

بررسی اثر جانشینی Al با Si بر تحول فازی و ریزساختاری ترکیبات MoSi_2 تهیه شده به روش SHS^۱

سیدعلی طیبی فرد*، رحیم یزدانی راد، مسعود درودیان و کامران احمدی

پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۶/۲/۲۳، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۶/۸/۱۶، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۶/۱۲/۲۳

چکیده در ادامه تحقیقات قبلی مبنی بر سنتز و چگالش ترکیبات $(\text{Mo}_x\text{Si}_{1-x}\text{Al})$ به روش SHS، هدف این تحقیق مطالعه محصول سنتز شده از نظر ریزساختاری و فازی است. آنالیز گرماسنجی DSC، نشان داد که با افزایش درصد Al به سیستم Mo-Si، دمای سنتز از حدود ۱۴۰۰°C به ۷۵۰°C کاهش می یابد. بررسی های ریزساختاری توسط SEM حاکی از توزیع یکنواخت Al در کل ریزساختار است؛ به طوری که با افزایش درصد Al رشد دانه ها و تحذب بیشتر مرز دانه ها دیده می شود. آنالیزهای انجام شده با XRD نشان دهنده سنتز فاز $\text{Mo}(\text{Si}_x\text{Al}_{1-x})_2$ در $(x=0.2)$ (در ترکیب $\text{Mo}(\text{Si}_{1-x}\text{Al}_x)_2$ و تشخیص و ارزیابی فاز جدید $\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$ در $0.3 \leq X \leq 0.5$ است.

کلمات کلیدی MoSi_2 ، جانشینی، روش SHS، $\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$.

Effect of Si by Al Substitution on Phase Transformation and Microstructure of MoSi_2 based Compounds Synthesized by SHS Method

S.A. Tayebifard*, R. Yazdani Rad, M. Dooroodian and K. Ahmadi

Materials and Energy Research Center

Abstract The aim of this study is investigation of phases and microstructure of synthesized products. DSC analysis proved that with addition of Al to Mo-Si system, the synthesis temperature is decreased from 1400°C to 750°C. The micro structural analysis by SEM showed homogeneous distribution of Al particles in microstructure so that with increasing the percentage of Al the grains growth and curvature of grain boundaries occur. XRD analysis confirmed that in $X=0.2$ ($\text{Mo}(\text{Si}_{1-x}\text{Al}_x)_2$) the major phase is $\text{Mo}(\text{Si}, \text{Al})_2$ and in $0.3 \leq X \leq 0.5$ the major phase transformers to $\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$ as a new phase.

Keywords MoSi_2 , Substitution, SHS, $\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی.

تلفن: ۰۲۶۱-۶۲۰۴۱۳۱، دورنگار: ۰۲۶۱-۶۲۰۱۸۸۸، پیام نگار: a-tayebi@merc.ac.ir

1. Self-Propagating High Temperature Synthesis.

۱- مقدمه

پیروی از ترکیب $\text{Mo}(\text{Si}_{1-x}\text{Al}_x)_2$ اگر $x=0.06$ انتخاب شده باشد، تغییر فاز MoSi_2 به $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ و تغییر ساختار کریستالی C11b به C40 و C54 دیده می شود [۵]. با توجه به الگوهای پراش اشعه X این نمونه ها [۵] پیک ماکزیمم فاز $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ با اضافه کردن $x=0.1$ ظاهر می شود. البته با جانشینی بیشتر Al به جای Si ($0.5 \leq x \leq 0.2$)، پیک ماکزیمم حالت دوقلوبی پیدا می کند، (در شکل ۴ مشخص شده است)، که در آن تحقیق و کارهای مشابه، بدون اشاره به این پدیده، فاز اصلی کماکان $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ عنوان شده است [۳، ۵، ۶، ۹].

ویژگی های منحصر به فرد SHS در سنتز مواد نوین مهندسی ترکیبات بین فلزی و سرامیک های غیر اکسیدی، از جمله سادگی فرآیند، تجهیزات نسبتاً ارزان و سنتز انتخابی فازها در سیستم های چندفازی، از دلایل عمده انتخاب این روش برای سنتز ترکیبات مورد نظر در این تحقیق بود [۱۰]. تنها مسئله ای که در اینجا اهمیت دارد، بررسی امکان سنتز فازهای مورد نظر به روش SHS است. محاسبات ترمودینامیکی انجام شده، قابلیت روش SHS در سنتز فازها در سیستم دوتایی Mo.Si به ویژه در محدوده مولی Mo_2Si و در سیستم سه تایی Mo.Si.Al را نشان می دهد [۱، ۴، ۸، ۱۸].

