

خواص فیزیکی کامپوزیت آلومیناید تیتانیم-آلومینا

علیرضا کمالی* و جواد فهیم

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی علم مواد

تاریخ ثبت اولیه: ۸۷/۴/۴، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۷/۸/۲۶، تاریخ پذیرش قطعی: ۸۷/۱۰/۵

چکیده کامپوزیت های آلومیناید تیتانیم-آلومینا ($TiAl(Ti_3Al)-Al_2O_3$) نسل جدیدی از مواد پیشرفته با خواص منحصر به فردند که در کاربردهای دما بالا عملکرد مناسبی دارند. در این مقاله، خواص فیزیکی کامپوزیت تولید شده به روش سنتز احتراقی و پرس گرم بررسی شده است. مطابق نتایج به دست آمده، این کامپوزیت، هادی الکتریسیته است. با وجود این، از نظر هدایت حرارتی غیر هادی به شمار می آید. خواص نامبرده برگرفته از ساختار ویژه این کامپوزیت است.

کلمات کلیدی کامپوزیت، آلومیناید تیتانیم-آلومینا، هدایت حرارتی، هدایت الکتریکی.

Physical Properties of Titanium Aluminide-Alumina Composite

A.R. Kamali* and J. Fahim

Faculty of Materials Science Engineering, Malek Ashtar University of Technology

Abstract Titanium aluminide-alumina composite is a new category of advanced materials with unique properties titanium and promising performance for high-temperature applications. In this research, the physical properties of these composites are investigated. The composites were prepared by hot pressing of a powder mixture produced by combustion synthesis. According to the results, this composite exhibits electrical conductivity; however, no thermal conductivity is observed.

Keywords Composite, Titanium Aluminide-Alumina, Thermal Conductivity, Electrical Conductivity.

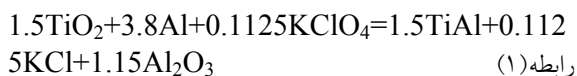
*عهده دار مکاتبات

نشانی: اصفهان، شاهین شهر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده مهندسی علم مواد.

تلفن: ۰۳۱۲-۵۹۱۲۴۳۷، دورنگار: ۰۳۱۲-۵۹۱۲۴۳۷، پیام نگار: alirezakam@yahoo.com

۱- مقدمه

شد:



در محفظه مذکور، مواد اولیه پس از اختلاط در داخل بوته آلومینایی ریخته می‌شوند و با یک کوبه تحت کوبش قرار می‌گیرند. سپس یک درپوش آلومینایی بر روی بوته گذاشته می‌شود و بوته داخل یک محفظه فولادی قرار می‌گیرد. فضای خالی داخل محفظه فولادی با پودر آلومینا پر می‌شود. سپس درپوش محفظه فولادی از محل فلنج‌های تعبیه شده بر روی محفظه به آن پیچ می‌شود. در این تحقیق آنالیز فازی با یک دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) و با اشعه $\text{Cu}(K\alpha)$ انجام شد. مشاهدات میکروسکوپی نیز با میکروسکوپ نوری مدل ZEISS، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل زیمنس و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل CEM 902A با قدرت 100KV انجام شد. پس از تولید پودر کامپوزیتی در مقیاس نانومتری، فرآیند چگالش با استفاده از کوره پرس گرم ساخت شرکت ASTRO کشور آمریکا در دمای ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه و تحت فشار ۶ مگاپاسکال انجام شد.

هدایت الکتریکی (σ) در دمای محیط با قانون ویدمن-

فرانز [۱۳] و براساس رابطه زیر اندازه‌گیری شد:

$$\sigma = (\Delta L/A) \times (I/\Delta V) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه ΔV اختلاف پتانسیل، ΔL طول نمونه و I جریان گذرنده از سطح مقطع A است. در شکل ۱ نمای از سیستم اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نشان داده شده است. همچنین هدایت الکتریکی نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM E-1461 با یک دستگاه آنالیزگر خواص حرارتی مدل FLASHLINE TM 2000 انجام شد.

آلیاژهای بر پایه ترکیب بین فلزی TiAl به دلیل خواص مکانیکی جالب مواد مناسبی برای ساخت قطعاتی مانند پره‌های توربین‌اند. آلیاژهای آلومیناید تیتانیم استحکام بالایی دارند که آن را تا حدود نقطه ذوب خویش حفظ می‌کنند [۳-۱].

