

(技術資料)

高密度化潤滑剤「KP-300A」を添加した混合鉄粉の特性

佐藤充洋*・谷口祐司・伊藤義浩 (博士(工学))・切石まどか

Properties of Steel Powder Mixture with Newly Developed Lubricant "KP-300A" for High Density Application

Mitsuhiro SATO・Yuji TANIGUCHI・Dr. Yoshihiro ITO・Madoka KIRIISHI

要旨

焼結部品の適用範囲を拡大する方策の一つとして、トランスミッションギアのような高強度部品への適用が検討されており、焼結部品のさらなる高密度化が課題となっている。すなわち、従来の焼結部品の密度は高くても7.2~7.3 g/cm³であり、トランスミッションギアへの焼結部品の適用にあたって、溶製鋼と同等の疲労強度を得るために7.5 g/cm³の密度が必要とされる。

焼結部品の高密度化には鉄粉中の潤滑剤量の低減が有効である。このため、従来よりも潤滑性が向上した層状構造を有する潤滑剤「KP-300A」を開発した。このKP-300Aは、混合粉中の添加量を低減させることが可能である。また、高い熱分解性を有していることから焼結時の拡散が進行することで収縮が大きく、980 MPaの成形圧で約7.50 g/cm³の焼結密度を得ることができる。

Abstract

As one of the measures to expand the applicability of sintered parts, application to high strength parts such as transmission gears is being studied, the challenge being to increase the density of sintered parts. In other words, the density of conventional sintered parts is 7.2 to 7.3 g/cm³ at the highest, and to apply sintered parts to transmission gears, a density of 7.5 g/cm³ is required to obtain a fatigue strength equivalent to that of wrought steel. To increase the density of sintered parts, it is effective to reduce the amount of lubricant in the powder mixture. To this end, Kobe Steel has developed a lubricant, "KP-300A," having a layered structure with improved lubricity compared with that of conventional products. KP-300A can reduce the amount of additives in the mixed powder. Since KP-300A has a high thermal decomposability, it undergoes a large shrinkage with the progress of diffusion during sintering, and a sintering density of about 7.50 g/cm³ is obtained at a compacting pressure of 980 MPa.

キーワード

焼結ギア, 高密度, 潤滑剤

まえがき = 粉末冶金技術を利用した焼結部品は、生産性に優れるうえに部品形状の自由度が高いことから自動車用部品として多く用いられている。近年、自動車用焼結部品の軽量・高機能化に伴い、用いられる粉末に対して高密度化や高流動性といった要求特性が高度化している。とくにトランスミッションギアに対しては、高負荷がかかることから溶製材が用いられるのが通常であり、焼結部品の適用にはより高い強度と耐久性が要求される。

焼結部品の強度には部品密度が大きく影響するのが一般的である。このため、高強度化を図るためには密度を高めることが有効である。従来の焼結部品の密度は高くても7.2~7.3 g/cm³である。当社の知見として、トランスミッションギアへの焼結部品の適用にあたって、これまで使用されている溶製鋼と同等の疲労強度（歯車面圧疲労強度 ≥ 2.0 GPa）を得るためには、焼結部品の密度は7.5 g/cm³とする必要があることが分かっている¹⁾ (図1)。

焼結部品の高密度化には温間成形²⁾ や金型潤滑成形³⁾ などのプロセスによる方法があるが、これらの方法では

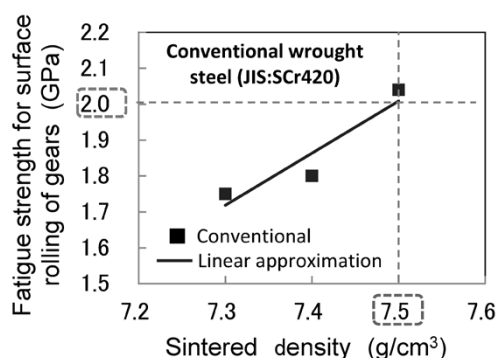


図1 焼結密度と歯車面圧疲労強さの関係
Fig.1 Relationship between sintered density and fatigue strength for surface rolling of gears

