



توليد آلياژ $Ni_{1-x}Ti$ به روش ذوب تحت پرتو الكتروني (EBM)

التفات احمدی^۱، سيد خطيب الاسلام صدر نژاد^۲ و هوشيار سیدی^۳

۱ و ۲ - دانشکده مهندسی و علم مواد - دانشگاه صنعتی شريف

۳ - مرکز تحقيقات کشاورزي و مهندسی هسته ای کرج - سازمان انرژی اتمی ايران

چکیده

فرايند معمول توليد آلياژهای حافظه دار $NiTi$ SMAs ذوب القايی تحت خلاء (VIM) در بوته گرافیتی می باشد. اخيراً از روش ذوب تحت پرتو الكتروني (Electron Beam Melting: EBM) بدليل کاهش ميزان آلودگی و همگنی بسیار خوب آلياژ در اثر تلاطم شديد مذاب استفاده می شود. در اين مقاله آخرين دستاوردهای تحقيقاتی درباره کاربرد روش ذوب تحت پرتو الكتروني (EBM) برای توليد آلياژ حافظه دار $NiTi$ برای اولین بار در ايران ارائه شده است. تاثير مدت زمان نگهداری مذاب در بوته گرافیتی بر ميزان تشكيل ترکیبات غير تعادلی مانند $NiTi_2$ ، Ni_3Ti ، وجود فازهای Ti_4Ni_2O و Ti_4Ni_2C ، ميزان ورود ناخالصی کربن، ميزان تشكيل کارييد و حذف اکسيژن در نمونه های ذوب مجدد (در خلاء بهتر از 10^{-2} Pa) در آلياژ مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که با افزايش زمان نگهداری ذوب عناصر تیتانيم و نیکل تبخیر و فازهای غير تعادلی به همراه فازهای کاريیدی تشكيل می شود. محصول ذوب تحت آزمایشهای آنالیز شیمیایی PIXE و EDAX قرار گرفت. مشخص شد که آلياژ دارای ترکیب $Ni-49.12atom\%Ti$ به همراه فازهای غير تعادلی بدست می آید. در ادامه نمونه های توليد شده به روش EBM متالوگرافی و سختی سنجی شد و خصوصیات هر یک از فازهای تعادلی و غير تعادلی شناسایی گردید.

واژه های کلیدی: آلياژ حافظه دار، نایتینول، ذوب تحت پرتو الكتروني (EBM)، فازهای اکسیدی و غير تعادلی

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد

^۲ استاد

^۳ کارشناس فیزیک

مقدمه

در سال ۱۹۶۲ در آزمایشگاه نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا^۱ در حین عملیات حرارتی یک میله از جنس Ni-Ti با درصد اتمی برابر اثر حافظه داری در مورد آلیاژ نیکل تیتانیوم توسط بهلر^۲ و همکارانش کشف شد. [۱] از سال ۱۹۷۰ ترکیب بین فلزی NiTi بدلیل خواص مکانیکی بسیار خوب، اثر حافظه داری بی نظیر، فوق الاستیسیته^۳، مقاومت خوردگی خوب، توانایی میرایی عالی^۴، زیست سازگاری بسیار خوب^۵ مورد توجه اساسی قرار گرفته است. این گروه از ترکیب بین فلزی تقریباً برای جفت شونده‌گی، مکانیزم عامل‌ها یا راه اندازه‌ها، مواد زیرک^۶ بمانند کاربردهای پزشکی، سیمهای ارتودنسی، مواد کاشت بدن و در جراحی قلب و عروق^۷ استفاده می‌شود.

در مجموع آلیاژ حافظه دار NiTi متخلخل پتانسیل امید بخشی را در جراحی استخوان بدلیل ساختار متخلخل اش و اجازه برای رشد بافت‌های جدید از خود نشان داده است. [۶-۲] فرآیند‌های تولید آلیاژ حافظه دار Ni-Ti مبتنی بر روشهای غیر ذوبی مانند متالورژی پودر و روشهای ذوبی نظیر ذوب القایی تحت خلأ (VIM) است. علاوه بر این دو روش و روشهای دیگر، در سالهای اخیر بدلیل تمیز بودن ذوب تحت پرتو الکترونی (EBM) و استفاده از بوته مسی آبگرد سمت و سوی تحقیقات در زمینه تولید آلیاژ Ni-Ti به استفاده از سیستم EBM می‌باشد.