در این تحقیق، ضمن سنتز مواد اولیه به روش SHS، تحولات دمایی نمونه ها با افزایش دما و درصد Al و تغییرات ریزساختاری و فازی محصول مورد توجه قرار گرفت. در این راستا توجه به دوقلوبی شدن پیک ماکزیمم فاز اصلی در الگوهای پراش اشعه X، به شناسایی یک فاز جدید، در این تحقیق منجر شد.

۳- فعالیت های تجربی

پودر مواد اولیه واکنشگر، Mo با خلوص ۹۹/۷٪ و

مولیبدن و سیلیسیم ترکیباتی را تشکیل می دهند [۱، ۲]، که از بین آنها مولیبدن دی سیلیساید (MoSi_2) با توجه به ویژگی هایی نظیر نقطه ذوب الکتریکی بالا، مقاومت عالی در برابر اکسیداسیون و خوردگی دمای بالا و چگالی نسبتاً پایین (6.31 g/cm^3)، بیشترین کاربردهای صنعتی را دارد. با وجود این، معایبی چون تردی و شکنندگی در دماهای پایین تر از 1000°C ، مقاومت خزشی پایین در دماهای بالاتر از 1200°C و اکسیداسیون تخریبی (Pest Oxidation)، در محدوده دمایی 300°C تا 600°C استفاده مولیبدن دی سیلیساید بدون افزودنی را محدود می کند. با اضافه کردن Al به MoSi_2 فاز $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ تشکیل می شود، که خواص مکانیکی و اکسیداسیونی MoSi_2 را بهبود می بخشد [۳]. MoSi_2 در دمای پایین تر از 1900°C دارای ساختار کریستالی تتراگونال مرکز حجمی C11b.type دارد و در بالای 1900°C ساختار هگزاگونال C40 است [۴]. $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ دارای ساختار آن هگزاگونالی C40 در تمام دماهاست. بهبود خواص مکانیکی $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ به تقارن بیشتر ساختار هگزاگونالی C40 نسبت به C11b و کاهش اکسیداسیون تخریبی آن به تغییر حجم پایین اکسیداسیونی $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ به نسبت MoSi_2 نسبت داده می شود [۳].

۲- مرور منابع مطالعاتی

مولیبدن آلومینو سیلیساید $\text{Mo}(\text{Si}_{1-x}\text{Al}_x)_2$ ($0.5 \leq x \leq 0.2$)، یکی از فازهای بین فلزی سه تایی در سیستم سه جزئی مولیبدن، سیلیکون و آلومینیم است. این فاز را ابتدا به هنگام مطالعه سیستم $\text{MoSi}_2\text{-Al}$ Nowotny و همکارانش در سال ۱۹۵۰ تشخیص دادند [۴].

عنوان شده است که با اضافه کردن Al به سیستم Mo.Si و

دیگرام دوتایی [۱۷] Si_{۱۷}Al این پدیده را نشان می دهد، (تحول یوتکتیک در دمای (۸۵۰K) ۵۷۷°C. پیک گرمزای تشکیل شده در دمای ۷۳۸°C مربوط به واکنش SHS و سنتز فاز Mo(Si,Al)_۲ است.

شکل ۲ الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD) مربوط به ترکیبات Mo(Si_{۱-x},Al_x)_۲ در ۰/۲ ≤ x ≤ ۰/۵ را نشان می دهد. در اینجا دمای شروع واکنش در مقایسه با ترکیب x=۰ MoSi_۲ به دلیل وجود مایع یوتکتیکی، به شدت کاهش یافته (حدود ۸۰۰°C) شکل ۱-a. با ادامه افزایش دما، پیک گرمزای دوم ظاهر می شود.

عنوان شده است که این پیک مربوط به سنتز MoSi_۲ است [۱۸]. لیکن در اینجا دمای سنتز MoSi_۲ (۱۱۳۸/۵°C) در مقایسه با سنتز این فاز در نسبت x=۰ (۱۳۸۷/۵°C) کاهش یافته است. وجود واکنش اول در این سیستم (x=۰/۲) می تواند به عنوان یک عامل تسریع بخش (Trigger)، مطرح شود که سبب کاهش دمای سنتز مولیدن دی سیلیساید شده است [۱۸]. با افزایش مقدار Al (x=۰/۲) پیک دوم گرمازا حذف شده و تنها یک پیک گرماگیر مربوط به ظهور مایع یوتکتیکی و یک پیک گرمازا مربوط به واکنش SHS در شکل ۱-b دیده می شود. بنابراین می توان گفت فاز MoSi_۲ در این نمونه ها دیده نمی شود که این مسئله در الگوهای پراش اشعه X این ترکیب شکل ۲ نیز تأیید می شود. با افزایش آلومینیم در مقادیر x=۰/۴، ۰/۵ نیز الگوی DSC مشابه الگوی شکل ۱-c به دست می آید [۱].