付帯設備が必要になりコストアップとなる。いっぽう、焼結部品の製造工程には粉末成形後に部品を金型から抜き出す工程がある。その工程における焼付き防止のために原料の鉄粉に潤滑剤が添加されており、その潤滑剤が高密度化の妨げになる。そのため、焼付きを抑制しつつ潤滑剤の添加量が低減できる高性能な潤滑剤があれば、付帯設備を追加することなく材料の変更だけで高密度化

* 鉄鋼事業部門 鉄粉本部 (新組織名 素形材事業部門 鉄粉ユニット)

が可能となる。

そこで当社は、トランスミッションギアに適用可能な新しい高密度化潤滑剤「KP-300A」を開発した。本稿では、その特長とともにKP-300Aを添加した混合粉末および圧粉体、焼結体の特性を紹介する。

1. 開発した高密度化潤滑剤「KP-300A」

粉末冶金で用いる潤滑剤の特性としては、金型との焼付きを防止するための離型性に加え、粉末が複雑な金型にスムーズに供給されるための流れ性も重要となる。離型性と流れ性とは相反する関係にある⁴⁾の一般的なものである。これまで、当社はこの二つの機能を併せ持つ複合潤滑剤KPシリーズを商品化してきた⁵⁾。今回は、トランスミッションギアのような高負荷環境に耐え得る高強度（高密度）が得られるよう、潤滑剤の構造に着目することによって少量の添加で済む潤滑剤の開発を検討した。そのなかで、黒鉛のような層状構造を有する潤滑剤は成形時の加圧によって粒子が崩れ、へき開によるすべり効果を発揮して高い離型性を示すことが分かった。さらに、この潤滑剤の粒度を最適化することにより、離型性が従来よりも飛躍的に向上した新しい高密度化潤滑剤「KP-300A」の開発に至った。

KP-300Aの特長である高離型性を評価するために、当社製ブレアロイ低合金鋼粉46F4H（0.5%Ni-1.0%Mo組成⁵⁾）に0.3 mass%の黒鉛を配合したトランスミッションギアへの適用を想定した粉末を用意した。上記配合において980 MPa成形で7.5 g/cm³を得るためには、各成分の比重を基にした計算に基づく、潤滑剤添加量を0.5 mass%以下とする必要がある⁵⁾。このため、各潤滑剤（従来剤：EBS、従来高密度剤、開発潤滑剤KP-300A）を0.5 mass%ずつ添加した混合粉末で金型からの抜出し力（離型性の指標）を比較した（図2）。その結果、KP-300Aを添加した混合粉末の抜出し力は高圧成形下において従来の高密度剤よりも小さかった。また、他の潤滑剤で生じているような圧粉体側面の荒れがなく、良好な状態の圧粉体が得られることが確認された（図3）。すなわち、KP-300Aを用いることによってこれまで困難であった0.5 mass%添加での高圧成形が可能であることが分かったことから、トランスミッションギアに適用できることが期待される。

そこで、KP-300Aを含む各潤滑剤を適量添加した混合粉末を対象とする各種特性の評価を行ったので次章以降でその概要を紹介する。

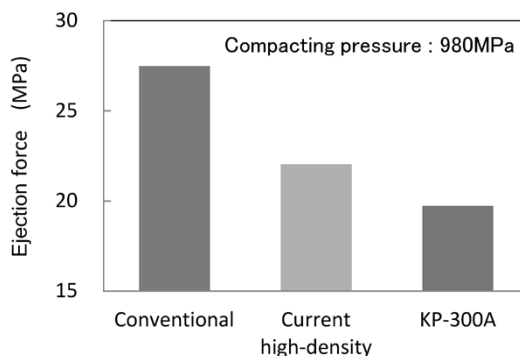


図2 各潤滑剤を添加した混合粉の離型性の比較
Fig.2 Comparison of ejection force of mixed powder with lubricant of 0.5%

