

(技術資料)

温間成形用粉末「KHD・セグレス」の特性

Properties of “KHD-Segless” Warm Compaction Steel Powder



鈴木浩則*
Hironori Suzuki



関 義和*
Yoshikazu Seki



藤沢和久**
Kazuhisa Fujisawa

Kobe Steel has developed a warm compaction steel powder for high performance P/M part production. Known as KHD-Segless, it exhibits stable powder characteristic, up to 200 degrees C through the use of a special organic lubricant and binding agent (which has a relatively high melting point). The KHD-Segless material has excellent mechanical properties due to its higher density, finer, more consistent porosity. The material also reduces part-to-part weight variation due to enhanced flowability. These improvements in mechanical properties and powder characteristics make the KHD-Segless material a viable candidate for high strength, high performance P/M production.

まえがき = 金属粉末を圧縮成形し焼結する粉末冶金法による焼結部品は、複雑形状のニアネットシェイプや合金設計の容易性などの利点を生かし、自動車用をはじめ広く適用されている。また、自動車エンジンの高性能化、軽量化に伴い、近年焼結部品の高強度化のニーズが高まっている。焼結部品の高強度化は、高密度化が有効な手段の一つであり、粉末を加熱しながら成形する温間成形法は、高密度化を目的とした焼結部品の製造方法である。

当社では、温間成形に適した高融点バインダと潤滑剤を新規に開発し、温間成形粉末（KHD・セグレス：Kobe High Dense SEGLESS）の商品化に国内で初めて成功した。本稿では、当社プレアロイ粉を使用したKHD・セグレスの温間粉末特性の安定性と、焼結後の機械的特性の改善効果、成形体の重量バラツキ低減効果について紹介する¹⁾。

1. 高密度化プロセスと温間成形法

これまで焼結部品の高密度化手段として、焼結後熱間鍛造する粉末鍛造（P/F）法や、成形と焼結を繰返す2回成形2回焼結（2P2S）法などが採用されている。図1に、温間成形と他の製法において、通常製法（P/M）を基準とした焼結部品の製造コストと、得られる相対密度を示す。P/Fや2P2Sは、温間成形に比較して密度増加は大きいものの製造コストの増加も顕著であるのに対し、温間成形は比較的製造コストの増加を抑えながら密度向上が達成できる。

温間成形は、一般に100～150の温度に粉末と金型を加熱して成形する方法であり、成形温度と密度向上は鉄の降伏応力で説明できる。図2に、各温度域での鉄焼結体の降伏応力を示す。純鉄系と合金系のいずれも温度の上昇とともに降伏応力の低下、すなわち圧縮性の向上

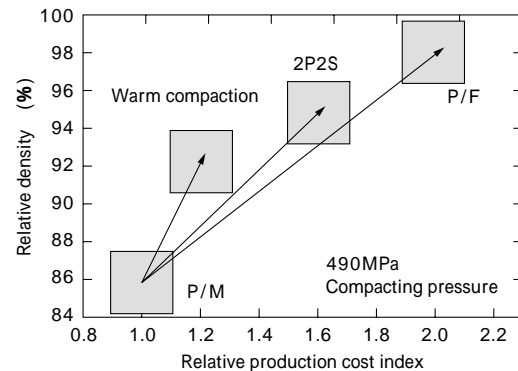


図1 高密度化プロセスと製造コスト
Fig. 1 High density processes and their production cost

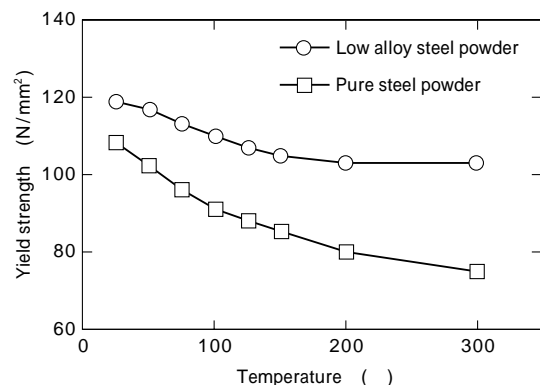


図2 鉄焼結体の降伏応力
Fig. 2 Yield strength of low alloy steel powder and pure steel powder