فرآیند EBM از سال ۱۹۵۰ شناخته شده و بطور گسترده برای تصفیه فلزات دیرگداز مانند Mo، Ta، Nb و W و فلزات فعال Ti، Zr و Hf و آلیاژ Ti₆Al₄V و سوپر آلیاژها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج تحقیقات J. Otubo و همکارانش [۷]، نشان داده مقدار نهایی کربن در محصول ذوب EBM برابر wt% ۰/۰۱۲-۰/۰۱۶ در مقایسه با محصول ذوب VIM که برابر wt% ۰/۰۴-۰/۰۶ است کمتر می‌باشد. [۸، ۷] دیاگرام فاز سیستم آلیاژی Ti-Ni در شکل ۱ آورده شده است [۴]. چنانچه مشاهده می‌شود، محدوده استوکیومتری آلیاژ نایتینول (NiTi) بسیار باریک و برخلاف آلیاژهای حافظه دار برنج تا دمای اتاق نیز یک فاز پایدار می‌باشد، و غالباً رسوبهایی از فازهای تعادلی و نیمه تعادلی را نیز شامل میشود. وجود فازهای ثانویه تاثیر بسزایی در خواص مکانیکی و فیزیکی آلیاژ دارد. درجه حرارت تغییر حالت مارتنزیتی، M_s، در آلیاژ NiTi به میزان ترکیب شیمیایی وابسته است. بطوریکه با افزایش میزان نیکل از ۰/۵ تا ۰/۵۱، دمای M_s به مقدار حدود ۱۰۰K کاهش می‌یابد. در هنگام تهیه و ساخت آلیاژ نایتینول B₁₉(NiTi) و B₂(NiTi) ترکیبات بین فلزی دیگر مانند Ni₃Ti، NiTi₂ و Ni₄Ti₃ نیز بوجود می‌آید و در

1- U.S. Navel Ordnance Laboratory

2- Buehler

3- Superelasticity

4- Superior Damping Capability

5- Biocompatibility

6- Actuators

7- Smart Material

8- Cardiovascular Surgery

فاز اوليه پراکنده ميشود. تشکيل فازهای ثانويه يک امر اجتناب ناپذير است، تا حد امکان شرايط ساخت آلياژ را بايد بگونه ای تعيين کرد که فازهای ثانويه به کمترین مقدار خود برسد. هدف از اين کار تحقيقاتی بررسی تأثير روش ساخت EBM بر جذب ناخالصی ها، همگن شدن آلياژ و رسوبات و فازهای تشکيل شده می باشد.