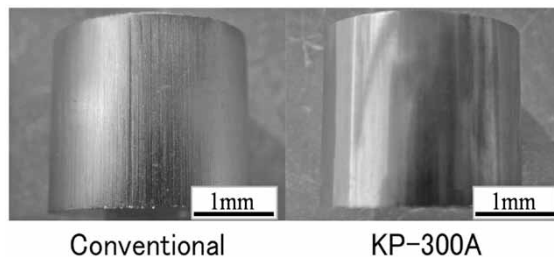


図3 圧粉体の外観
Fig.3 Appearance of green compact

2. KP-300Aを添加した混合粉末の特性評価方法

2.1 供試材の作製

表1に特性評価試験に用いた混合粉末の配合を示す。混合粉末のベース成分はいずれも、0.3 mass%の黒鉛を添加した低合金鋼粉アトメル46F4Hとした。特性評価に用いた潤滑剤は、従来剤、従来高密度剤、およびKP-300Aとした。それぞれの潤滑剤は、焼付きが生じることなく金型成形が可能な適正量である0.75 mass%、0.60 mass%および0.50 mass%を添加して供試材を作製した。

2.2 粉体特性評価

供試材の見掛密度と流動度を、それぞれJIS Z 2504およびJIS Z 2502に基づき、ホールフローメータで測定した。

2.3 圧粉体特性評価

フローティングダイ方式の金型を用いて供試材を円柱形状（φ25×20 mm）に成形した。成形圧力を686 MPa、784 MPa、882 MPa、980 MPaとしたときの粉末の圧縮性を示す圧粉密度と離型性を示す抜出し力を測定した。

圧粉体強さは、JIS Z 2511に基づき686 MPaおよび980MPaの成形圧力で31.8×12.6×6 mmの圧粉体を成形し、3点曲げによる抗折強さを測定した。また、JPMA

表1 特性評価試験に用いた混合粉末の配合

Table 1 Composition of powder mixtures used for characterization test

ID	Base composition	Lubricant	Addition amount
Conventional	46F4H-0.3mass%Gr	EBS	+0.75mass%
Current high-density		Current high-density	+0.60mass%
KP-300A		Newly developed "KP-300A"	+0.50mass%

P 11-1992に基づき、同様の成形圧力条件でφ11.28×10 mmの圧粉体を作製し、圧粉体の成形性評価指標の一つであるラトラ値を測定した。

2.4 焼結体特性評価

焼結体の特性評価として、圧縮性評価で使用した円柱形状の圧粉体および外径30 mm、内径10 mm、高さ10 mmの円筒形圧粉体を686 MPaおよび980 MPaで成形して作製した供試材を対象に、N₂-10 vol%H₂雰囲気下、1,393 K×30 minの条件でプッシュヤ式焼結炉によって焼結を実施した。得られた円柱焼結体の密度と寸法変化率、および円筒焼結体の圧環強さや見掛硬さを測定した。また、焼結時の圧粉体の寸法変化挙動を観察するため、圧粉密度7.40 g/cm³の直方体形状(8×8×33 mm)の圧粉体を用意し、熱膨張測定装置(東京工業株式会社製ディラトメータ)を用いて焼結時の寸法変化を連続的に測定した。

3. KP-300Aを添加した混合粉末の特性評価結果と考察

3.1 粉体特性の評価結果

各潤滑剤の見掛密度および流動度を表2に示す。KP-300Aを添加した混合粉末の見掛密度や流動度は、その他の材料と同等である。

3.2 圧粉体特性の評価結果

圧粉体の離型性および圧縮性の評価結果をそれぞれ図4および図5に示す。いずれの混合粉末も同じ密度における抜出し力は同等であるが、KP-300Aは潤滑剤添加量が少量であるため、他の材料に比べて高い圧粉密度が得られた。

また、図6に圧粉体の密度と強さの関係、図7に圧粉体の密度とラトラ値の関係を示す。KP-300Aは他の潤滑剤に比べて圧粉体強さが高く、ラトラ値が低いことから、高い成形性を有していることが分かる。

表2 各潤滑剤の見掛密度と流動度の比較

Table 2 Comparison of apparent density and flow rate of each lubricant

Characteristic	Conventional	Current high-density	KP-300A
Apparent density (g/cm ³)	3.26	3.17	3.17
Flow rate (s/50g)	22.4	24.0	22.1