が見られ、鉄粉の種類を選ばずに温間成形が適用できる。

2. 温間成形粉末「KHD・セグレス」の開発

KHD・セグレスは、ベースとなる鉄粉、バインダ、潤滑剤の3つの開発要素を含む。図3に、KHD・セグレスの概念図を示す。新たに開発した耐熱性バインダを使用す

*鉄鋼部門・鉄粉本部・鉄粉工場 **技術開発本部・化学環境研究所

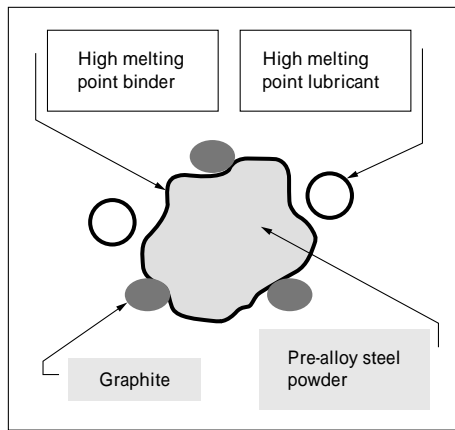


図3 KHD・セグレスの概念図
Fig. 3 Schematic diagram of KHD・Segless

ることで鉄粉表面に黒鉛粉を付着させ、温間成形温度域においても黒鉛粉の偏析防止と発塵抑制が可能となった。

潤滑剤は主に金型と成形体との摩擦低減を目的に添加され、常温成形にはステアリン酸亜鉛（融点 126 ）やエチレンビスアミド（融点 147 ）が使用されている。潤滑剤は、成分や粒子径などによって鉄粉混合物の流れ性や潤滑性など重要な特性に影響を及ぼすほか、焼結体表面性状まで影響することが知られている。今回、耐熱性を持たせる以外に、従来の潤滑剤の優れた特性を維持または改善することを目的として温間成形用の高融点潤滑剤を開発した。

鉄粉は、純鉄型、合金元素を溶鋼段階で予合金させたプレアロイ型、合金元素を粉末で純鉄粉に拡散結合させた拡散型の3種類に大別される。プレアロイ型のもつ均一組織で安定した機械的特性が得られる長所をもちながら、合金の固溶硬化による圧縮性の低下を温間成形で補うことで、これまでにはない高強度焼結部品の設計が可能となった。

3. 実験方法

図4に実験手順を示す。本実験用供試粉のKHD・セグレスは表1記載のプレアロイ型鉄粉46F4H²⁾をベースとし、鉄粉表面に平均粒径約3 μ mの黒鉛粉を温間成形用バイндаで均一に付着させ、その後温間成形用潤滑剤を0.5%混合して作製した。

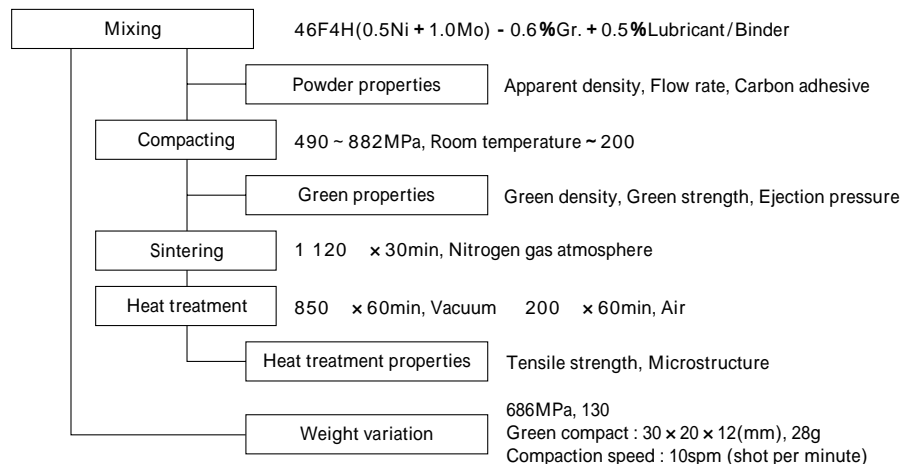


図4 実験手順
Fig. 4 Experimental procedure

温間の粉体特性として混合粉末を100 ~ 200 で30分間加熱保持し、所定の温度域で見掛密度と流動度を測定した。またセグレスの黒鉛偏析防止機能として、鉄粉の表面に付着している黒鉛粉の量を、図5の気流法³⁾⁴⁾で飛散する黒鉛粉を測定して求めた。

また、成形体密度や成形体強度、抜きし圧力など圧粉体特性に及ぼす成形温度と成形圧力の影響と、各成形条件での熱処理体の機械的特性についても測定した。最後に、KHD-セグレスと通常プレミックスの温間連続成形での成形体の重量バラツキについても調査した。