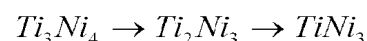
روش تحقيق

در اين تحقيق نمونه هایی که در ابتدا به روش ريخته گری تحت خلاء (VIM) با استفاده از مواد اوليه شامل تيتانيم اسفنجی خلوص بالا و نیکل کاتدی با نسبت اتمی برابر به کوره شارژ و توليد شده بودند، با روش ذوب تحت پرتو الکترونی (EBM) در زمانهای مختلف ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ دقيقه ذوب مجدد شده و تغيير ريز ساختار آلياژ NiTi به روش متالوگرافي مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ذوب از يک سيستم لایه نشانی یونی موجود در محیط خلاء که با استفاده از يک تفنگ الکترونی توخالی کاتدی (Hollow Cathode Discharge Gun) بعنوان يک چشمه تبخیر کننده که مواد مورد استفاده برای لایه نشانی را یونیزه می کند، استفاده گردید. انرژی یونهای توليد شده به چند صد الکترون ولت (eV) رسیده و سپس اين یونها بر روی قطعات کار نشانده می شوند. تفنگ الکترونی کاتد توخالی (HCD Gun) يک سيستم تبخیر پرتو پلاسمایی می باشد که براساس تبخیر و یونیزاسيون عمل می نماید و برای لایه نشانی فلزات و غیرفلزات طراحی شده است. از جمله خصوصیات اين سيستم توان بالا، ولتاژ پایین، جريان زياد و ثابت می باشد. مشخصات اين سيستم در جدول ۱ آورده شده است. بهنگام ورود گاز آرگن به درون تيوب تانتالیمی، با بکار بردن ولتاژ معینی بين بوته آند، تخلیه الکتریکی گاز بين الکترودها اتفاق افتاده و یونیزاسيون گاز آرگن بشکل پلاσμα حاصل می شود. یونهای آرگن بوسیله پتانسیل کاتد جذب می شود و تيوب تانتالیمی بدین طریق بمباران می شود و دمای آن را تا حدود 2300-2400 K برای تابش الکترون می رساند. الکترونها بوسیله آند جذب شده و بسوی آن شتاب می گیرند و دوباره گاز آرگن را بين الکترودها یونیزه کرده و بشکل تخلیه الکتریکی قوسی بطور ممتد برای توليد جريان پایدار الکتریکی پلاσμα عمل می کنند. وقتی پرتو الکترونیکی به بوته می رسد، انرژی جنبشی آنها به انرژی حرارتی برای تبخیر ماده موجود در بوته تبدیل می گردد که اندازه مقطع پرتو بيم با تغيير میدان مغناطیسی فوکاس قابل تغيير می باشد، کلید (K) موجود در مدار بطور اتوماتیک قطع شده و به يک ولتاژ و جريان پایدار می رسد. در ضمن سه نوع گاز متفاوت آرگن (Ar)، نیتروژن (N₂) و آمونیاک (NH₃) در اين سيستم بطور معمول و گازهای ديگر در موارد خاص استفاده می شوند. گاز آرگن برای سيستم کاتد توخالی تانتالیمی (Tantalum Hollow Cathode) مناسب است. در اين تحقيق تنها از قسمت ذوب در بوته سيستم تبخیر و لایه نشانی به منظور ساخت نمونه های آلياژی Ni-Ti استفاده شد. نمایی از تفنگ الکترونی KQ-HCD در شکل ۲ نشان داده شده است. برای انجام فرآیند ذوب در ابتدا نمونه آلياژ Ni-Ti با استن

چربی زدایی شده و سپس در بوتله گرافیتی که از الکترودهای کوره قوس تهیه شده بودند، قرار گرفت. قبل از ذوب خلاء کوره تا $2-4 \times 10^{-3}$ Pa به کمک پمپ های مکانیکی و دیفیوژنی رسانیده شد. با روشن نمودن سیستم و ورود گاز آرگون از درون کاتد توخالی ولتاژ و جریانی برابر با تقریباً ۳۵ V و ۱۰۰ A اعمال گردید و در هنگام ذوب و انجماد خلاء سیستم به حدود $4-5 \times 10^{-2}$ Pa کاهش یافت. پس از پایان انجماد نمونه ها به میزان ۶۰ دقیقه برای جلوگیری از اکسیداسیون نمونه ها تحت خلاء نگهداری شده و در نهایت پس از خروج از بوتله و تهیه نمونه تحت آنالیز شیمیایی PIXE و فاز شناسی به کمک SEM/EDAX و میکروسکوپ نوری قرار گرفتند. محلول اچ شامل $\text{distilled H}_2\text{O} : \text{HNO}_3 : \text{HF}$ با نسبت ۱:۴:۵ و مدت زمان اچ در حدود ۱۰ الی ۱۵ ثانیه بود.

