

中村 尚道 NAKAMURA Naomichi JFE スチール 鉄粉セクター部 主任部員(課長)・工博
 上ノ菌 聡 UENOSONO Satoshi JFE スチール スチール研究所 鉄粉・磁性材料研究部 主任研究員(副部長)
 藤長 政志 FUJINAGA Masashi JFE スチール 東日本製鉄所 鉄粉・溶材部鉄粉・溶材技術室 主査(課長)
 小泉 晋 KOIZUMI Shin 株)日立製作所 オートモティブシステムグループ 第二事業本部生産本部
 技術部技術開発グループ 主任技師
 安間 裕之 ANMA Hiroyuki 株)日立製作所 オートモティブシステムグループ 第二事業本部生産本部
 技術部技術開発グループ 技師
 吉村 隆志 YOSHIMURA Takashi 株)日立製作所 オートモティブシステムグループ 第二事業本部生産本部
 技術部技術開発グループ 主任技師

要旨

Mo系低合金鋼粉の焼結体に冷間鍛造を施すことにより、密度 7.8Mg/m^3 (真密度の99%)まで緻密化された材料を得ることができた。この材料を 86°C で浸炭処理した後、焼入焼もどしを施すことにより、溶製材肌焼鋼に匹敵する表面硬度60HRCが得られた。浸炭処理の過程で鋼粉粒子間の焼結ネックが十分進行することが確認された。焼入焼もどし処理後の回転曲げ疲れ強さは600MPaに到達した。

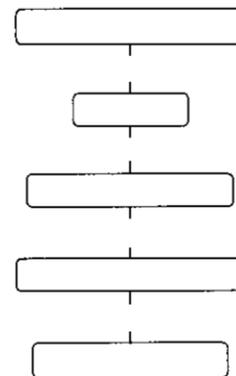
Abstract:

A Mo-alloyed sintered steel was successfully cold-forged to a density of 7.8Mg/m^3 (99%

improved to as high as 600MPa.

1. 序論

焼結機械部品の強度は密度によって支配されるため、これまで高密度の焼結材料を製造するため数多くの研究が行われてきた¹⁾。焼結材料を冷間鍛造(以下、冷鍛)する方法は、真密度に近い焼結部材を製造可能な方法として提案されている²⁻⁶⁾。その基本的なプロセスをFig 1に示した。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潤滑-冷鍛工程を繰り返



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球状化処理を施す方法⁴⁾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⁵⁾が試みられてきた。また、焼結体を冷間で塑性変形させる過程での破壊挙動に関する基礎的な研究も行われている⁶⁾。しかしな製 運 機 械 工 業 研 究 所 研 究 員

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。

本研究では、Mo系合金鋼粉焼結体を素材として焼結冷

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600MPaまで向上した。強度向上のメカニズムについても熱力学的観点から考察する。

2. 実験方法

Mo系合金鋼粉に所定量の天然黒鉛粉と潤滑剤(ステアリン酸亜鉛)を混合して原料混合粉を作製した。この混合粉を室温で圧縮成形した後焼結し、さらに冷鍛して評価用試料を作製した。焼結にあたっては、予備実験により最適化された条件を適用した。また、成形および冷鍛は評価の目的に応じてTable 1に示す形状およびモードでそれぞれ行った。冷鍛前の焼結素材には、セメントタイト球状化処理は施さなかった。

基本的な変形能の評価にはφ30mmの焼結素材(Table 1のNo. 1およびNo. 2)を用いた。引張試験は、冷鍛後再焼結した試料から直径5mmの試験片を切り出して実施した(Table 1のNo. 3)。再焼結温度範囲は500~1130℃



優れた冷鍛性

面積率 (S_{DC}) を S_D から引くべきである。このような、ディンプルの成長データから焼結進行の表現するモデルとして

$$S_D - S_{DC}^3 = NCD_c \exp(-Q/RT)T \quad (5)$$

が最終的に導出

焼結ネックの成長挙動で説明可能である。再焼結を施さなかったとしても浸炭熱処理工程で試料は 86°C に加熱される。この温度は、Fig. 3 に示すように焼結ネックの成長が飽和に達する温度である。したがって、浸炭熱処理の過程で再焼結が同時に進行するために、再焼結工程を別に設けたものと同程度の疲れ強さが得られるものと考えられる。Danninger ら¹³ は Mo 系の合金鋼粉について、焼結ネックが疲れ強さを支配することを報告しており、本研究の結果はこの報告と矛盾しないものである。

上述のように、溶製材に比べると焼結冷鍛された材料は 20% 程度疲れ強さが低い。その原因の一つとして考えられるのは、 $1 - S_D = 10\%$ 程度残留している未結合部分や空孔である。また、介在物や合金元素分布の不均一性も疲れ強さに影響すると報告されている¹⁴。焼結冷鍛工法による緻密な材料の疲れ強さを支配する機構についてはまだ未解明の部分が多く、疲れ強さ以外の機械特性とも併せて今後さらに研究が必要である。

4. 結論

- 1 Mo 系合金鋼粉により、高い冷鍛性を持つ焼結素材を作製した。断面積減少率 80% の後方押し出しモードでも冷鍛可能であり、冷鍛後の密度は 7.8 Mg/m^3 (真密度の 99%) に到達する。
- 2 86°C 程度の比較的低い温度でも、焼結ネックの成長は飽和に達する。表面拡散が支配的な焼結機構であることが、熱力学的な解析により示唆される。
- 3 冷鍛後に浸炭焼入焼きもどし処理を施すことにより表面硬度 60HRC、回転曲げ疲れ強さ 600MPa が得られる。

4