

(技術資料)

シタハードニング用合金鋼粉「94FDH」

94FDH Sinter Hardening Alloyed Steel Powder



鈴木浩則*
Hirinori Suzuki



佐藤正昭**
Masaaki Sato



関 義和***
Yoshikazu Seki

The powder metal industry has seen a continued demand for acceptable low alloy ferrous powders for high performance P/M part production. Sinter hardening is a process utilizing accelerated cooling rates and its major advantage is the reduction of manufacturing costs by eliminating secondary operations such as case hardening or heat treatment. Research has show that a newly developed Ni-Mo-Mn-Cr pre-alloyed steel powder, called 94FDH, shows excellent sinter hardening properties. It is expected to become a substitute for heat treatment materials.

まえがき = 自動車の軽量・高機能化に伴い、鉄系焼結部品においてはますます高強度化の要求が高まっている。機械的特性を改善するためには、焼入焼戻処理などの熱処理を施すのが一般的となっているが、近年欧米をはじめとした諸国では、焼結後そのまま急速冷却する、いわゆるシタハードニング法による部品製造が検討されている。本稿では、シタハードニングの概要と、シタハードニング用に開発した新成分系プレアロイ粉「94FDH」の温間成形や、高温焼結と組合わせた場合の機械的特性を紹介する。

1. シタハードニングの概要

シタハードニングは、図1に示すように焼結炉の冷却帯において急速冷却し機械的特性を向上させる製造方法をいう。熱処理を省略できるため、部品製造コストの

低減、生産性向上、焼入時の部品内歪低減に寄与できるほか、焼入油を使用しないため環境面の改善も期待できる。

2. シタハードニング用合金粉 94FDH の特性

これまで、当社では Ni-Mo 系のプレアロイ型合金粉を商品化しているが¹⁾、さらに十分な焼入性が得られるように、新たにシタハードニング用合金鋼粉の開発を行った。合金粉の試作においては小型のアトマイズ装置を活用し、合金成分の焼入性(図2)と還元難易性(図3)をもとに成分調整し材料設計を行った。焼入性が高いとシタハードニングにおいて優れた機械的特性が得られるが、還元難易性が高いとアトマイズで生成される鉄粉表面の酸化被膜の除去工程や焼結部品の焼結工程において満足のいく特性が得られない。新たに開発した 94FDH

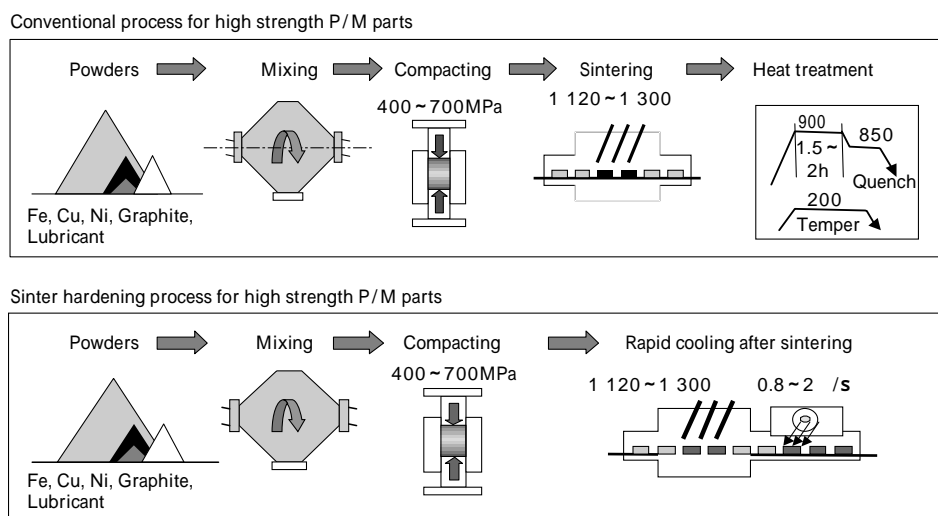


図1 従来の高強度部品の製造法とシタハードニングによる製造法の違い

Fig. 1 Comparison of conventional process and sinter hardening process for high strength P/M parts

