九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

メカニカルアロイング法により製造した高強度ニッ ケルフリーステンレス鋼の機械的性質

高木, 節雄 九州大学大学院工学研究院材料工学部門

https://doi.org/10.15017/19296

出版情報:福岡醫學雜誌.96(6), pp.284-286, 2005-06-25. 福岡医学会 バージョン: 権利関係: 284

メカニカルアロイング法により製造した 高強度ニッケルフリーステンレス鋼の 機械的性質

九州大学大学院工学研究院材料工学部門

土山聡宏,高木節雄

はじめに

SUS 304 L (Fe-18 Cr-11 Ni 合金)や SUS 316 L (Fe-18 Cr-14 Ni-2.5 Mo 合金)のオーステナイ ト系ステンレス鋼は、優れた耐食性および加工性 を有するため生体用の構造材料として骨固定材や 人工関節等に適用されている。しかし、これらの ステンレス鋼にはオーステナイト組織を得るため に多量のニッケルが添加されており、これが皮膚 アレルギーの原因になることから、近年ではニッ ケルを使用しないニッケルフリーステンレス鋼の 開発研究がヨーロッパを中心に盛んに行われてい る、ニッケルの代替として最も有効な元素は窒素



Fig. 1 Procedure for obtaining fine-grained high nitrogen steels.

である.窒素はニッケルと同様,オーステナイト 安定化元素であり、約1%の窒素をクロム鋼に添 加することでニッケルなしに上記のステンレス鋼 と同様のオーステナイト系ステンレス鋼が得られ る。また窒素は、ステンレス鋼の耐食性や強度特 性を著しく高める作用もあり、高窒素オーステナ イト系ステンレス鋼は、錆びにくい・強い・ニッ ケルフリーの3拍子を揃えた生体用に適した金属 材料のひとつと言える. 本稿では, メカニカルア ロイングと呼ばれる一種の粉末冶金法(金属粉末 を固化することにより金属バルク材料を製造する 手法)により、単なるニッケルフリーの高窒素ス テンレス鋼を製造するのではなく、金属結晶サイ ズ(結晶粒径)を従来材の10分の1以下にまで微 細にして強度を飛躍的に高めた「微細粒高窒素 オーステナイト系ステンレス鋼」を製造した例を 紹介させていただく.

1. 実験方法

Fig.1にメカニカルアロイング (MA) 法の手順 を模式的に示す。原料となる粉末として Fe-20% Cr 合金粉末および窒化物 (Cr₂N) 粉末を用いた。 これらの原料粉は,室温でも安定なオーステナイ ト組織が得られる組成である Fe-23%Cr-1%N に秤量・混合した後 MA 処理に供した。MA 処理 は混合粉 70gを直径 12 mmの鋼球 (SUJ2 製) 1350gとともに,容積 0.4 Lのステンレス鋼製ミ ル容器に充塡した後,アルゴンガス雰囲気中にて, 遊星型ボールミル装置を用いて 360 ks まで行っ た。得られた MA 粉は 45 μ m 以下 (-350 mesh)



Fig. 2 X-ray diffraction patterns of as-mixed powder of Fe-Cr alloy powders and Cr₂N powder (a), and powder mechanically alloyed for 360ks.



Fig. 3 X-ray diffraction patterns of bulk materials annealed at various temperatures (1173K-1473K), followed by water-cooling. The bulk materials were consolidated at 1073K.

に分級した後、 ϕ 16 mm (肉厚 1 mm)の SUS304 製のパイプに真空封入し 1073 K で厚さ約 1.5 mm までクロス圧延することにより固化成形した。 固化成形体は、幅 20 mm・長さ 40 mm の長方形の 板状に切り出し、1173~1473 K の種々の温度に設 定した 1 気圧の窒素ガス雰囲気炉に投入したのち、 試料の温度が設定温度に達した段階で直ちに水冷 した。得られた試料は、化学分析・組織観察・引 張試験に供した。

2. 実験結果

Fig. 2は, MA 処理前後の粉末の X 線回折パ



Fig. 4 Scanning electron micrographs of the developed steels. Heated to 1373K-1473K after consolidation at 1073K.



Nominal strain

Fig. 5 Nominal stress-strain curves of the fine-grained high nitrogen steel and commercial SUS304.

ターンを示す。混合ままの粉末では Fe-Cr 粉に対 応する bcc のピークと Cr₂N のピークが認められ るが,360 ksの MA 処理後では bcc のピークのみ となり、そのピーク位置も低角度側へシフトして いる. このことは、MA 処理で付与される莫大な 機械的エネルギーによって Cr₂N が分解し,合金 化が生じたことを示唆している.Fig.3は,MA粉 を 1073 K で固化成形した試料,および固化成形 体を種々の温度(1173~1473 K)まで加熱・水冷 して得られた試料の X 線回折パターンを示す. 固 化成形ままおよび 1273 K 以下の加熱材では, bcc と Cr₂N のピークが観察されるのに対し, 1373 K 以上の加熱材では, bcc のピークは見られず, fcc と Cr₂N のピークが観察される. すなわち, 1373 K 以上に加熱すれば、冷却後に室温でも基地がオー ステナイト組織のバルク材を得られることが分か る.これは,温度の上昇とともに固溶窒素量が増 加し、窒素によるオーステナイト安定化作用が大 きくなったことに起因する。化学分析により1373 K, 1423 K, 1473 K 加熱材における固溶窒素濃度 を測定した結果、それぞれ0.53%、0.68%、0.86% であった. Fig. 4 は, 各加熱材の SEM 組織を示 す. 組織中の黒い穴のように見える部分は腐食前 には観察されなかったことから、気孔ではなく腐 食によって脱落した析出物の跡と考えて良い. オーステナイト粒は加熱温度の上昇とともに成長 しているものの,1473K加熱材においても2.2

285

3.展望

自動車用や建築用の構造材料の分野では、緻密 な合金設計や組織制御により材料の機械的性質を 正確に制御する技術がかなり進んでおり、用途に 応じて様々な材料および製造プロセスが適用され ている. それに対して生体用金属材料の分野では, 使用実績が重視されるあまり、こうした材料開発 に関する技術は未だ十分に活用されていないのが 現状であろう.しかしながら,一般構造用に比べ てより高い性能と信頼性が要求される分野である からこそ,これまでに蓄積されてきた材料組織制 御の技術を駆使して特性改善を図っていくべきで あると感じる。今回紹介させていただいたメカニ カルアロイング一固化成形プロセスによるニッケ ルフリーステンレス鋼の組織制御は一例にすぎな いが、今後、様々な加工熱処理による生体用金属 材料の特性改善に関する研究分野が発展していく ことを期待する.