

真密度に近い焼結部材を製造可能とする 焼結冷間鍛造工法

中 村 尚 道¹⁾ 藤 長 政 志²⁾
小 泉 晋³⁾ 安 間 裕 之⁴⁾

1. はじめに

鉄系の焼結材料は、自動車用や電気製品用などの機械部品として幅広く利用されている。焼結機械部品の機械特性は密度によって決定されるため、高密度の鉄系焼結材料を製造するための数多くの研究・開発がこれまで行われてきた¹⁾。

焼結材料を冷間鍛造(冷鍛)する技術は、真密度に近い焼結機械部品を製造可能な方法として提案されている²⁾³⁾。その基本的なプロセスを図1に示した。鉄粉をベースとする原料粉を所定の形状に圧粉成形した後焼結して焼結素材を製造する。その焼結素材を冷鍛して、緻密化すると同時に最終の製品形状に成形された冷鍛材とする。焼結冷鍛材には必要に応じて再焼結および(または)熱処理を施して最終製品を製造する。

肌焼鋼などの溶製材を素材とする従来の冷鍛工法に対して、この工法は予備成形体段階での形状自由度が高いという利点があるため、溶製材の冷鍛では複数の焼鈍-冷鍛工程を繰り返さなければ製造できなかった複雑形状部品を一回の冷鍛工程で製造でき、生産リードタイムを大幅に削減できる可能性もある。

この工法の最大の課題は、焼結素材の冷鍛時における変形能をいかに向上させるかということである。この課題解決のため、焼結素材にセメントナイト球状化処理を施す方法²⁾や、低融点元素を添加して鉄粉粒子間の結合を高める方法³⁾が試

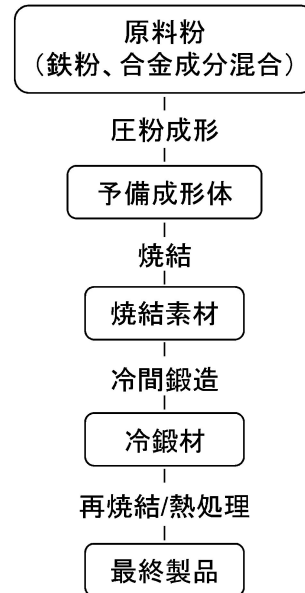


図1 焼結冷間鍛造工法の基本プロセス。

みられてきた。しかしながら、特に合金元素を添加した高強度素材では、大きな変形能を得るための知見が十分には得られていない。

今回開発した焼結冷鍛工法では、高い変形能を持つ鉄基低合金鋼粉の焼結素材の製法を確立した⁴⁾。冷鍛後の密度は7.8 Mg/m³(真密度の99%)に到達し、浸炭焼入れ・焼き戻し処理を施した焼結冷鍛材は溶製材肌焼鋼に匹敵する表面硬度を示した。回転曲げ疲労強度は、従来の焼結材料より格段に優れた600 MPaまで向上した。

2. 焼結素材の変形能向上の考え方

焼結素材に高い変形能を付与する基本的な考え方は、(1)硬度を低く保つこと、および(2)原料粉末粒子の結合力を強化す

* JFE スチール株式会社

1) スチール研究所 鉄粉・磁性材料研究部：主任研究員

2) 東日本製鉄所 鉄粉部鉄粉技術室：室長

** 日立オートモティブシステムズ株式会社 エンジン機構事業部 生産本部生産技術部技術開発グループ：

3) 主任技師 4) 技師

Sintering and Cold-Forging Process for Production of Full Density Sintered Materials; Naomichi Nakamura*, Masashi Fujinaga*, Shin Koizumi**, Hiroyuki Anma** (*JFE Steel Corporation, **Hitachi Automotive Systems, Ltd.)