نتایج و بحث

نمونه های اولیه به روش ذوب و ریخته گری تحت خلاء با کوره القایی (VIM) تولید شدند، بدلیل کافی نبودن خلاء در هنگام ریخته گری نمونه های آلیاژی میزان زیادی اکسیژن جذب کرده اند. از آنجا که نمونه ها در بوتله گرافیتی ذوب شده اند کربن نیز وارد آلیاژ شده است. آنالیز فازی که توسط SEM/EDAX از فازهای مختلف این نمونه صورت گرفت بیانگر آنست که فازهای رسوب کرده $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{O}$ و $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{C}$ می باشند (نواحی a و b در شکل ۳) و فاز زمینه NiTi است. نمونه های آلیاژی بدلیل حضور اکسیژن و کربن بسیار ترد و شکننده می باشند. فاز $\text{B}_2(\text{NiTi})$ در دمای بالا پایدار است و با کاهش دما به حدود ۶۵۰ درجه سانتیگراد به ترکیبات بین فلزی و میانی Ti_2Ni و Ni_3Ti با ساختار های FCC و هگزگونال تجزیه می شود، که اکثر محققین این موضوع را بررسی نموده اند. این تجزیه یک واکنش یوتکتوئیدی بوده و ذرات Ti_2Ni بصورت هم محور (equiaxed) رسوبگذاری می کنند [۹]. انحراف از ترکیب استوکیومتری ۵۰ درصد اتمی به راست یا چپ باعث حضور ذرات بین فلزی Ni_3Ti و Ti_2Ni تعادلی می شود که حضور این ذرات باعث کاهش چقرمگی و شکل پذیری و افزایش سختی آلیاژ می شود. دلیل دیگری که باعث حضور ذرات بین فلزی تعادلی و غیر تعادلی در آلیاژ می شود، دما و زمان عملیات پیر سازی است. تغییرات ساختار با استفاده از EDS برای آلیاژ ۵۲% Ni-Ti مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده که سه فاز Ti_3Ni_4 ، Ti_2Ni_3 و TiNi_3 بوجود آمده اند. بطوری که در دمای پایین پیر سازی و زمان کمتر فاز بین فلزی Ti_3Ni_4 ، در دما و زمان متوسط فاز Ti_2Ni_3 و در دمای بالاتر و زمان طولانی تر فاز تعادلی TiNi_3 پدیدار می شود (دیاگرام TTT در شکل ۴). Otsuka و همکارانش [۱۱]، بیان کرده اند که فازهای Ti_3Ni_4 و Ti_2Ni_3 فازهای میانی هستند و بر اساس یک استحاله نفوذی، طی واکنش زیر به فاز غنی از نیکل (TiNi_3) تبدیل می گردند [۱۰، ۱۱].



شرایط محیطی ذوب و ریخته گری دلیل اساسی بوجود آمدن فازهای تردد $\text{Ti}_4\text{Ni}_2\text{X}$ ($\text{X} = \text{O}, \text{N}, \text{C}$) می باشد. از آنجا که نمونه ها در خلاء بهتر از 10^{-2} Pa ذوب شدند، لذا فازهای نیتریدی و