شکل ۳- ریزساختار سطح شکست نمونه های سنتز شده با درصد های متفاوت آلومینیم به ترتیب از x=۰/۲ تا x=۰/۵ را نشان می دهد. مطابق این شکل با افزایش درصد Al، شکل دانه ها از حالت چندضلعی هایی با زوایای تند و گوشه دار به اشکالی با و انحنای بیشتر زوایا و نرم تر تغییر می کند.

دانه بندی کمتر از ۴۰ μm از شرکت Riedel، Si با خلوص بالای ۹۹٪ و دانه بندی زیر کمتر از ۱۵۰ μm و Al با خلوص ۹۹٪ و دانه بندی کمتر از ۴۰ μm از شرکت Merck تهیه شد. ابتدا پودرهای مواد اولیه مطابق فرمولاسیون Mo(Si_{۱-x},Al_x)_۲ X_{۰/۲-۰/۵} توزین و باهم مخلوط شدند. سپس نمونه های فشرده شده از این مخلوط با پرس تک محور با فشار حدود ۲۷۰ MPa تهیه شد. نمونه ها در دمای ۴۰۰°C به مدت یک ساعت تحت خلأ، پیش گرم شده و در دمای ۸۵۰°C در محیط آرگن سنتز شدند. در نهایت محصول فرآیند سنتز توسط SEM برای مطالعات ریزساختاری و XRD برای شناسایی فازهای به دست آمده مورد ارزیابی شد. علاوه بر این نمونه های فشرده شده خام تحت آنالیزهای DSC برای تعیین رفتار حرارتی حین سنتز تحت آنالیز DSC قرار گرفتند^۲.

۴- نتایج و بحث

رفتار حرارتی نمونه ها، (با افزایش درصد Al در ترکیب مواد اولیه)، حین سنتز به کمک آنالیز DSC، (گرماسنجی افتراقی)، ارزیابی شد. شکل ۱-a، الگوی DSC نمونه با ترکیب Mo_۲Si بدون افزودنی Al را نشان می دهد. پیک شدید گرمازا در دمای نزدیک به ۱۴۰۰°C ناشی از واکنش SHS و سنتز MoSi_۲ است. الگوهای پراش اشعه ایکس، XRD ارائه شده در منابع نیز سنتز MoSi_۲ در این حالت را نشان می دهند [۱۲، ۱۰]. شکل ۱-b) الگوی DSC نمونه با ترکیب x=۰/۲ Mo_۲(1-x)Si_۲xAl را نشان می دهد.

در این شکل یک پیک گرماگیر و دو پیک گرمازا دیده می شود. با افزایش دما، پیک اول (گرماگیر) در دمای ۵۶۲°C ظاهر می شود که ناشی از تشکیل مایع یوتکتیکی Si_{۱۷}Al است.

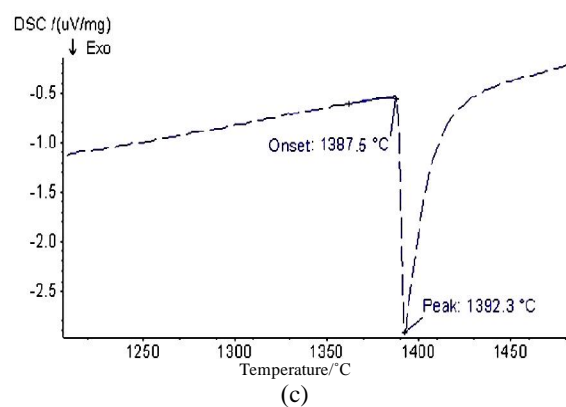
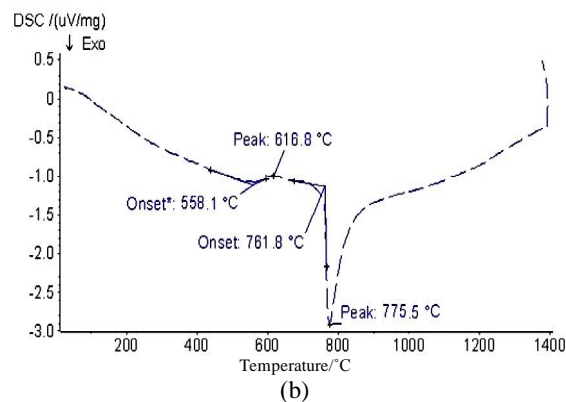
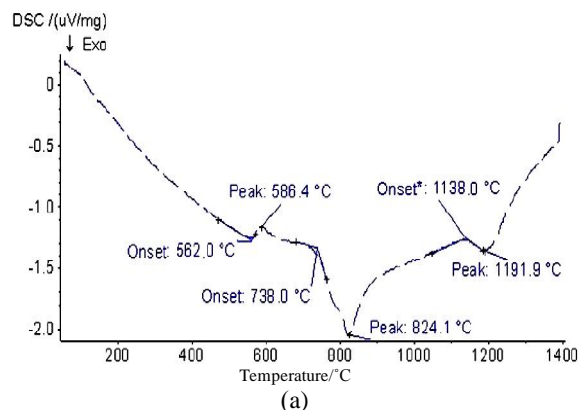
۲. نمونه ها برای آنالیز DSC به دانشگاه Kemnitz آلمان ارسال شد.

