

試作歯科用 Ti-Zr-Sn 系合金の铸造性と機械的性質

緒方 敏明

緒言

適切な铸造性と機械的強度を有し、かつ、生体適合性に優れた新しい歯科用チタン合金を開発することを目指した。すなわち、Ti と同等の生体適合性を持ち、Ti と全率固溶する Zr、および Zr に対する α 安定化元素としての効果が期待できる Sn を添加元素とする Ti-Zr-Sn 系 3 元合金を試作し、铸造性を評価するとともに、铸造体の機械的性質を検討した。

材料と方法

材料に純 Ti JIS 2 種、スポンジ状純 Zr、および純 Sn を用いて、Ti-Zr 2 元合金と 3 種類の Ti-Zr-Sn 3 元合金を試作した。2 元合金は平衡状態図上で熔融温度が最も低くなる Ti-55 mass%Zr とした。その 2 元合金における Ti の一部を 3, 6, 9 mass% の Sn で置換した 3 種類の 3 元合金 (以下 Sn 0, Sn 3, Sn 6, Sn 9 と略称する) を作製した。

まず、Ti インゴットの上面に直径 6 mm、深さ 5~6 mm の窪みを設け、中に Sn を収めて、アルゴン雰囲気下で溶解し、Ti-Sn 母合金を作製した。これにより先に溶けた少量の Sn が Ti から離脱することもなく、溶解が完了した。次に小粒のスポンジ状 Zr を溶解して、一塊とした。Ti-Sn 母合金インゴットの上部に一塊にした Zr を重ね合わせて、溶解しインゴットを作製した。冷却後、銅るつぼ側の底面を電極側に裏返し、再びアーク溶解を行い、铸造システムに使用可能なサイズの Ti-Zr-Sn 合金を作製した。合金作製時の不純物元素による汚染の有無を確認するため、炭素、窒素および酸素の定量分析を行った。分析結果は純 Ti ならびに Ti 合金の JIS データと比べて汚染量ならびに各試料間の相違も少なく、試料合金が良好に作製されていた。铸造性は、0, 3, 6, 9 mass% Sn を含む合金と純 Ti を板状と網目状に铸造して铸造面積により評価した。板状パターンは 20×20×0.3 mm の正方形シートワックスの下半分に 1.4 mm 厚の三角形のパラフィンワックスをリテンションビーズ液で接着して重ね合わせた。網目状パターンは一桁が 2.5×2.5 mm の網目状を 21×21×0.7 mm の正方形にカットしたものを利用した。それぞれのパターンに対して、直径 2.0 mm、長さ 3.0 mm のレディーキャスティングワックスを使用して角部にスプルーを付け、埋没、铸造した。

実験 1 : 铸造性の評価

網目状パターンによる铸造性評価は、完全に铸造まれて欠損することなく交わった交点数、および交点と交点を結ぶ線が完全な形に铸造まれた通過線 (セグメント) の数を数えた。

実験 2 : 铸造欠陥の観察

铸造性の評価を行った網目状と板状試料、および X 線回折実験用と引張試験用試料の X 線透過像を診療用 X 線撮影装置を用いて 60 kV、40 mA の条件で撮影して、内部铸造欠陥を観察した。

実験 3 : 引張試験

JIS Z 2241 に従って作製した直径 3 mm、標点間距離 15 mm のダンベル型铸造試験片を万能試験機を用いて、ひずみ速度 8.33×10^{-4} /s (引張速度 0.9 mm/min) の条件で引張試験を行った。測定には各合金ともに 3 個の試料を用いた。

実験 4 : X線回折

X線回折装置を用いて、板状に鑄造した試料の X線回折実験を行い、合金の相状態を検討した。すなわち、管電圧 50 kV、管電流 150 mA の条件で、回折角 2θ が 10° から 140° までの X線回折プロファイルを得て、合金の結晶構造を調べた。

結果および考察

実験 1 では両評価法による結果は同じ傾向を示し、Sn3 を除いて、鑄込み率はほぼ 100%であった。実験 2 では全ての試料中で、スプルー直下における巣の発生が若干認められたが、純 Ti と比較して致命的な鑄巣の発生は認められなかった。鑄造体の X線透過像を見る限りでは、合金化が原因となる鑄巣の増加はなかった。実験 3 では純 Ti と比較すると、合金化することですべての試作合金の伸びは減少したが、引張強さは著しく向上した。Sn9 では塑性変形領域が消失し、脆化していた。実験 4 では全ての試作合金において、最密六方格子で指数付けされる相が同定された。

結論

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

1. Sn3 を除いて純 Ti と同等の優れた鑄造性を示した。
2. 今回の鑄造条件ではスプルー直下に鑄巣が発生したが、純 Ti と同等のレベルであった。
3. Sn0, Sn3, Sn6 の引張強さは純 Ti の約 2 倍であった。
4. 全ての試作合金において、最密六方格子構造で指数付けされる相が同定された。
5. 試作した Ti-Zr-Sn 合金の中では、鑄造性および機械的性質の観点から Sn6 が最も優れており、歯科鑄造用合金として有望である。