اکسیدی Ti_4Ni_2X ($X = O, N$) حضور نداشته و با ذوب مجدد فاز اکسیدی اولیه به Ti_2Ni و $TiNi_3$ تجزیه می شود که این تغییرات ریز ساختاری بوضوح در نمونه ای که بمدت ۵ دقیقه تحت پرتو الکترونی (EBM) ذوب مجدد شده مشاهده می گردد (شکل ۵). ناحیه a فاز زمینه، نواحی b فاز بین فلزی غنی از نیکل (Ni_3Ti (Ni-rich) که در مرز دانه فاز آستنیتی (B_2) رسوب کرده که این نتیجه مطابق نتایج Wasilewski و همکارانش [۱۲]، می باشد، همچنین رسوبات سیاه رنگ کربید تیتانیم (TiC) می باشد که با حرف c در شکل ۵ مشخص شده است. با افزایش زمان ذوب تحت باریکه الکترونی عناصر تیتانیم و نیکل تبخیر شده و نیز میزان کربید در ریز ساختار بدلیل واکنش زیاد کربن با تیتانیم افزایش می یابد. فشار بخار عناصر نیکل و تیتانیم در دمایی حدود ۲۰۰۰ کلوین به ترتیب برابر $۲/۱۴ \times ۱۰^{-۴}$ و $۱/۰۱ \times ۱۰^{-۵}$ اتمسفر می باشد [۱۳، ۱۴]. بطوری که با افزایش زمان ذوب از ۵ دقیقه به ۱۰ دقیقه فازهای رسوب کرده در مرز دانه کاهش یافته (Ni_3Ti) و فاز زمینه شامل آلیاژ حافظه دار NiTi می باشد. بدلیل انحلال کمتر کربن در آلیاژ، کربن اضافی با تیتانیم ترکیب شده و بصورت کربید در نمونه رسوب می کند (شکل ۶). نتایج آنالیز شیمیایی به روش PIXE و EDAX مربوط به زمان ذوب ۱۵ دقیقه در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است. نمونه دیگر برای مدت زمان ۱۵ دقیقه ذوب مجدد گردید (شکل ۹) و ملاحظه شد که بعد از زمان ذوب ۱۵ دقیقه اکسیژن از نمونه حذف شده، اما با افزایش زمان ذوب میزان رسوب کربیدی افزایش یافته و مرزهای غنی از نیکل (Ni_3Ti) نیز حذف شده و آنالیز EDAX در هر یک از نقاط b، c و d کربن و تیتانیم را نشان داده اند. با افزایش زمان ذوب تحت باریکه الکترونی عناصر تیتانیم و نیکل تبخیر شده و نیز میزان کربید در ریز ساختار بدلیل واکنش زیاد کربن با تیتانیم افزایش می یابد که نتایج آنالیز شیمیایی کربن در آلیاژ Ni-Ti همراه درصد فازی TiC در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مربوط به زمان ذوب ۲۰ دقیقه نیز مشابه با نتایج زمان ذوب ۱۵ دقیقه بود با این تفاوت که میزان کربید تیتانیم خیلی بیشتر می شود (شکل ۱۰).

نتیجه گیری

- ۱- علاوه بر روشهای ذوبی و غیر ذوبی روش ذوب تحت پرتو الکترونی (EBM) یکی از روشهای جدید برای تولید آلیاژهای حافظه دار NiTi می باشد.
- ۲- افزایش زمان ذوب تا حدود ۱۰ دقیقه باعث حذف اکسیژن در نمونه های ذوب مجدد حاوی اکسیژن اولیه خواهد شد.
- ۳- در ابتدا فازهای غنی از نیکل Ni_3Ti در اثر تجزیه فازهای اکسیدی بوجود آمده و با افزایش زمان ذوب میزان آنها کاهش می یابد.
- ۴- با افزایش زمان ذوب میزان کربید تیتانیم در نمونه ها افزایش یافته و باعث افزایش سختی و کاهش کارپذیری آلیاژ می شود.

۵- فازهای غنی از نیکل Ni_3Ti بصورت مرز دانه رسوب گذاری کرده و ذرات Ti_2Ni بصورت هم محور در این آلیاژ ظاهر می شوند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری بیدریغ مسئولین آزمایشگاهها و کارگاههای دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