با افزایش درصد Al، درصد فاز مذاب در هنگام سنتز افزایش می‌یابد. افزایش فاز مذاب نیز سبب تسهیل در مرحله بازآرایی تف جوشی و انحناء مرز دانه‌ها می‌شود [۲۰، ۱۹]. از طرف دیگر، با افزایش درصد Al، سطح شکست نمونه‌ها از حالت بین دانه‌ای (Intra-Granular) به درون دانه‌ای (Intra-Granular) تبدیل می‌شود. به طوری که در شکل (a-۳) از نمونه با $x=0/2$ ، دانه‌ها ساختار بلوری خود را حفظ می‌کنند و سطح شکست تنها موجب جدایی دانه‌ها از هم شده است؛ لیکن در نمونه‌های با درصد Al بالاتر ($0/3 \leq x \leq 0/5$) (شکل (b,c-۳)، با عبور سطح شکست از درون دانه‌ها، ساختار بلوری دانه‌ها قابل تشخیص نیست. می‌توان گفت با افزایش درصد Al پیوندهای بین‌دانه‌ای در اثر تف جوشی، (فاز مایع) مستحکم‌تر می‌شود تا مقداری که سطح شکست قادر به جدا کردن دانه‌ها از هم نیست و برای ادامه مسیر از درون دانه‌ها عبور کرده است.

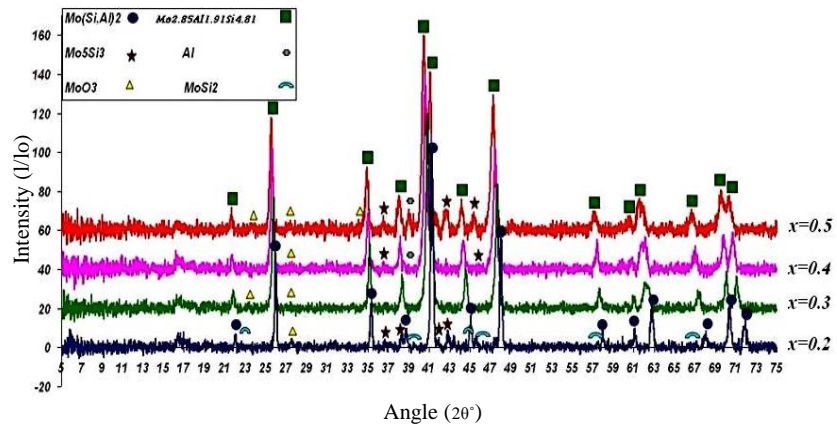
هم چنین تصویر Al.map، (شکل (b-۳) حاکی از توزیع یکنواخت Al در ریز ساختار محصول است. بررسی نمونه‌های سنتز شده با آنالیز XRD نشان می‌دهد که در ترکیب $Mo(Si_{1-x}, Al_x)_2$ با $x=0/2$ شکل a-۲، فاز اصلی $Mo(Si, Al)_2$ با ساختار هگزاگونال ردیابی می‌شود ولیکن با افزایش آلومینیم به مقادیر $x=0/3$ شکل b-۲، فاز اصلی به فاز ناشناخته‌ای تغییر می‌یابد. وجه تمایز بارز الگوی نمونه $x=0/2$ و $x=0/3$ ، دو قلوئی شدن پیک ماکزیمم در نمونه‌های با مقدار Al برابر $x=0/3$ است.

