覧編集委員会編：金属熱処理技術便覧 (増補改訂版), (1965), p.75, 日刊工業新聞社.