2012年10月31日受理

ることの2点である。これらによって、低い冷鍛加重で変形させることが可能となる一方、変形後に亀裂等の欠陥が生じにくくなる。

合金量を低減することにより焼結素材の硬度は低減するが、最終製品に加工された後に十分な強度が確保できない可能性がある。今回の開発では、溶製材肌焼鋼レベルの焼入性を目標として合金量を最低限とできる成分系の探索を行った。その結果、Mo系の低合金鋼粉をベースに黒鉛粉の配合を最適化することで、目標の焼入性を達成した。また、原料圧粉成形後の焼結条件(焼結温度、ヒートパターン、および焼結雰囲気)を調整して、焼結素材の組織を最適化することによって、セメントタイト球状化等の後処理を施すことなく硬度を低減できる。焼結温度は粒子間の結合力にも影響を与えるが、本工法の焼結条件はその観点からも最適化されている。

3. 本工法による焼結素材の変形能

上述の配合のMo系低合金鋼粉と黒鉛粉との混合物を原料として、直径30mm、高さ14mmのタブレット形状の焼結素材を作製して、平らな圧縮盤に挟んで室温で加圧する一軸圧縮試験を行った。なお、この試験ではテフロンシートを圧縮盤と焼結素材との間に挟んで潤滑とした。加圧された素材は高さ方向に縮むとともに面方向に拡大する。圧縮テスト前後の試料の例を図2に示した。圧縮後(図2(b))の密度は7.8 Mg/m³に達しており、肉眼では亀裂は観測されなかった。

ここで、据込率 Z を

$$Z = (H_0 - H) / H_0 \quad (1)$$

と定義する。ここで、 H_0 および H はそれぞれ圧縮前および圧縮後の試料の高さである。圧縮前後の高さ(それぞれ14.0 mm および 4.2 mm)を用いると、式(1)で定義された据込率 Z は70%と計算される。試料に亀裂が発生しない最大据込率を据込限界 Z_c とすると、図2に示した焼結素材の Z_c は70%を超えるということが分かる。

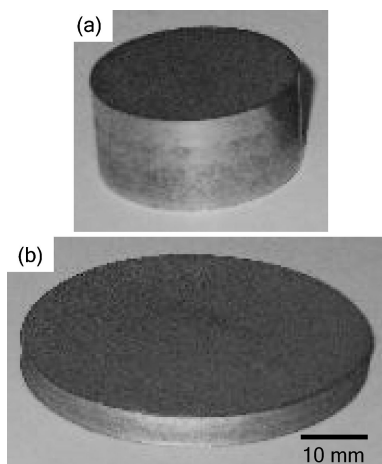


図2 一軸圧縮試験前(a)および同試験後(b)の試験片外観。

これまでの焼結素材の据込限界に関する報告として、早坂⁽³⁾は、Cr系合金鋼粉で限界据込率44%、そのときの到達密度は7.65 Mg/m³と報告している。また天野ら⁽²⁾は、合金鋼粉ではセメントタイト球状化処理を施さなければ冷鍛できないと報告している。したがって、今回開発した工法による焼結素材は、従来の報告に比べると冷鍛性において優位であるものと考えられる。

本工法による焼結素材の冷鍛性に関するもう一つの実験例を図3に示す。これは、前述の一軸圧縮試験と同じ直径30mmの焼結素材を、断面積減少率80%の後方押し出しモードで冷鍛したものである。冷鍛後の試験片(図3-右側)の高さは冷鍛前の焼結素材(図3-左側)の2倍以上に達しているが、肉眼で確認できる亀裂は形成されていない。冷鍛後の密度は7.8 Mg/m³(真密度の99%)以上となり、これに浸炭焼入れ・焼戻し処理を施すことによって、表面硬度は60 HRCに到達した。これは溶製材 SCM415 を同条件で熱処理した場合の表面硬度に匹敵する。

4. 焼結冷鍛工法による材料の機械特性

前項で述べた最適条件で製造した大型の焼結素材を冷間鍛造して、直径8mmの回転曲げ疲労試験片形状に加工した後、浸炭焼入れ・焼戻し処理を施して、回転曲げ疲労試験を行った。試験には小野式回転曲げ疲労試験機を用い、寿命回数が10⁷となる最大荷重を回転曲げ疲労強度とした。