شکل ۴ پیک‌های ماکزیمم نمونه‌هایی با ترکیب $x=0/3$ ، $x=0/2$ را با بزرگنمایی بیشتر برای مقایسه بهتر نشان می‌دهد. برای شناسایی محل دقیق پیک‌ها از نرم افزار اندازه‌گیری و فرآوری، APD.3.6g استفاده شده است.

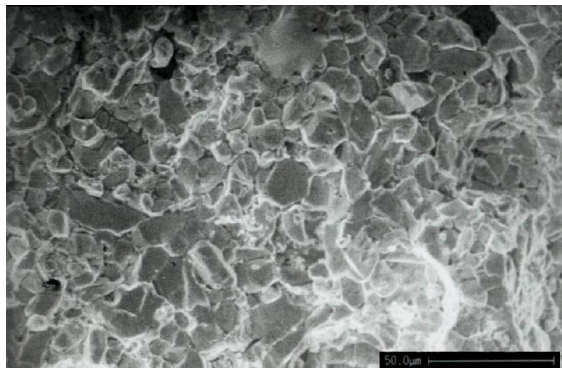
شدت خطوط تفرق از اندازه‌گیری ارتفاع پیک بالای زمینه به دست آمده و به صورت درصدی از شدیدترین خط بیان شده است. الگوهای اشعه X با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای



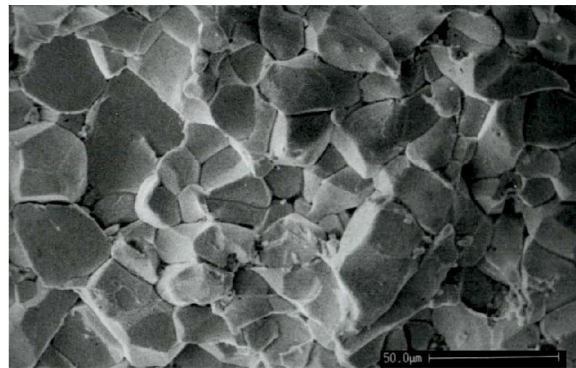
شکل ۱. الگوی DSC از نمونه فشرده شده خام با ترکیب $Mo_{0.2}(1-x)Si_{1-x}Al_x$ ؛ (a) $x=0/2$ ، (b) $x=0/3$ (تحت شرایط: فشار پرس نمونه (۲۶۶MPa)، اتمسفر آرگن با جریان 70 ml/min با سرعت گرمایش 70°C/min).



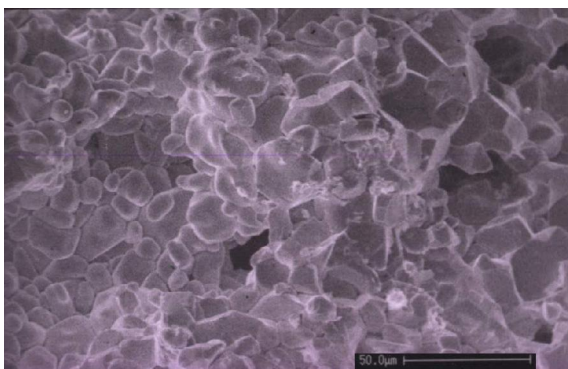
شکل ۲. الگوهای پراش پرتو X از محصول با ترکیب $Mo(Si_{1-x}Al_x)_2$ و $0.2 \leq x \leq 0.5$ در یک نمودار با معرفی فازهای اصلی و فرعی سنتز شده.



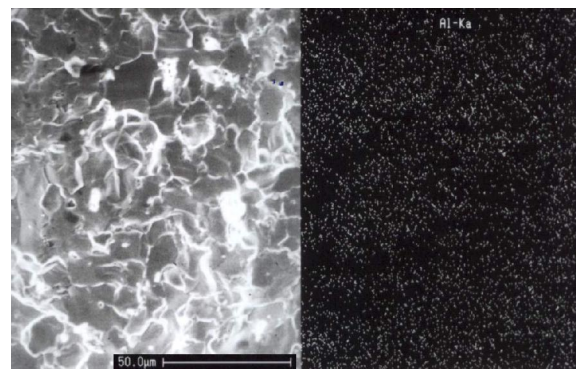
(c)



(a)



(d)



(b)

شکل ۳. تصویر ریزساختار، (سطح شکست) از نمونه های با ترکیب $Mo(Si_{1-x}Al_x)_2$ حاوی درصد های متفاوت آلومینیم از $x=0.2$ (a)، $x=0.3$ (b)، $x=0.4$ (c)، $x=0.5$ (d).