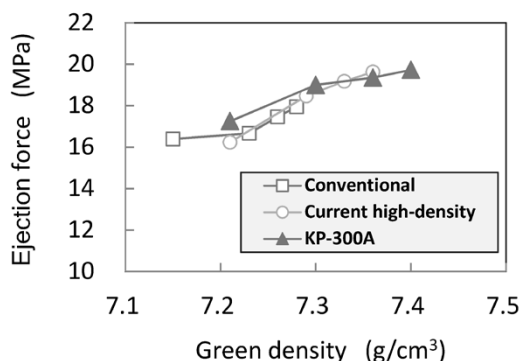


図4 圧粉密度と抜出し力との関係

Fig.4 Relationship between green density and ejection force

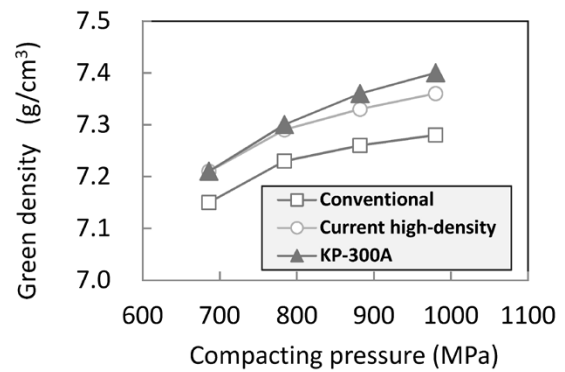


図5 成形圧と圧粉密度との関係

Fig.5 Relationship between Compacting Pressure and Green Density

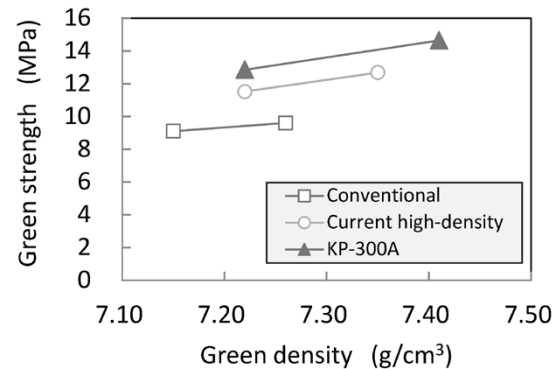


図6 圧粉体の密度と強さの関係

Fig.6 Relationship between density and strength of mixed green compacts

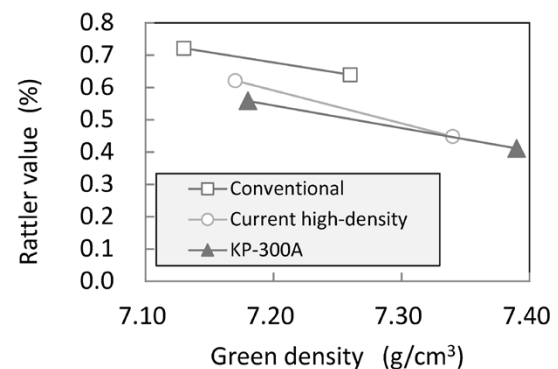


図7 圧粉体の密度とラトラ値の関係

Fig.7 Relationship between green density and rattler value of mixed green compacts

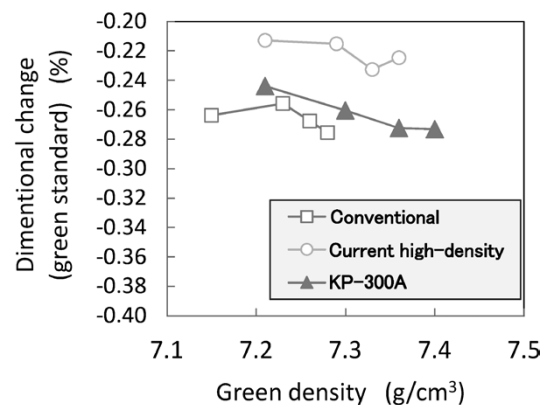


図8 圧粉体の密度と寸法変化率の関係

Fig.8 Relationship between green density and dimensional change of mixed green compacts