* Kobelco Metal Powder of America, Inc. ** 鉄鋼部門 鉄粉本部 鉄粉工場 *** 関コベルコ科研

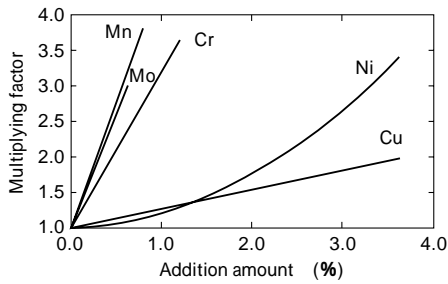


図2 各合金元素の添加量と焼入倍数

Fig. 2 Hardenability factors of each alloying elements

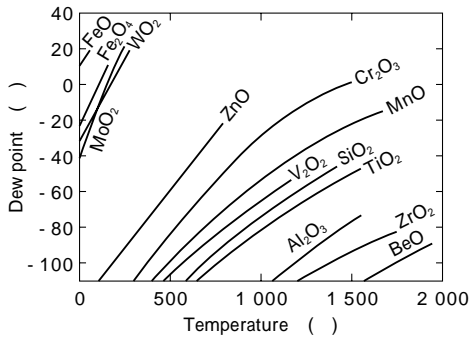


図3 水素中における金属酸化物の還元温度と露点の関係

Fig. 3 Relation between reduction temperature and dew point in hydrogen atmosphere

表1 シンタハードニング用合金鋼粉「94FDH」の化学成分と焼入性

Table 1 Chemical composition of sinter hardening grade 94FDH and hardenability

Powder grade	Ni (%)	Mo (%)	Mn (%)	Cr (%)	Hardenability factor
94FDH	1.6	1.0	0.35	0.25	22.9

$$\text{Hardenability factor } F = f_{\text{Ni}} \cdot f_{\text{Mo}} \cdot f_{\text{Mn}} \cdot f_{\text{Cr}}$$

f = Hardenability of individual alloying elements

は、従来の Ni, Mo に加え Mn と Cr を添加し、焼入性と還元難易性の均衡を最適化した合金鋼粉である(表1)²⁾。

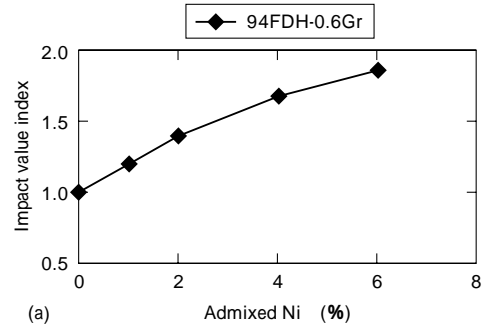
鉄系焼結部品の場合、機械的特性を改善するため、カーボン源としての黒鉛粉を加えるほか、必要に応じ Ni 粉や Cu 粉などを鉄粉に混合添加するのが一般的である。94FDH においても、これらの添加は焼入性改善に効果的である。本稿では、94FDH に Ni 粉と黒鉛粉を配合した場合の特性を紹介する。

2.1 Ni 粉の添加量の影響

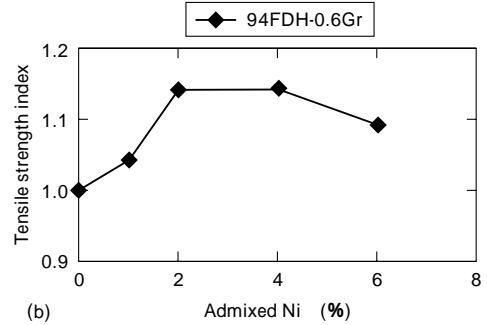
94FDH に重量比(以下同じ)で 0.6% の黒鉛粉と添加量を変えて Ni 粉を混合し、490MPa の成形圧力で成形、1250 の窒素雰囲気中で 30 分間焼結したあと、0.8 /s の冷却速度で急速冷却して機械的特性を調査した。その結果、図 4 (a) のように Ni 粉の添加により衝撃値指標は添加量に依存して改善するものの、図 4 (b) のように引張強さ指標は 2% 添加でほぼ最大となる。これは Ni 粉の過剰添加により、急速冷却したあと Ni リッチのオーステナイト相を形成して機械的特性が低下するためであり、Ni 粉の添加量は引張強さを重視した場合 2% が適量と考えられる。