شناسایی شده است. در این نمونه‌ها ($0/3 \leq x \leq 0/5$) فاز اصلی فاز جدید ($\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$) ارزیابی شده است که در محدوده اعلام شده از درصد Al پایدار است. پارامترهای سلول واحد به وسیله حداقل مجذورات ۲۹ خط در نظر گرفته شده از جدول ۱ بدین صورت به دست آمده است: $a = 0.465515(4) \text{ \AA}$ و $c = 0.46929(2) \text{ \AA}$ به طور کلی در اینجا اختلاف بین مشاهدات و محاسبات زوایا 2θ کمتر از $0/032$ درجه است. با معرفی این فاز به مرجع شناسایی فازهای جدید، (ICDD) این فاز با فرمول $\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$ و با ساختار هگزاگونال به منزله یک فاز جدید تأیید شد [۲۱].

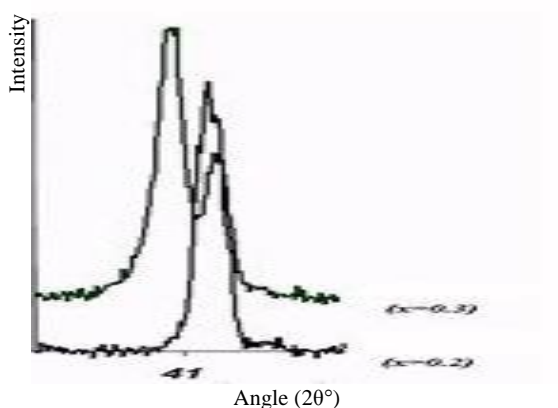
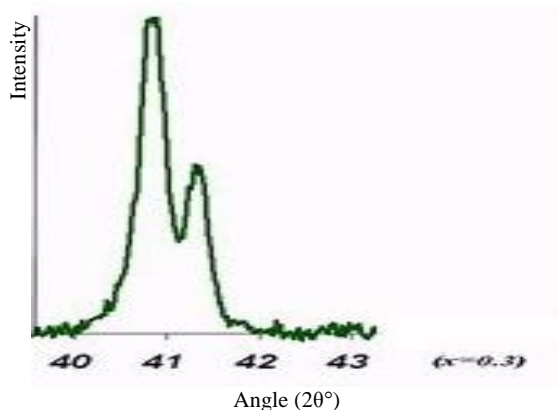
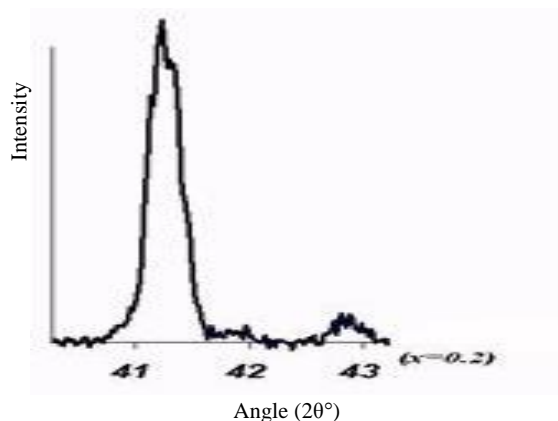
۵- نتیجه‌گیری

با افزایش Al به مقدار $0/2 \leq x \leq 0/5$ دمای شروع سنتز احتراقی، (SHS) از حدود 1400°C به 750°C کاهش یافت. محصول سنتز شده از نظر ریزساختاری دچار رشد دانه‌ها و تغییر شکل مرز دانه‌ها با زوایای تند و گوشه دار به زوایای باز و محدب شد.

فاز اصلی نمونه‌های سنتز شده با ترکیب $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$; $x=0/2$ شناسایی شد که با افزایش مقدار Al به $0/3 \leq x \leq 0/5$ به فاز جدید ($\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$) تغییر فاز داد.

مراجع

۱. طیبی فرد، سیدعلی، "بررسی اثر افزودنی Al بر تحول فازی و ریزساختاری ترکیبات MoSi_2 تهیه شده به روش SHS" رساله دکترا پژوهشگاه مواد و انرژی.
2. Harada, Y., Murata, Y. and Morinaga, M. "Solid solution softening and hardening in alloyed MoSi_2 ". Inter metallic, Vol. 6 (1998) 29-35.
3. Bhattacharya, A. K., Ramasesha, Sh. K. "Effect of Temperature and soaking time on the Synthesis of $\text{Mo}(\text{Al},\text{Si})_2$ ", *Ceramics International*, Vol. 27 829-831 (2001).