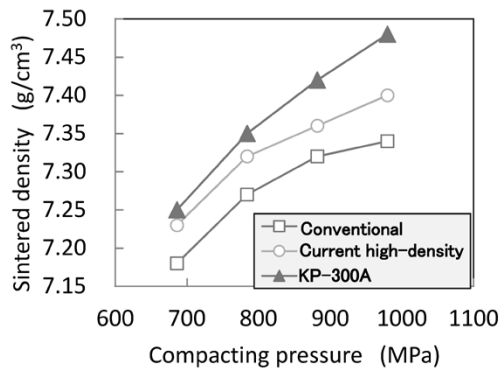


図9 圧粉体の成形圧と焼結密度の関係

Fig.9 Relationship between compacting pressure and sintered density of mixed green compacts

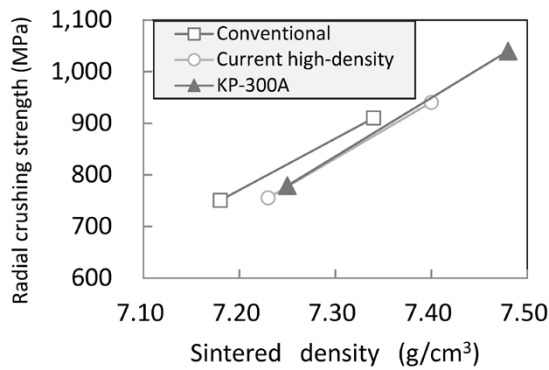


図10 圧粉体の焼結密度と圧環強さの関係

Fig.10 Relationship between sintered density and radial crushing strength of mixed green compact

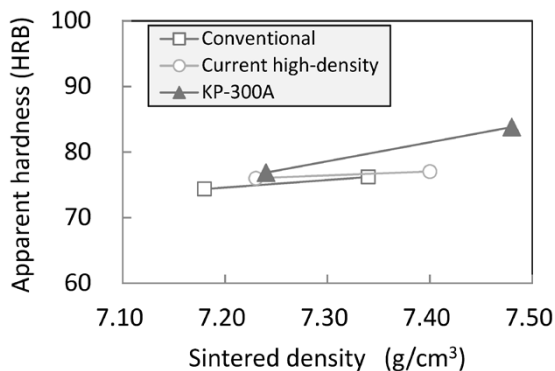


図11 圧粉体の焼結密度と見掛硬さの関係

Fig.11 Relationship between sintered density and apparent hardness of mixed green compacts

3.3 焼結体特性の評価結果

図8に圧粉体の密度と焼結による寸法変化率の関係、図9に成形圧と焼結密度の関係を示す。また、焼結密度と圧環強さ、および見掛硬さとの関係をそれぞれ図10および図11に示す。KP-300Aは焼結時の寸法変化率が大きく、寸法収縮幅が従来高密度材より大きい。このため、より高い焼結密度が得られており、それにより高い強度や硬さが得られている。またKP-300Aは、980 MPaの成形圧力において溶製材と同等の面圧疲労強度となる焼結密度7.5 g/cm³が得られることが確認された。