2.2 黒鉛粉の添加量と冷却速度の影響

94FDH-2%Ni 粉配合の条件で、機械的特性に及ぼす黒鉛粉の添加量と冷却速度の影響を調査した。配合は、94FDH-2%Ni 粉(0.5~0.8)%黒鉛粉+0.75%潤滑剤とし、686 MPa で成形したのち 1250 の窒素雰囲気中で 30 分



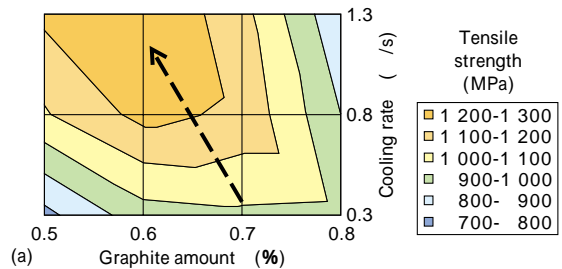
(a)



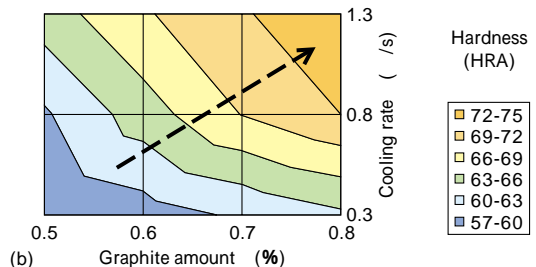
(b)

図4 94FDH に添加する Ni 粉の添加量と衝撃値(a), 引張強さ(b)との関係

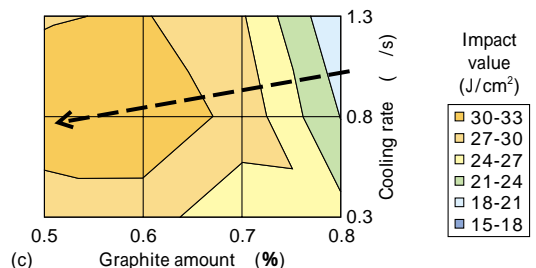
Fig. 4 Relation between admixed Ni powder with 94FDH and impact value (a) and tensile strength (b)



(a)



(b)



(c)

図5 94FDH-2%Ni 配合における機械的特性に及ぼす Gr 添加量と冷却速度の影響

Fig. 5 Effect of cooling rate and graphite amount of 94FDH-2%Ni on mechanical properties

間焼結、その後 0.3~1.3 /s の冷却速度で冷却して機械的特性を評価した。一般的なメッシュベルト焼結での冷却速度は 0.3 /s 前後である。図 5 に、横軸に黒鉛粉の添加量、縦軸に冷却速度の各機械的特性の等高線グラフを示す。引張強さ(a)は、冷却速度が速いほど高く黒鉛量は 0.5~0.7% が最適であることがわかる。また、硬さ

(b)は冷却速度が速く黒鉛量が多いほど高くなり、逆に衝撃値(c)は冷却速度の影響は受けにくく黒鉛量が低いほど高いことがわかる。

2.3 連続冷却曲線

(Continuous Cooling Transformation 線図)

図6に94FDH-2%Ni-0.55%C(0.6%黒鉛粉配合)における連続冷却(CCT)曲線を示す。冷却速度が0.8 /s以上の条件では全面マルテンサイト組織となり、臨界冷却速度は0.8 /sであることを示す。また、冷却速度と組織、硬さの関係(図7)から、硬さは冷却速度の増加によるマルテンサイト比率の増加とともに上昇する。

2.4 温間成形、焼結温度の影響

94FDH-2%Ni-0.6%黒鉛粉を基本配合として、粉末を120 に加熱して成形する温間成形⁴⁾や、高温焼結との組み合わせにより機械的特性がどのように改善するか調査した。

図8に、上記配合に室温成形用としてワックス系潤滑剤を0.75%配合した粉末と温間成形用として特殊耐熱ワックス系潤滑剤を0.6%配合した粉末を、686 MPaの成形圧力で室温または120 で成形したあと、1120 と1250 の2水準で焼結し、通常冷却(0.3 /s)と急速冷却(0.8 /s)の2水準で冷却した場合の密度と機械的特性を示す。

温間成形により、成形密度は通常の室温成形に比べて同一成形圧条件で約0.15g/cm³向上する。また、シタハードニング後の焼結体密度は、Ni添加による収縮効果で成形体密度より若干高い値を示す(a)。