比較材として焼結冷鍛試験片と同組成で密度が低い(7.2および7.5 Mg/m³)焼結材の疲労試験片も、従来の焼結プロセス(1回成形-1回焼結)で作製した。密度は成形圧力で調整した。焼結は10%水素-90%窒素雰囲気中で1403 K×3.6 ks行った。さらに、溶製材 SCM415 の疲労試験片も比較材として作製した。いずれの比較材も、焼結冷鍛工法による疲労試験片と同条件の浸炭焼入れ・焼戻し処理を施した。

回転曲げ疲労強度を密度の関数として図4に示した。回転曲げ疲労強度は密度の上昇とともに増加し、冷鍛によって緻密化された焼結冷鍛材は600 MPaに達した。この値は溶製

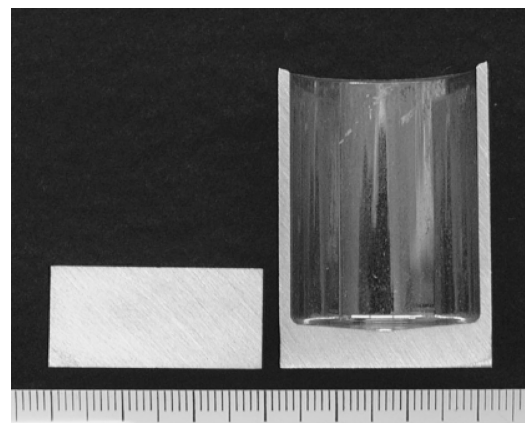


図3 後方押し出し冷鍛前(左)および後(右)の試験片断面。

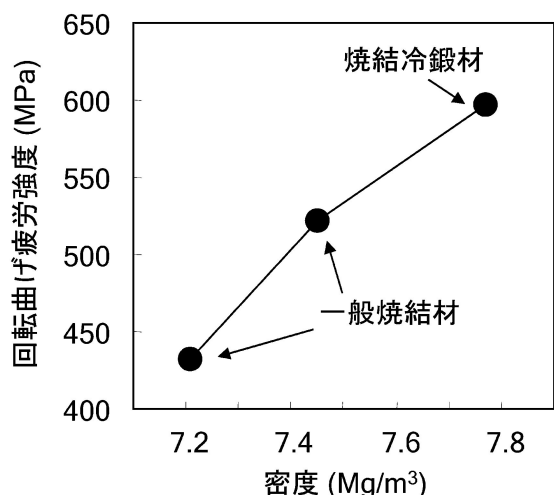


図4 Mo系低合金焼結冷鍛材および同組成の一般焼結材の回転曲げ疲労強度。

材 SCM415 に同条件の熱処理を施した場合 (760 MPa) の約 80% に相当する。

また、直径 60 mm の円盤状の試験片も同様の条件で作製して面圧疲労強度を測定した。測定は六球式試験機によって行い、回転曲げ疲労試験と同様に寿命回数が 10^7 となる最大荷重を面圧疲労強度とした。本工法による Mo 系低合金材料の面圧疲労強度 5.0 GPa であった。これは、同条件の浸炭焼入れ・焼戻し処理を施した溶製材 SCM415 (5.6 GPa) の約 90% に相当する。

5. ま と め

本工法によって、合金系鉄基焼結素材の冷間鍛造性が向上した。最終製品の形状に応じた予備成形体の形状設計および冷鍛工法設計を行うことにより、複雑形状かつ高疲労強度・高面圧疲労強度部品を短プロセスで製造できる可能性が拡がり、歯車やスプロケットなどの機械部品への適用が期待される。

6. 特 許

本工法に関する特許は、既に複数件が登録されている⁽⁵⁾。

文 献

- (1) P. Skoglund, M. Kejzerman and I. Hauer: Advances in Powder Metallurgy & Particular Materials-2002, Part 4, Princeton, NJ, Metal Powder Industries Federation, (2002), 85-95.
- (2) 天野富男, 中川威雄: 第40回塑性加工シンポジウム, 日本塑性加工学会, (1972), 49-59.
- (3) 早川忠郎: 粉体および粉末冶金, **33**(1986), 1-10.
- (4) 中村尚道, 上ノ蘭聡, 藤長政志, 小泉 晋, 安間裕之, 吉村隆志: JFE 技報, No. 7 (2005), 19-23.
- (5) 特許3729764号, 特許3869620号, 特許3871825号.