TiAl の室温延性と高温強度 (1373 K)

市川 洌* 木下好司**

1. はじめに

室温延性が低い欠点を持つ金属間化合物 TiAl は、密度が小さく高温強度に優れていることから、将来の構造用高温材料として有望視されている。そのため TiAl 系材料開発は世界中で活発に行われ、TiAl は構造材料として 1273 K 以下で使用できるとの評価が現在、定説になっている⁽¹⁾。この理由は TiAl が 1398 K 付近で共析変態を起こし、1273 K 以上では強度が酸化等で激減するとの予測によるものであろう。したがって、TiAl の 1373 K での引張強度は世界でも公表されたデータがほとんどないというのが現状である。

通産省工業技術院プロジェクト「超耐環境性先進材料の研究開発」で高比強度金属間化合物 (TiAl) の構造材料化を目標に、1989 年 (平成元年) から 8 年間、研究開発が実施された。その一環として、筆者らは、アルゴン雰囲気中で 2 元系、3 元系および 4 元系金属間化合物 TiAl 合金の高速攪拌凝固実験を行った。その結果、Ti-44 原子%Al 合金で飛躍的な結晶粒微細化を達成し、室温延性 3.3%、かつ 1173 と 1273 K で引張強度 538 と 439 MPa と、機械的特性を大幅に改善することに成功した⁽²⁾⁽³⁾。

さらに高温の 1373 K での引張強度と室温延性と改善するために、炭化物等のセラミック微粒子を添加し、TiAl 合金成分の凝固中に機械的攪拌を加えて、粒子分散強化型金属間化合物 TiAl 合金を創製する高速攪拌凝固実験を行った⁽⁴⁾。

2. 高速攪拌凝固実験

化学組成が金属間化合物 TiAl 合金になるように純度 99.5% 以上の粒状スポンジチタン、純度 99.99% のアルミニウム細片を配合した。それに炭化物、ホウ化物等のセラミック微粒子を加えた合計 0.5 kg をカルシア坩堝に入れ、真空チャンバ内高周波炉に設置した。チャンバ本体を真空排気後、0.1 MPa 程度の不活性なアルゴン雰囲気圧に設定した。所定のガス雰囲気圧に到達した後、高周波加熱を行い、短時間の内に素材の金属成分のみを溶解した。その後、高周波炉直上のルツボ蓋を開放し、ルツボ昇降機構で溶湯の入ったルツボを上昇させ、攪拌槽内に移行させた。攪拌槽内で溶湯中に攪拌棒を挿入して低速度で回転させ、徐々に攪拌棒の回転速度を最高 70 s^{-1} (4200 rpm) までの一定の速度に到達させた。その後、一定速度で数十秒の高速攪拌を続行して、生成結晶を破碎し、均質微細な結晶粒を持つマイクロ組織を出現させた。一定時間の攪拌後、昇降機構でルツボを下降させて、攪拌棒と供試材の溶着を防止した。

こうして攪拌凝固した金属間化合物 TiAl 合金鑄塊から試

図1 金属間化合物 TiAl 合金の室温延性と高温強度。

験片を切り出し、室温引張試験を大気中で、高温引張試験をアルゴンガス還流雰囲気で行った。試験条件は、室温で歪み速度が $1.1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、1373 K で歪み速度が $1.1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ である。

3. 複合特性

攪拌凝固した金属間化合物 TiAl 合金の室温延性と 1373 K での引張強度との関係を図 1 に示す⁽⁴⁾。同図には上記プロジェクトで他の研究機関が開発した金属間化合物 TiAl 合金の室温延性と 1373 K での引張強度の関係を併記する⁽⁵⁾。その試験条件は、室温高温とも歪み速度が $7.2 \sim 10 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ である⁽⁵⁾。

特に室温延性と高温強度の複合特性が優れた攪拌凝固材について述べる。Ti-44%Al-10%TiC 合金では室温伸び 3%、1373 K での引張強度 208 MPa、Ti-46%Al-10%TiC 合金では室温伸び 3%、1373 K での引張強度 240 MPa を得た。これらの 2 つの合金のマイクロ組織には、TiC 粒子の存在は見られず、ラメラ結晶粒内に Ti と C が濃縮した第 2 相の均質分散が観察された⁽⁴⁾。

Ti-44%Al-5%ZrC 合金では室温伸び 3.3%、1373 K での引張強度 243 MPa、Ti-44%Al-10%ZrC 合金では室温伸び 4%、1373 K での引張強度 280 MPa、Ti-46%Al-10%ZrC 合金では室温伸び 4%、1373 K での引張強度 240 MPa を得た。これらの 3 つの合金のマイクロ組織には、ZrC 粒子の存在は見られず、ラメラ結晶粒内に Ti と C の濃縮した第 2 相の均質分散が観察された。また、Zr が濃縮したラメラ結晶粒が散在することも確認された。したがって Ti-Al-ZrC 系合金では攪拌凝固で *In-situ* composite の創製により、室温延性と 1373 K での引張強度の複合特性の大幅な改善を達成した⁽⁴⁾。

4. おわりに

TiAl の構造材料化を実現するために、セラミック微粒子を添加した TiAl 合金の攪拌凝固実験を行い、室温延性と高温強度の組合せ特性が飛躍的に優れた TiAl 構造材料の創製に成功した。特に、Ti-44%Al-10%ZrC 合金では室温伸び 4%、1373 K での引張強度 280 MPa を得た。この複合特性値は、TiAl 系では世界的に見て比較できるデータがないため、おそらく世界最高値である。

文 献

- (1) G. Sauthoff: Materials Corrosion, **47**(1996), 589.
- (2) 市川 洌, 木下好司: 日本金属学会誌, **59**(1995), 571.
- (3) K. Ichikawa and Y. Kinoshita: Mater. Trans., JIM, **37**(1996), 1311.
- (4) K. Ichikawa and Y. Kinoshita: Materials Science and Engineering A (in press).
- (5) 橋本敬三, 花村年祐, 水原洋治: 超耐環境性先進材料シンポジウム概要集, RIMCOF/JITA, (1995), 67; (1996), 69; (1997), 81.

* 機械技術研究所基礎技術部材料設計研究室長 (〒305 つくば市並木1-2) ** 機械技術研究所基礎技術部材料設計研究室主任研究官 Room Temperature Ductility and High Temperature (1373 K) Strength of TiAl; Kiyoshi Ichikawa, Yoshiji Kinoshita (Mechanical Engineering Laboratory, Agency of Industrial Science and Technology, Tsukuba)
Keywords: rheocasting, compocasting, intermetallic-matrix composite material, titanium aluminate, elongation, tensile strength, high temperature properties
1997年11月5日受理