

ハイブリッド型Mo系合金鋼粉を用いた鉄系焼結材料 の高疲労強度化に関する研究

宇波, 繁

<https://doi.org/10.15017/1654986>

出版情報：九州大学, 2015, 博士（工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済



氏 名 : 宇波 繁

論 文 名 : ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉を用いた鉄系焼結材料の
高疲労強度化に関する研究

区 分 : 乙

論 文 内 容 の 要 旨

鉄系の粉末冶金製品の需要を拡大させるためには、低コスト、高生産性、形状自由度、高寸法精度などの粉末冶金が本来有する特徴を犠牲にすることなく、疲労強度などの基本的な機械的特性のさらなる改善が肝要である。粉末冶金製品には総じて気孔が残存し、この気孔は欠陥として働くため、できるだけ気孔の低減・微細化を図ることが機械的特性を高める本質的かつ最も有効な方法である。

本研究では、高性能（高強度、高疲労強度）な鉄系焼結部品を実現するため、成形による高密度化を図った新規な高密度成形工法である温間金型潤滑成形法の開発、焼結での気孔の微細化を図った焼結性に優れるハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉の開発、および後加工による高密度化を図った転造工法の適用による表面緻密化について、検討を行った。

第 1 章では、従来の高密度化工法および合金鋼粉の課題についてまとめた。従来の高密度化工法ではコストを上げずに密度を高めることが困難であることから、より安価で簡便な高密度化工法が要望されている。例えばトランスミッション用歯車などの高負荷歯車の製造法として、表面層のみを局部的に緻密化させる転造工法の研究が行われており、従来の溶製鋼材に比べ、25～30%のコスト低減が可能であると期待されている。一方、原料粉については、高価な Ni 微粉を用い、かつ製造コストが高い高温焼結によって疲労強度を高めることができるが、やはり一般的に広く用いられているメッシュベルト炉の比較的低温の焼結温度でも、焼結時に気孔の微細化が図れるような低合金鋼粉が所望されている。

第 2 章では、成形による高密度化を目的とし、温間成形法および帯電塗布型金型潤滑法を組み合わせた新規な温間金型潤滑成形法の特徴および本法を従来の合金鋼粉に適用した場合の焼結体特性について述べた。まず、潤滑剤噴射量の変動を抑えた金型潤滑剤塗布装置を開発することにより、潤滑剤の噴射量の変動を従来装置の 1/4 まで低減することができた。また、Fe-2mass%Ni-1mass%Mo 拡散合金鋼粉を原料粉とした内部潤滑剤量を 0.2mass%まで低減した混合粉では、圧粉密度 7.4 Mg/m³、さらに焼結・浸炭熱処理後では、焼結密度 7.5 Mg/m³、面圧疲れ強さ 4.4 GPa という優れた特性が得られた。

第 3 章では、成形による高密度化に加え、焼結性向上による気孔の微細化を目的として開発した、焼結性に優れる新規な合金鋼粉（ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉）の設計思想および焼結機構、さらに温間金型潤滑成形法を適用した場合の焼結・浸炭熱処理材の面圧疲労強度について述べた。Mo 系プレアロイ鋼粉表面に Mo 高濃度部を点在させたハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉を用い、温間金型潤滑成形法を適用した焼結・浸炭熱処理材の面圧疲労強度は、Mo プレアロイ鋼粉より 1 GPa 程度高い値が得られ、3.9 GPa の高い面圧疲労強度が得られた。この高面圧疲労強度は、温間金型

潤滑成形法による高密度化に加え、Mo プレアロイ鋼粉に比べ気孔が微細化したこと、かつ気孔周囲への Mo の濃化により焼結ネックが強化されたため、疲労き裂の発生および伝播が抑制されたことに起因するものである。なお、ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉の焼結機構に関しては、粒子表面の Mo 濃化部に起因する表面拡散が支配的であり、焼結時の収縮量はそれほど大きくなり、ネックの成長により気孔が微細化したものであると結論づけた。

第4章では、ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉を用いた焼結・浸炭熱処理材の回転曲げ疲労強度について述べた。ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉を用いた焼結浸炭材の回転曲げ疲労強度は、Mo プレアロイ鋼粉より高い値が得られた。さらに、疲労強度を向上させるため、他元素の添加 (Ni, Cu) を検討し、1mass%Ni 添加により、焼結収縮が促進するとともに、気孔も微細化し、回転曲げ疲労強度が向上した。

第5章では、ハイブリッド型 Mo 合金鋼粉を実部品の自動車エンジンプロケットに適用した結果を述べた。従来材である Fe-0.6mass%Mo プレアロイ鋼粉と比較し、焼結温度を 20°C 低下、焼結時間を 50% 低減した低温・短時間の焼結条件でも、ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉は同等以上の疲労強度を示したことから、自動車エンジンプロケットに採用され、量産製造されている (30t/月)。

第6章では、表面を緻密化する転造工法をハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉に適用し、ローラ状試験片で面圧疲労強度の向上を検討した結果を述べた。転造加工を施し、浸炭焼入れを施したローラについては、有効硬化層深さ 1.2 mm で 2200 MPa と、溶製材の SCM415 浸炭焼入れ鋼ローラより高い疲労強度を得ることができた。面圧疲労試験中にローラ内部に発生する最大せん断応力分布と、浸炭焼入れによる硬さ分布の関係から、有効硬化層深さを最大せん断応力のピークの深さよりも深くすることで、面圧疲労強度の上昇に寄与することが確認された。

第7章では、ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉に転造工法を適用した歯車を試作し、歯元曲げ疲労強度の向上を検討した結果を述べた。軸交差式転造において正回転と逆回転の両方を用いることで歯元部の緻密化が正回転のみの場合より進行した。また、ホブ切りの際に切り込みを浅くして正転位させた歯車に転造加工を施すことにより、さらに歯元部の緻密化が進行した。正転位歯車を用いて転造を行うことにより、歯元曲げ疲労強度で 1250 MPa という高い値が得られ、溶製材 SCM415 の約 83% の歯元曲げ疲労強度が達成された。

以上、本論文による一連の研究成果により、従来、困難であった低コストでの高疲労強度部品の作製を可能とし、新規開発した温間金型潤滑成形およびハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉は、焼結部品メーカーにおける製品の特性の安定化とともに、生産性向上に寄与している。さらに、ハイブリッド型 Mo 系合金鋼粉に転造工法を適用することにより、溶製材に匹敵する高性能な歯車製造の可能性が示され、このことは鉄系焼結材料の競争力を高め、粉末冶金業界が発展するための技術的・学術的支援となるものである。