شکل ۴. الگوهای پراش پرتو X در محل پیک ماکزیمم برای نمونه‌های سنتز شده با ترکیب $\text{Mo}(\text{Si}_{1-x}\text{Al}_x)_2$; $x=0/2$ (a)، $x=0/3$ (b) و $x=0/3$ (c). $x=0/2$.

جدول ۱. داده های پراش اشعه X، (مشاهده شده و محاسباتی) فاز جدید $Mo_{2.85}Al_{1.91}Si_{4.81}$

h	k	l	dobs	dcal	dif.d	2θobs	2θcal	dif.2θ	100*I/I0
۱	۰	۰	۴,۰۶۵۳۱	۴,۰۶۳۷۳	۰,۰۰۱۵۸	۲۱,۸۴۵	۲۱,۸۵۴	-۰,۰۰۹	۸,۱
۱	۰	۱	۳,۴۵۳۰۲	۳,۴۵۳۳۰	-۰,۰۰۰۲۸	۲۵,۷۸۰	۲۵,۷۷۸	۰,۰۰۲	۶۷,۸
۱	۰	۲	۲,۵۴۹۹۹	۲,۵۵۰۲۶	-۰,۰۰۰۲۷	۳۵,۱۶۵	۳۵,۱۶۱	۰,۰۰۴	۲۹,۱
۱	۱	۰	۲,۳۴۶۹۹	۲,۳۴۶۳۱	۰,۰۰۰۶۸	۳۸,۳۲۰	۳۸,۳۳۲	-۰,۰۱۲	۱۲,۸
۱	۱	۱	۲,۲۰۹۳۵	۲,۲۰۸۹۲	۰,۰۰۰۴۳	۴۰,۸۱۰	۴۰,۸۱۸	-۰,۰۰۸	۱۰۰
۰	۰	۳	۲,۱۸۳۵۱	۲,۱۸۳۷۰	-۰,۰۰۰۱۹	۴۱,۳۱۵	۴۱,۳۱۱	۰,۰۰۴	۳۳,۴
۲	۰	۰	۲,۰۳۱۵۲	۲,۰۳۱۹۸	-۰,۰۰۰۴۶	۴۴,۵۶۵	۴۴,۵۵۴	۰,۰۱۱	۱۲,۱
۱	۱	۲	۱,۹۰۷۵۱	۱,۹۰۷۴۷	۰,۰۰۰۰۴	۴۷,۶۳۵	۴۷,۶۳۶	-۰,۰۰۶	۶۵,۷
۱	۱	۳	۱,۵۹۸۶۹	۱,۵۹۸۵۴	۰,۰۰۰۱۵	۵۷,۶۱۰	۵۷,۶۱۶	-۰,۰۰۶	۶,۹
۲	۱	۰	۱,۵۳۵۴۹	۱,۵۳۶۰۶	-۰,۰۰۰۵۷	۶۰,۲۲۰	۶۰,۱۹۶	۰,۰۲۴	۱,۸
۱	۰	۴	۱,۵۱۹۱۸	۱,۵۱۹۰۹	۰,۰۰۰۰۹	۶۰,۹۳۵	۶۰,۹۳۹	-۰,۰۰۴	۶,۰
۲	۱	۱	۱,۴۹۵۶۲	۱,۴۹۵۵۰	۰,۰۰۰۱۱	۶۲,۰۰۰	۶۲,۰۰۵	-۰,۰۰۵	۱۰,۰
۲	۰	۳	۱,۴۸۷۶۳	۱,۴۸۷۶۰	۰,۰۰۰۰۳	۶۲,۳۷۰	۶۲,۳۷۱	-۰,۰۰۱	۱۶,۳
۲	۱	۲	۱,۳۹۰۶۸	۱,۳۹۰۷۵	-۰,۰۰۰۰۶	۶۷,۲۷۰	۶۷,۲۷۶	-۰,۰۰۳	۵,۸
۳	۰	۰	۱,۳۵۴۴۲	۱,۳۵۴۶۹	-۰,۰۰۰۲۷	۶۹,۳۳۵	۶۹,۳۰۸	۰,۰۲۷	۱,۸
۱	۱	۴	۱,۳۴۴۹۸	۱,۳۴۴۰۰	۰,۰۰۰۹۸	۷۰,۰۰۰	۶۹,۹۹۸	۰,۰۰۲	۱۹,۲
۳	۰	۱	۱,۳۲۶۶۶	۱,۳۲۶۶۲	۰,۰۰۰۰۴	۷۰,۹۹۰	۷۰,۹۹۲	-۰,۰۰۲	۱۳,۷
۳	۰	۲	۱,۲۵۲۰۱	۱,۲۵۱۸۶	۰,۰۰۰۱۵	۷۵,۹۴۰	۷۵,۹۵۱	-۰,۰۱۱	۱۳,۳