از سوی دیگر کامپوزیت‌های زمینه بین فلزی نسل جدیدی از کامپوزیت‌ها با خواص جذاب‌اند. کامپوزیت‌های آلومیناید تیتانیم-آلومینا جذابیت خاصی برای استفاده در کاربردهای دمای بالا دارند [۴]. این دسته از کامپوزیت‌ها به دلیل مقاومت به اکسیداسیون خوب و همچنین تطابق مطلوب میان ضرایب انبساط حرارتی اجزای تشکیل دهنده، مورد توجه محققان هستند [۴-۷].

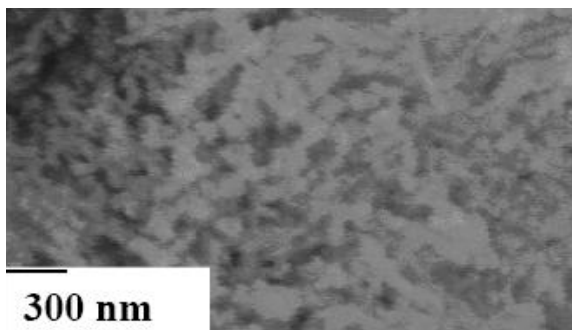
تولید این کامپوزیت‌ها روش‌های مختلفی داشته [۸، ۹] و بررسی خواص مکانیکی این کامپوزیت‌ها بسیار مورد توجه بوده است [۱۰، ۱۱]. از سوی دیگر با این که بررسی خواص فیزیکی آنها برای کاربردهای عملی بسیار مهم است، خواص آنها کمتر مورد توجه محققان بوده است.

در این تحقیق خواص حرارتی و الکتریکی کامپوزیت آلومیناید تیتانیم-آلومینای تولید شده با روش سنتز احتراقی و سپس فرآیند پرس گرم بررسی شده است.

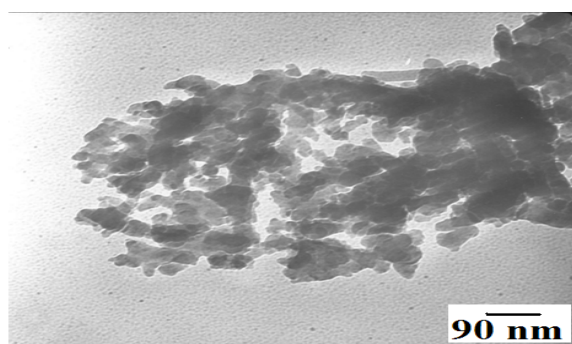
۲- نحوه انجام آزمایش

مواد اولیه این تحقیق پودرهای دی اکسید تیتانیم ($100\mu\text{m} < \text{ و } 99/95\%$)، آلومینیوم ($150\mu\text{m} < \text{ و } 99/98\%$) و پرکلرات پتاسیم ($150\mu\text{m} < \text{ و } 99/99\%$) است. فرآیند سنتز احتراقی در یک کوره مافلی (زمینی) با استفاده از نرخ گرمایش $20^\circ\text{C}/\text{min}$ در محفظه واکنش [۱۲] بر اساس رابطه ۱ انجام

۳. نتایج و بحث



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پودر تولیدی.



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری پودر تولیدی.

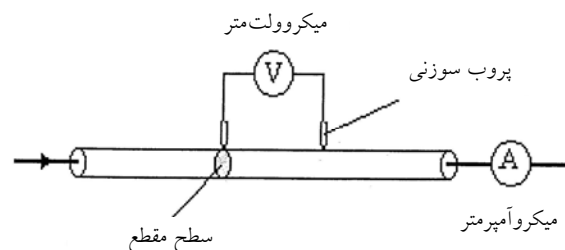
قطعه تف جوشی شده در مقایسه با پودر سنتز شده اولیه است. بدنه تولید شده متشکل از فازهای مختلفی اعم از Al_2TiO_5 ، $\text{Al}_2\text{Ti}_7\text{O}_{15}$ ، TiAl و Al_2O_3 است. از طرفی نتایج بررسی های میکروسکوپ نوری (شکل ۶) و همچنین میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه آنالیز خطی (شکل ۷) گویای ایجاد یک ساختار کامپوزیتی است.

کامپوزیت مذکور متشکل از دو فاز پیوسته آلومیناید تیتانیم و آلومیناست. پیوستگی این فازها کاملاً مشهود است و با کامپوزیت های تولید شده تا به امروز متفاوت است.