引張強さ(b)は、温間成形の密度向上と急速冷却に

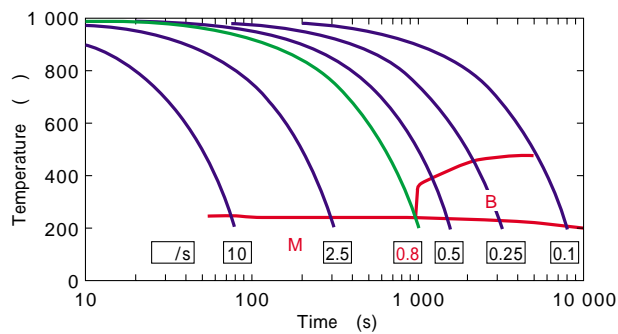


図6 94FDH-2%Ni-0.55%CのCCT曲線

Fig. 6 Continuous cooling diagram (CCT) of 94FDH-2%Ni-0.55%C

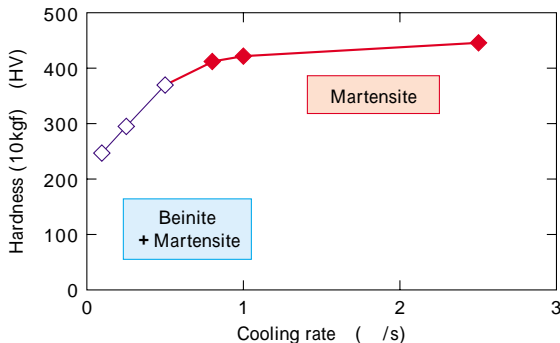


図7 94FDH-2%Ni-0.6%Gr配合における冷却速度と硬さ、組織の関係

Fig. 7 Relation between cooling rate and hardness with microstructure for 94FDH-2%Ni-0.6%Gr

より大きく改善する。温間成形と高温焼結、シタハードニングを組み合わせると約1500MPaの引張強さが得られる。参考までに、2%Ni-0.5%Moの4600(密度7.0g/cm³)を従来の熱処理(850 × 60分油焼入 200 × 60分焼戻)した場合の特性を図の外に記載しているが、熱処理材の引張強さレベルである1100 MPaを大きく上回ることがわかる。

衝撃値(c)は、冷却速度や密度によっても改善するものの、焼結温度の影響が顕著であることを示す。これは焼結温度の上昇でNiの拡散が進行するためであり、いずれの条件でも熱処理材のレベルに到達する。一方、硬さ(d)は冷却速度の影響が非常に大きく、熱処理材なみの硬さを確保するためにはシタハードニング法で0.8 /s以上の冷却速度とすれば良いことがわかる。

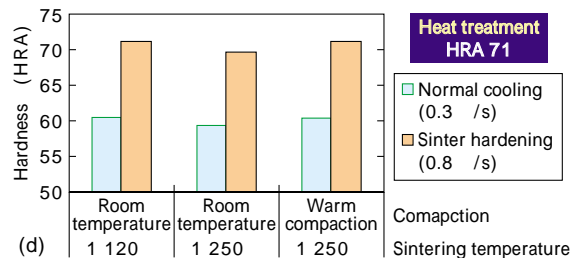
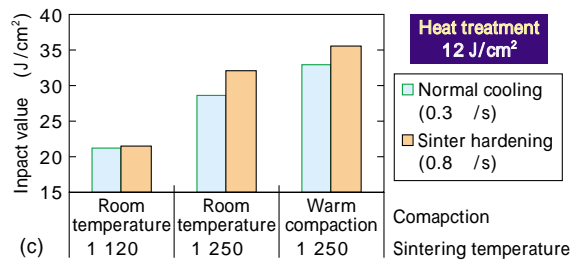
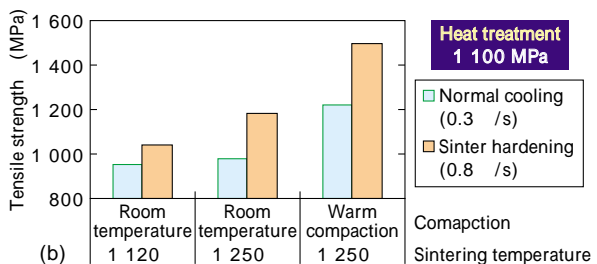
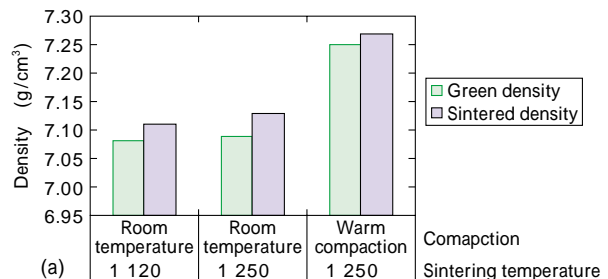