6. Zhang, G.J., Yue, X. M., Watanabe, T., "In Situ Synthesis of $Mo(Si,Al)_2-SiC$ Composites", *Journal of Material Science*, Vol. 3 (2000) 729-44773.
 7. Dasgupta, T., Bhattacharya, A. K., Umraji, A. M. "Synthesis and Structure of Aluminum Substituted $MoSi_2$ ", *Solid State Communications*, Vol. 126 (2003) 573-578.
 8. Alman, D. E. and Govier, R. D. "Influence of Al Addition on The Reactive Synthesis of $MoSi_2$ ", *Scripta*

4. Fu, M. and Sekhar, J.A. "Processing, Microstructures and Properties of Molybdenum Aluminosilicide", *Journal of American Ceramic Society*, Vol. 81 No. 12 (1998) 3205-3214.
 5. Tabaru, T., Shobu, K., Sakamoto, M., Hanada, S. "Effects of substitution of Al for Si on the lattice Variations and Thermal Expansion of $Mo(Si,Al)_2$ ", *Intermetallics*, Vol. 12 (2004) 33-41.

Vol. 29 (1994) 2557-2571.!

15. Zhang, S., Munir, Z. A. "Synthesis of Molybdenum Silicides by the Self-Propagating Combustion Method", *Journal of Materials Science*, Vol. 26 (1991) 3685-3688.!

16. Deevi, S. C., "Self-Propagating high-Temperature Synthesis of Molybdenum Disliked", *Journal of Materials Science*, Vol. 26 (1991) 3343-3353.!

17. Liu, Y., Shao, G., Tsakirooulos, P. "Thermodynamic Reassessment of the Mo-Si and Al-Mo-Si Systems", *Inter metallic*, Vol. 8 (2000) 953-962.!

18. Fu, M. "A Study of Micro pyretic Reactions in the Mo-Si-Al Ternary System", *Journal of Material Research*, Vol. 12 No. 6 (1997) 1481-1491.!

19. German, R. M., "Sintering Theory and Practice", *John Wiley Press*, New York, U.S.A. (1996).!

20. German, R. M., "Liquid Phase Sintering", *Plenum Press*, New York, U.S.A. (1985) 225.!

21. Tayebifard, S. A., Ahmadi, K., Yazdani-Rad, R. and Doroudian, M., "New X-ray Powder Diffraction Data for $\text{Mo}_{2.85}\text{Al}_{1.91}\text{Si}_{4.81}$ ", *Powder Diffraction*, Vol. 21 No. 3 (2006) 238-240.

Mater., Vol. 34 No. 8 (1996) 1287-1293.

9. Zhang, G. J., Yue, X. M., Watanabe, T. "Synthesis of $\text{Mo}(\text{Si},\text{Al})_2$ Alloy by Reactive Hot Pressing at Low Temperature for a Short Time", *Journal of material Science*, Vol. 34 (1999) 593-597.!

۱۰. طیبی فرد، سیدعلی، بررسی پارامترهای موثر بر سنتز MoSi_2 به روش SHS،

پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه مواد و انرژی، بهمن ۱۳۷۷.

11. Yazdani-Rad, R., Tayebifard, S. A. M. Doroudian, "Influence of Compaction Pressure and Atmosphere on SHS of Molybdenum Disliked", *International Journal of Engineering Science*, Vol. 14 No. 2 (2003) 51-63.

12. Yazdani-Rad, R., Tayebifard, S. A. and Doroudian, M. "Effect of Preheating on SHS of MoSi_2 ", *International Journal of Engineering Science*. Iran University of Science & Technology, Vol. 13 No. 2 (2002) 73-78.!

13. Gi-Wooklee, Hyun-Woolee, Young-Dokim and Young-Seagkim, "Synthesis and densification of MoSi_2 by Self-Propagating High-Temperature Synthesis", *Ceramic Transaction*, American Ceramic Society, Vol. 56 (1995) 57-66.!

14. Jeng, Y. L., Larenia, E. J. "Review Processing of Molybdenum Disliked", *Journal of Materials Science*,