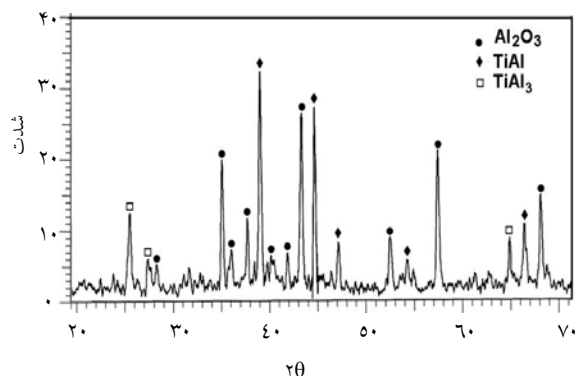
بر اساس شکل ۵ فازهای اکسیدی Al_2TiO_5 و $\text{Al}_2\text{Ti}_7\text{O}_{15}$ پس از تف جوشی به وجود آمده است. تشکیل این فازها بر اساس

شکل ۲ نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) از محصول پودر سنتز شده اولیه را نشان می دهد. این پودر مخلوطی از ترکیبات بین فلزی TiAl ، TiAl_3 و آلومینا (Al_2O_3) است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۳) و همچنین میکروسکوپ الکترونی عبوری (شکل ۴) مبین تولید پودر کامپوزیتی آلومیناید تیتانیم-آلومینا در مقیاس نانومتری است. مطابق با شکل های ۲ و ۴، پودر تولید شده مشتمل بر آگلومره های ۳۰۰ نانومتری است که خود از ذراتی با اندازه دانه تقریبی ۳۰ نانومتر تشکیل شده اند.

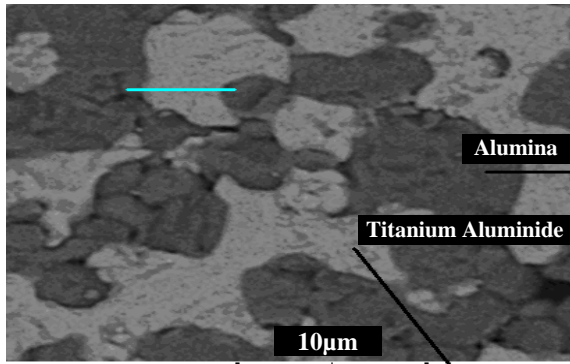
شکل ۵، نمایی از الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) از



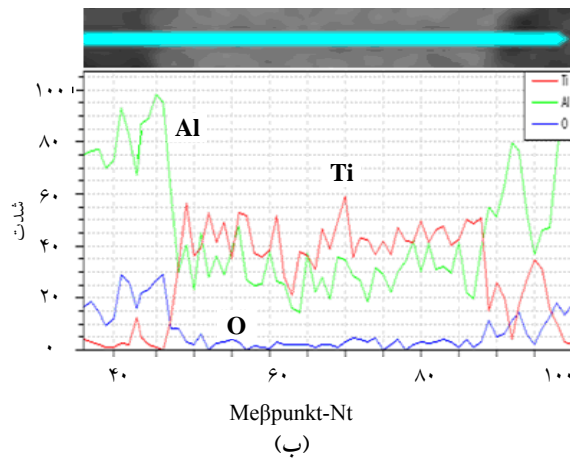
شکل ۱. نمایی از سیستم اندازه گیری هدایت الکتریکی.



شکل ۲. الگوی پراش اشعه ایکس محصول پودری.



(الف)



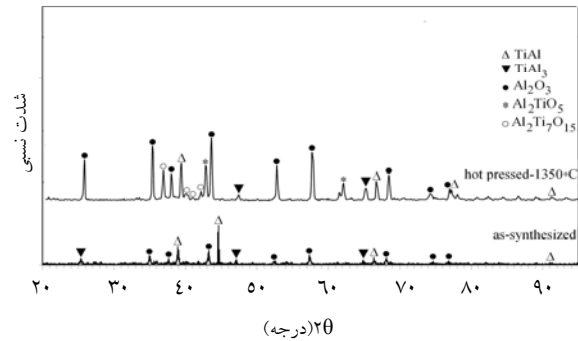
(ب)

شکل ۷. (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از محصول و (ب) آنالیز خطی تصویر.

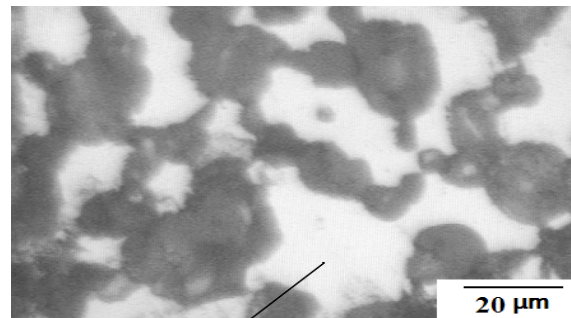
شکل ۷ قابل بررسی است.