3.4 焼結時における圧粉体寸法変化挙動の評価と考察

従来高密度材とKP-300Aを対象に、焼結時の圧粉体

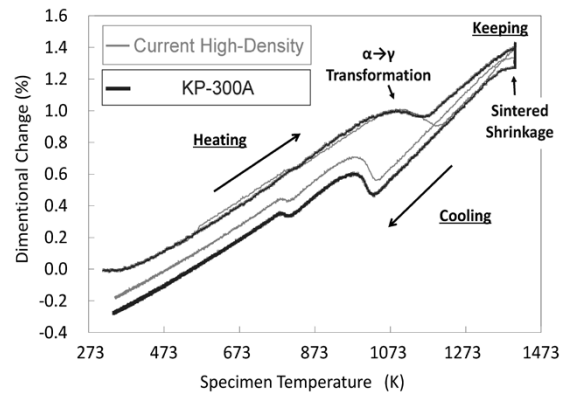


図12 焼結時の圧粉体の寸法変化挙動

Fig.12 Dimensional change behavior of mixed green compacts during sintering

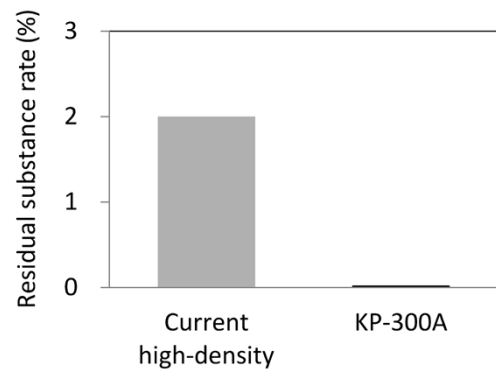


図13 潤滑剤の残渣量の比較

Fig.13 Comparison of amount of residual lubricant

の寸法変化挙動を連続的に測定した結果を図12に示す。両者とも圧粉体の温度が上がるにつれ膨張するなか1,000 K付近で α - γ 変態が開始し、従来高密度材よりもKP-300Aのほうが早く変態が完了していることが分かる。その後1,393 Kで30 minの均熱保持中に、KP-300Aは従来高密度材よりも大きく焼結収縮している。この収縮の差が冷却後の最終的な寸法変化率の差につながっていることが分かる。

潤滑剤の違いによる熱処理中の寸法変化挙動を解明するため、潤滑剤の熱分解性について調査した。熱分解性の評価として、従来高密度材とKP-300Aをそれぞれ1,273 KのN₂雰囲気中で加熱した後の潤滑剤の残渣(ごんさ)量を測定した。測定結果は図13に示すとおり、KP-300Aは残渣がなく良好な熱分解性を有していることが分かった。圧粉体に添加したKP-300Aの残渣がないことから、鉄粉への炭素の浸炭阻害が抑制され α - γ 変態が早く完了したと考えられる。また、焼結においても余分な残渣がないことから鉄粉粒子同士の接触面が増える。それがネック(粒子の結合)形成に優位に働いて拡散が進行し、焼結収縮が促進されたと推察される。これによりKP-300Aを添加した圧粉体は、他の潤滑剤を添加した圧粉体より高い焼結密度が得られたと考えられる。

むすび=当社は潤滑剤の構造が離型性に影響を与える可能性に着目し、黒鉛のような層状構造により高い離型性を発揮する新しい高密度潤滑剤「KP-300A」を開発した。

本稿ではその特長と、KP-300Aを添加した混合粉末の特性について紹介した。

KP-300Aは従来の潤滑剤に比べて高い離型性を有することから、潤滑剤の添加量の低減を可能にし、付帯設備を追加することなく高い圧粉密度が得られることが分かった。また、熱分解性を有するため焼結時に進行する拡散による収縮が大きく、980 MPa成形で約7.50 g/cm³の焼結密度が得られた。すなわち、開発した高密度化潤滑剤KP-300Aを用いることにより、トランスミッションギアのようなより高い強度と耐久性が求められる自動車用部品に対する焼結部品の適用が期待される。

参 考 文 献

- 1) 西田 智ほか. R&D神戸製鋼技報. 2016, Vol.66, No.1, p.61-67.
- 2) 鈴木浩則ほか. R&D神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.3, p.70-73.
- 3) 北条啓文ほか. R&D神戸製鋼技報. 2005, Vol.55, No.3, p.68-71.
- 4) 鈴木浩則ほか. R&D神戸製鋼技報. 2005, Vol.55, No.3, p.64-67.
- 5) 鈴木浩則ほか. R&D神戸製鋼技報. 2010, Vol.60, No.2, p.70-74.
- 6) 吉田真規ほか. R&D神戸製鋼技報. 1997, Vol.47, No.2, p.54-57.



佐藤充洋

鉄鋼事業部門 鉄粉本部
(新組織名 素形材事業部門 鉄粉ユニット)



谷口祐司

鉄鋼事業部門 鉄粉本部
(新組織名 素形材事業部門 鉄粉ユニット 鉄粉工場)



伊藤義浩

技術開発部門 機械研究所



切石まどか

技術開発部門 機械研究所