図8 94FDH-2%Ni-0.6%Grのシタハードニング特性(温間成形、焼結温度の影響)

Fig. 8 Sinter hardening properties of 94FDH-2%Ni-0.6%Gr (effect of warm compaction and sintering temperature)

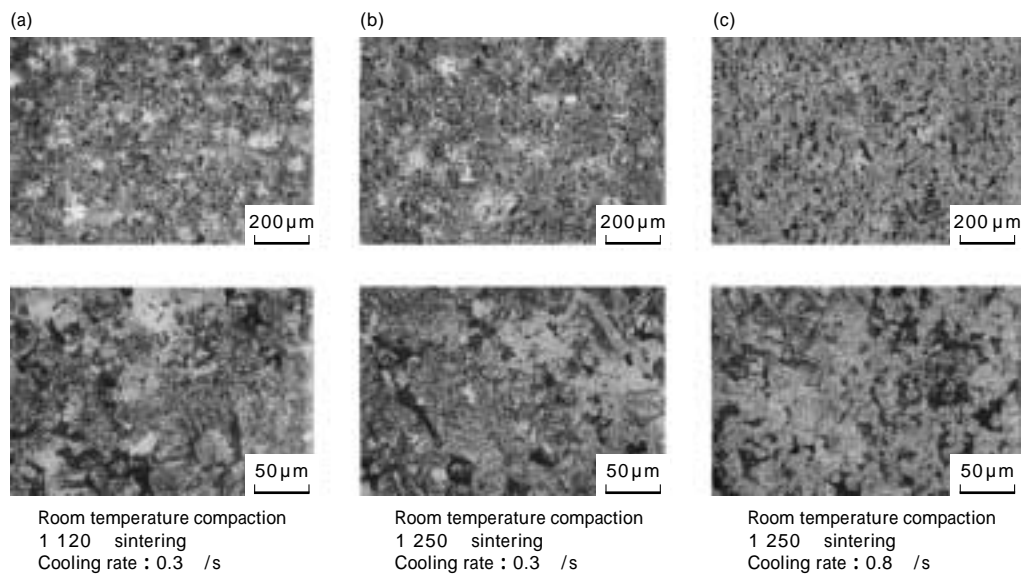


図9 焼結温度，冷却速度を変えて焼結した場合の金属組織

Fig. 9 Microstructures of sintered compacts with different sintering temperature and cooling rate

図9に成形温度，冷却速度を変えた場合の焼結体金属組織を示す。通常焼結温度と通常冷却の条件(a)に比べて，焼結温度が高い条件(b)では白色のNiリッチオーステナイト相が少なくNiの拡散が促進されていることがわかる。また，急速冷却の条件(c)ではほぼ全面マルテンサイト組織となっていることがわかる。

むすび=シタハードニング用合金鋼粉94FDHを温間成形と高温焼結を組合せた場合，引張強さは1500MPaとなり，熱処理材の特性を超える値が得られた。また，靱性には焼結温度の影響が，硬さには冷却速度の影響がそれぞれ特に顕著であることがわかり，要求特性に

応じて製造プロセスを選定する必要がある。今後，熱処理代替による高強度焼結部品の製造コスト低減や，新たな焼結部品の適用拡大に貢献するものと期待する。

参考文献

- 1) H. Suzuki et al. : Proceeding of 2000 Powder Metallurgy World Congress, (2000) Part 5, p.125.
- 2) H. Suzuki et al. : Proceeding of 2002 Powder Metallurgy World Congress, (2002) Part 13, p.83.
- 3) H. Suzuki et al. : Proceeding of 2003 PM2TEC International Conference on Powder Metallurgy & Particulate Materials, (2003) Part 5, p.136.
- 4) 鈴木浩則ほか：粉体粉末冶金協会秋季講演大会概要集，(2001) p.210.