مطابق با شکل ۷ میزان اکسیژن از فاز آلومیناید تیتانیم به سمت آلومینا به تدریج افزایش یافته است. افزایش میزان تدریجی اکسیژن نشان می‌دهد که احتمالاً ترکیبات Al_2TiO_5 و $Al_2Ti_7O_{15}$ در حین پرس گرم در فصل مشترک فازهای آلومینا و ترکیبات بین فلزی آلومیناید تیتانیم ایجاد شده‌اند.

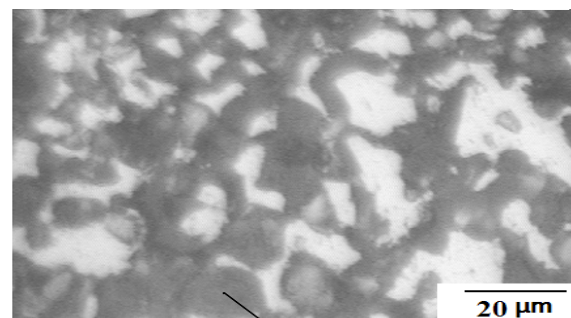
در این پژوهش، خواص حرارتی و الکتریکی کامپوزیت آلومیناید تیتانیم-آلومینای تولیدی اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در مقایسه با سازنده‌های کامپوزیت مزبور در جدول ۱ آمده است. در این جدول همچنین چگالی مواد درج



شکل ۵. الگوی پراش اشعه ایکس از محصول فرآیند پرس گرم در دمای $1350^{\circ}C$ در مقایسه با پودر سنتز شده اولیه.



Titanium Aluminides
(الف)



Alumina
(ب)

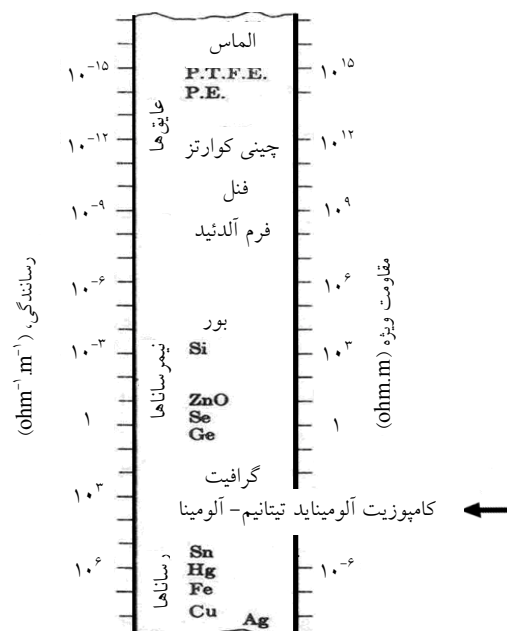
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ نوری از محصول کامپوزیتی پس از فرآیند پرس گرم در دمای $1350^{\circ}C$.

تحت تأثیر فاز پیوسته آلومیناید تیتانیم است. از سوی دیگر این کامپوزیت از لحاظ حرارتی غیرهادی است؛ بنابراین هدایت حرارتی کامپوزیت تحت تأثیر فاز پیوسته آلومیناست.

شده است. در شکل ۸، رسانندگی و مقاومت ویژه مواد با هم مقایسه شده است. مطابق شکل ۸ کامپوزیت تولیدی از نظر الکتریکی هادی است؛ بنابراین هدایت الکتریکی کامپوزیت

جدول ۱. خواص حرارتی و الکتریکی کامپوزیت آلومیناید تیتانیم-آلومینا در مقایسه با اجزاء سازنده آن.

هدایت الکتریکی $(\Omega\text{cm})^{-1}$	هدایت حرارتی (w/mk)	چگالی (g/cm^3)	ماده
۲۰۲۹	۶	۴/۰۱	کامپوزیت تولیدی
۱۱۰۰۰	۱۳	۳/۹	ترکیب بین فلزی آلومیناید تیتانیم [۱۴]
۲۳۴۰۰	۲۲	۴/۵۱	تیتانیم [۱۵]
۳۷۷۰۰	۳۱۷	۲/۷	آلومینیم [۱۵]
$۱۰^{-۱۴}$	۵	۳/۸	آلومینا [۱۵]



شکل ۸. رسانندگی و مقاومت ویژه کامپوزیت تولیدشده در مقایسه با خواص برخی مواد [۱۴].