4. 実験結果と考察

4.1 粉体特性

図6に、保持温度と見掛密度の関係を示す。エチレンビスアミドを使用した比較粉は100 を超えると急激に見掛密度の低下が見られるのに対し、KHD-セグレスは200 まで安定している。この見掛密度の安定性は、温度変動による金型への充填量の変動を小さくし、部品ごとの重量バラツキが小さい焼結部品の製造が可能とな

表1 46F4Hの化学成分と粉体特性
Table 1 Chemical composition and powder properties of 46F4H

Chemical composition (%)					Apparent density (g/cm ³)	Flow rate (s/50g)
C	Mn	Ni	Mo	O		
0.001	0.2	0.5	1.0	0.06	3.0	20.5

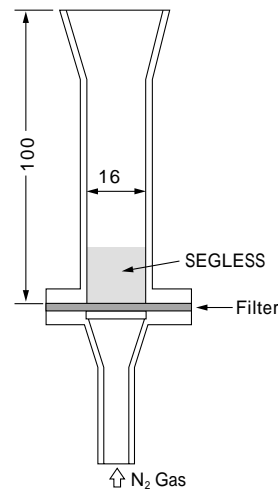


図5 気流法によるカーボン付着測定装置
Fig. 5 Carbon adhesive measurement equipment

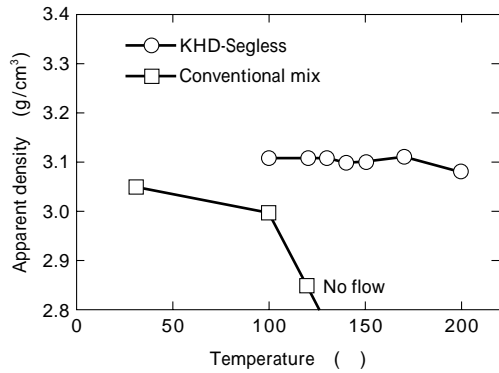


図6 見掛密度に及ぼす測定温度の影響
Fig. 6 Effect of temperature on apparent density

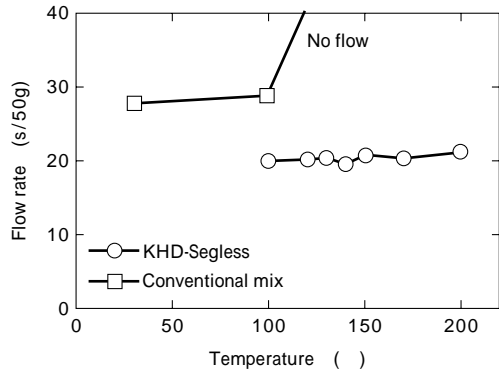


図7 流動度に及ぼす測定温度の影響
Fig. 7 Effect of temperature on flow rate

る。

図7に流動度への影響を示す。見掛密度と同様200まで安定している。粉体の流れ性はプレスホッパからの排出性、金型への充填性や成形速度などに大きく影響し、安定した流れ性は実体部品の製造において品質上や生産性の面から好ましい。

また黒鉛粉の偏析防止効果の指標となる黒鉛粉の付着率は、一般には黒鉛粉の粒子サイズや配合量によるが、本実験供試粉の黒鉛粉の付着率は98%とほぼ全量付着していることが確認された。

4.2 圧粉体特性

図8に成形温度、成形圧力を変えた場合の成形体密度を示す。温間成形により密度は 0.2 g/cm^3 程度向上し、特に882MPa成形圧力、200°C成形温度の条件下では、各添加剤の真密度から計算すると約99%の相対密度まで達することがわかった。

図9に抗折試験による成形体強度を示す。成形圧力による強度向上に比べて成形温度による強度向上が顕著である。これは使用する潤滑剤が温間成形温度域において、鉄粉間で微小結合作用が働いているためと考えられ、成形体強度の向上は、成形体クラックの減少や成形体加工の現実性を可能とする。

図10に成形体側面面積当たりの抜出し力を示す。一般的な温間成形温度域である100~130°C付近で抜出し力が小さくなっている。これは成形体を抜出す際、潤滑剤が半溶融状態であると良好な潤滑性を発揮することに着目し、異なった融点をもつ潤滑剤の配合比率と粒子径を温間成形用に調整しているためである。

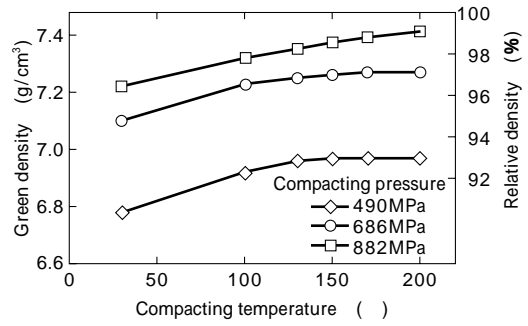


図8 各成形圧力における成形温度と成形体密度の関係
Fig. 8 Relation between compacting temperature and green density for different compacting pressure