۴- نتیجه گیری

اعمال فرآیند سترز احتراقی بر مخلوط پودری $TiO_2/Al/KClO_4$

منجر به تولید پودر نانومتری آلومیناید تیتانیم-آلومینا می شود. با اعمال فرآیند پرس گرم بر روی پودر تولیدی، کامپوزیتی متشکل از فازهای پیوسته آلومیناید تیتانیم و آلومینا تولید می شود. مطابق با نتایج به دست آمده، کامپوزیت نامبرده از نظر هدایت حرارتی متأثر از فاز پیوسته آلومینا و از نظر هدایت الکتریکی متأثر از فاز پیوسته آلومیناید تیتانیم است.

مراجع

- Aluminides", *J. of Material Science*, Vol. 27 (1992) 5113-5140.
- Jonas, A., The Future of High Temperature Aerospace Materials, Advanced Engineering Materials, the University of Kansas Department of Aerospace Engineering, (2003).
- Peng, L.M., Lia, Z., Lib, H., Wang, J.H. and Gong, M., "Micro Structural Characterization and Mechanical Properties of $TiAl-Al_2Ti_4C_2-Al_2O_3-TiC$ in Situ Composites by Hot-Press-Aided Reaction Synthesis", *J. of Alloys and Compounds*, Vol. 414 (2006) 100-106.
- Claussen, N., Garcia, D.E. and Jansen, R., "Alumina-Ti Aluminide Interpenetrating Composites, Microstructure and Mechanical Properties", *J. of Material Letters*, Vol. 57 (2003) 3422-3426.
- Wagner, F., Garcia, D. E., Krupp, A. and Claussen, N., "Interpenetrating $Al_2O_3-TiAl_3$ Alloys Produced by Reactive Infiltration", *J. of Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 19 (1999) 2449-2453.
- Valery, I., Renat, I. and Andrey, K., "Mechanical Properties of Thermomechanically Treated Ti-rich $\gamma+\alpha_2$ Titanium Aluminide Alloys", *J. of Scripta Materialia*, Vol. 49 (2003) 1047-1052.
- Arno, B., Heinrich, K. and Helmut, C., "Deformation Behavior of Differently Processed Y-Titanium Aluminides", *J. of Materials Science and Engineering: A*, Vol. 329-331 (2002) 153-162.
- Kamali, A., Razavizadeh, H. and Hadavi, S.M., Simultaneous Production of TiAl and $CaAl_4O_7$, AU Patent No: 2005100278 B4, (2005).
- Thermal and Electrical Conductivity of Metals, PHYWE Series of Publications Laboratory Experiments, Physics, PHYWE SYSTEME GMBH, 37070 Gottingen, Germany.
- Kainuma, R., Fujita, Y., Mitsui, H., Ohnuma, I. and Ishida, K., "Phase Equilibria Among α (hcp), β (bcc), γ ($L1_0$) Phases in Ti-Al Base Ternary Alloys", *J. of Intermetallics*, Vol. 8 (2000) 855-867.
- لارنس اچ. ونولک: اصول مهندسی و علم مواد، ترجمه دکتر فخرالدین اشرفی زاده، فریبا سعادت، اردشیر طهماسبی و احمد منشی، (۱۳۷۶)، ایران، تهران.
- Zhang, W.J., Reddy B.V. and Deevi, S.C., "Physical Properties of TiAl-Based Alloys", *J. of Scripta Materialia*, Vol. 45 (2001) 645-651.
- Fanta, G., Bohn, R., Dahms, M., Klassen, T. and Bormann, R., "The Effect of Ultra Fine Grained Microstructure on the Hot-Workability of Intermetallic Ceramic Composites Based on $\gamma-TiAl$ ", *J. of Intermetallics*, Vol. 9 (2001) 45-49.
- Li, Z.W., Gao, W., Zhang, D.L. and Cai, Z.H., "High Temperature Oxidation Behavior of a TiAl- Al_2O_3 Intermetallic Matrix Composite", *J. of Corrosion Science*, Vol. 46 (2004) 1997-2007.
- Travitzky, N., Gotman, I. and Claussen, N., "Alumina-Ti Aluminide Interpenetrating Composites, Microstructure and Mechanical Properties", *J. of Materials Letters*, Vol. 57 (2003) 3422-3426.
- Fores, F.H., Suryanarayana, C. and Eizezer, D., "Review Synthesis, Properties and Application of Titanium