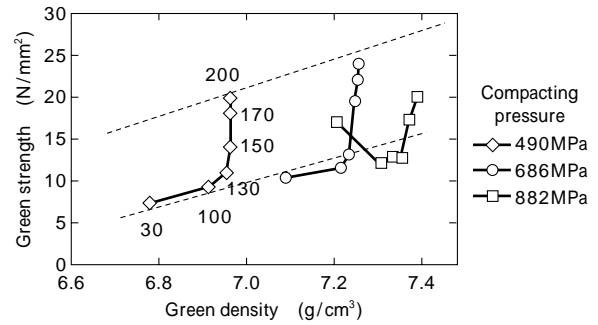


図9 成形体強度に及ぼす成形圧力と成形温度の影響
Fig. 9 Effect of compacting pressure and compacting temperature on green strength

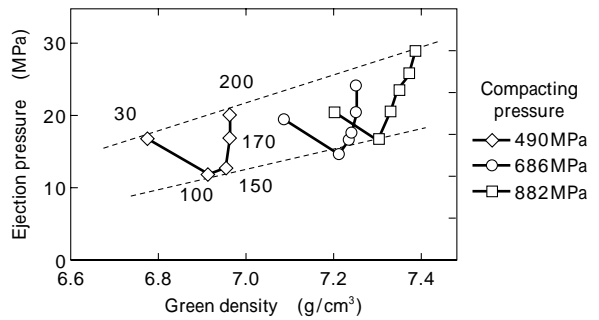


図10 抜出し力に及ぼす成形圧力と成形温度の影響
Fig.10 Effect of compacting pressure and compacting temperature on ejection pressure

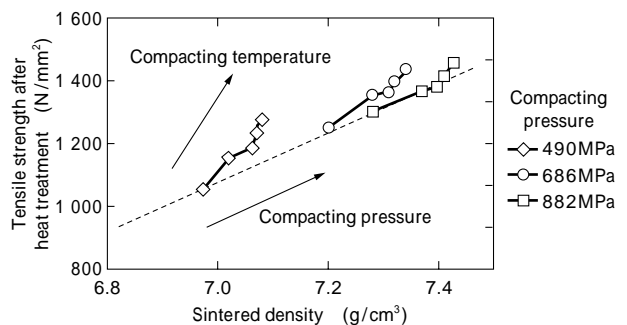


図11 引張強さに及ぼす成形圧力と成形温度の影響
Fig.11 Effect of compacting pressure and compacting temperature on tensile strength

4.3 熱処理体特性

図11に温間成形材の熱処理体特性の一例として引張強さを示す。引張強さは成形圧力、成形温度のいずれによっても増加するが、その傾きは若干異なる。成形圧力に比べ成形温度による改善効果が顕著であり、同じ成形密度であっても温間成形によって機械的特性は改善することがわかる。これは焼結体の空孔分布で説明できる。

写真1に常温成形の882MPa成形圧と、温間成形の

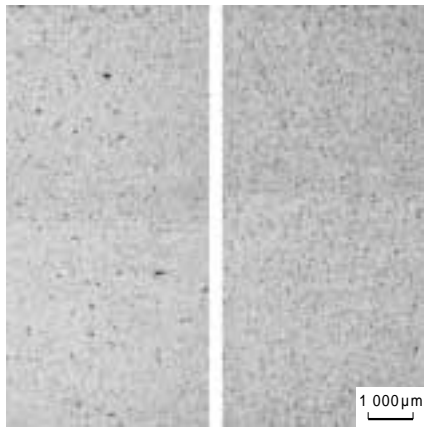


写真1 密度7.3g/cm³の焼結体断面(左:常温成形・成形圧882MPa,右:KHD・セグレス130°C成形・成形圧686MPa)
 Photo 1 Cross-section of sintered compact with 7.3g/cm³ density (Left : Conventional mix pressed at room temperature and 882MPa, Right : KHD-Segless pressed at 130°C and 686MPa)

686MPa成形圧で成形した場合の焼結体断面(エッチングなし)を示す。両者の密度は7.3g/cm³とほぼ同じであるが、温間成形の場合は空孔分布が均一で微細である。これは温間成形による鉄粉の降伏応力低下とともに、成形時に潤滑剤が一部溶融し、空孔の微細化が起きていると考えられる。

この温間成形による空孔の微細化と密度向上によって、引張強さと同様、疲労強さや靱性などの特性についても常温成形に比べて10~20%改善することが確認されている。また写真2で示すように、KHD-セグレスは潤滑剤とバインダに金属分を含まないため、金属石鹸などの潤滑剤に見られるような焼結体汚れはなかった。

4.4 重量バラツキ

図12にKHD-セグレスと通常プレミックスの温間連続成形時における重量バラツキを示す。KHD-セグレスの標準偏差は通常プレミックスに比較して、半分以下に低減している。さらに、図中に見られる大きなうねりの重量バラツキは、一般に連続成形時に成形プレスで調整可能であるため、このバラツキを計算で除去した。その

図12 温間連続成形での重量バラツキ
 Fig.12 Weight variation during continuous warm compaction press

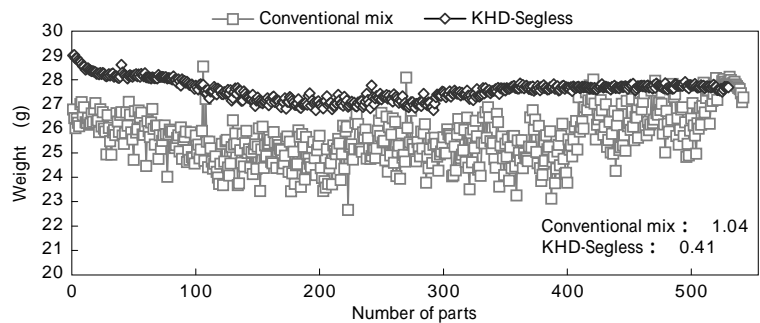


図13 温間連続成形での重量バラツキ(成形体前後の重量差)
 Fig.13 Weight variation during continuous warm compaction press (difference from previous part)

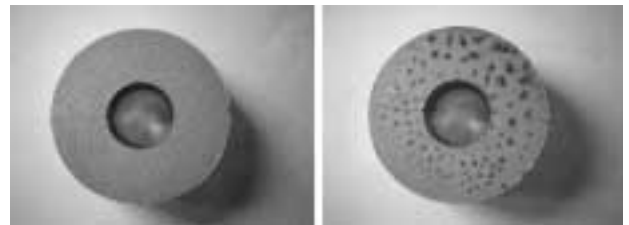
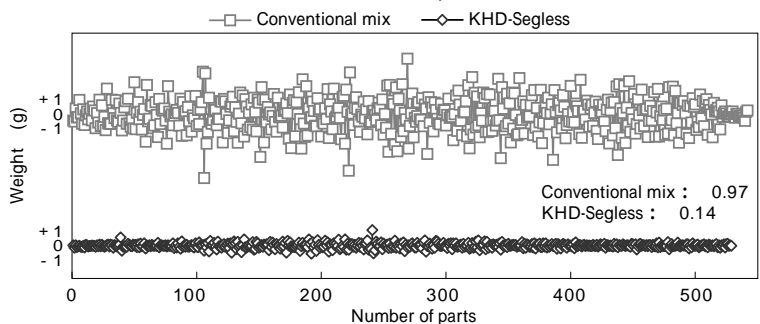


写真2 焼結体表面性状(左:KHD・セグレス,右:金属石鹸の潤滑剤使用)

Photo 2 Surface condition of sintered compact (Left : KHD-Segless, Right : Containing metal soap as lubricant)

結果、図13に示されるように直前の成形体との重量差の推移で両者の差は顕著となり、KHD-セグレスの標準偏差は通常プレミックスの約15%程度であった。これはバインダにより鉄粉表面に黒鉛粉が付着することで、黒鉛粉の偏析防止と流動性の改善が図られるためと考えられる。重量バラツキ低減は、昨今の更に厳しい寸法精度の要求に応える極めて重要な効果の一つである。

むすび=耐熱性潤滑剤とバインダを使用した温間成形用粉末KHD-セグレスの開発により、従来の成形では到達できなかった高強度焼結部品の製造が可能となった。当社温間成形粉末は、安定した流れ性と良好な圧縮性を特徴とし、各種自動車、家電用高強度焼結部品への適用拡大が見込まれる。

参考文献

- 1) H. Suzuki et al. : Powder Metallurgy World Congress (2002)
- 2) M. Yoshida et al. : Powder Metallurgy World Congress, Vol.2 (1993) p.755.
- 3) 高井伝栄ほか : R&D 神戸製鋼技報, Vol.44, No2 (1994) p.10.
- 4) H. Suzuki et al. : Powder Metallurgy World Congress, Vol.2 (1993) p.747.