- [1]- A. Leppaniemi, "Shape Memory Alloys Applications and commercial aspects"; <http://www.sma.inc.com> (2004)
- [2]- C.I. Yeh, W.Y. Sung, "Synthesis of NiTi Intermetallics by self-propagating combustion"; J. Alloys and Compounds 376(2004), PP. 79-88
- [3]- Bing- Yun. Li, Li- Jian Rong, Yi.Yi. Li and V. E. Gjunter, "A recent development in producing porous Ni-Ti shape memory alloys"; Intermetallics 8(2000), PP. 881-884
- [4]- B. Y. Li, I. J. Rong, Y.Y. Li and V.E. Gjunter, " Synthesis of porous NiTi Shape Memory Alloys by self – propagating high-temperature synthesis: Reaction Mechanism and Anisotropy in Pore Structure"; Acta Mater. 48 (2000), PP. 3895-3904
- [5]- C. L. Chu, C.Y. Chung, P.H. Lin, S.D. Wang, " Fabrication of Porous NiTi shape memory alloy for hard tissue implants by combustion synthesis"; Materials Science and Engineering A366 (2004), PP. 114-119
- [6]- S. K.Wu, H. C. Lin, " Review: recent development of TiNi – based shape memory alloys in Taiwan"; Materials Chemistry and Physics 64 (2000), PP. 81-92
- [7]- J. Otubo, O. D. Ring, C. Moura Neto, M. J. Kaufman and P. r. Mei; " Scale up of NiTi shape memory alloy production by EBM"; J. Phys. IV France, Vol. 112(2003), PP. 873-876.
- [8]- J. Otubo, O. D. Ring, C. Moura Neto, M. J. Kaufman and P. r. Mei; " Low Carbon Content NiTi Shape Memory Alloy Produced by Electron Beam Melting"; Materials Research, Vol. 7, No. 2 (2004), PP. 263-267.
- [9]- D. Koskimaki, M. J. Marcinkowski and A. S. Sastri; " Solid State Diffusion Transformations in the Near- Equiatomic Ni-Ti alloys"; Transactions of the Metallurgical Society of AIME, Vol. 245, September (1969), PP. 1883-1890.
- [10]- S. Badakhshan Raz and S. K. Sadrnezhaad, "Effect of VIM frequency on chemical composition, homogeneity and microstructure of NiTi shape memory alloy"; Material science and Technology Vol. 20, May (2004), PP. 593- 598
- [11]- K. Otsuka and X. Ren, "Physical metallurgy of Ti-Ni based shape memory alloys"; Progress in Materials Science 50 (2005), PP. 511-678
- [12]- R. J. Wasilewski, S. R. Butler, J. E. Hanlon and D. Worden, " Homogeneity Rang and the Martensitic Transformation in TiNi"; Metallurgical Transactions, Vol. 2, January (1971), PP. 229-238.
- [13]- P. D. Desai; "Thermodynamic Properties of Nickel"; International Journal of Thermo physics, Vol. 8, No. 6 (1987), PP. 763-779.

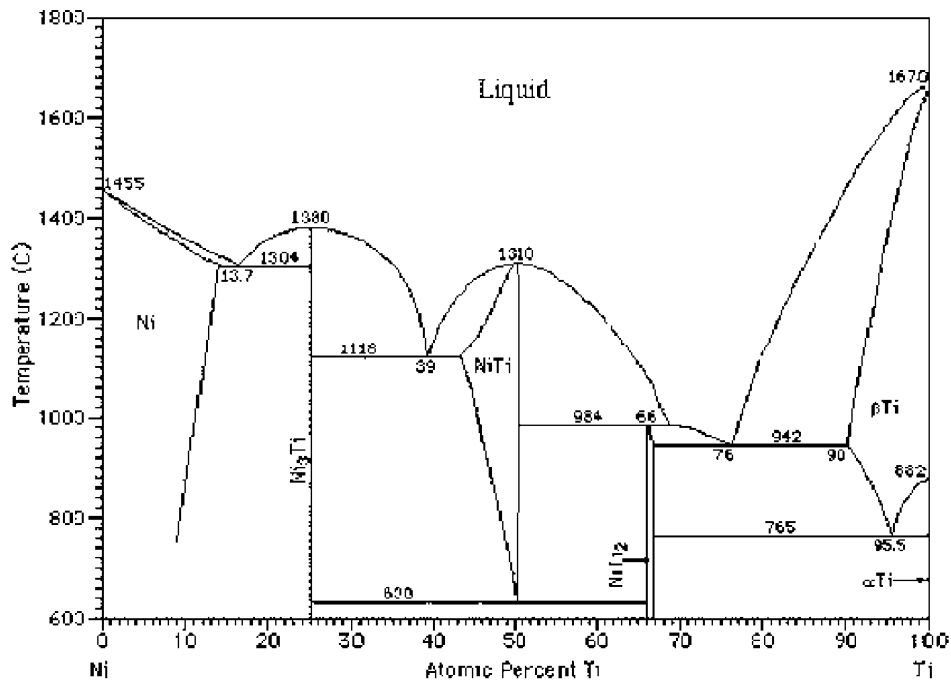
[14]- P. D. Desai; "Thermodynamic Properties of Titanium"; International Journal of Thermo physics, Vol. 8, No. 6 (1987), PP. 781- 793.

جدول ۱- مشخصات سيستم تبخير و لايه نشانی

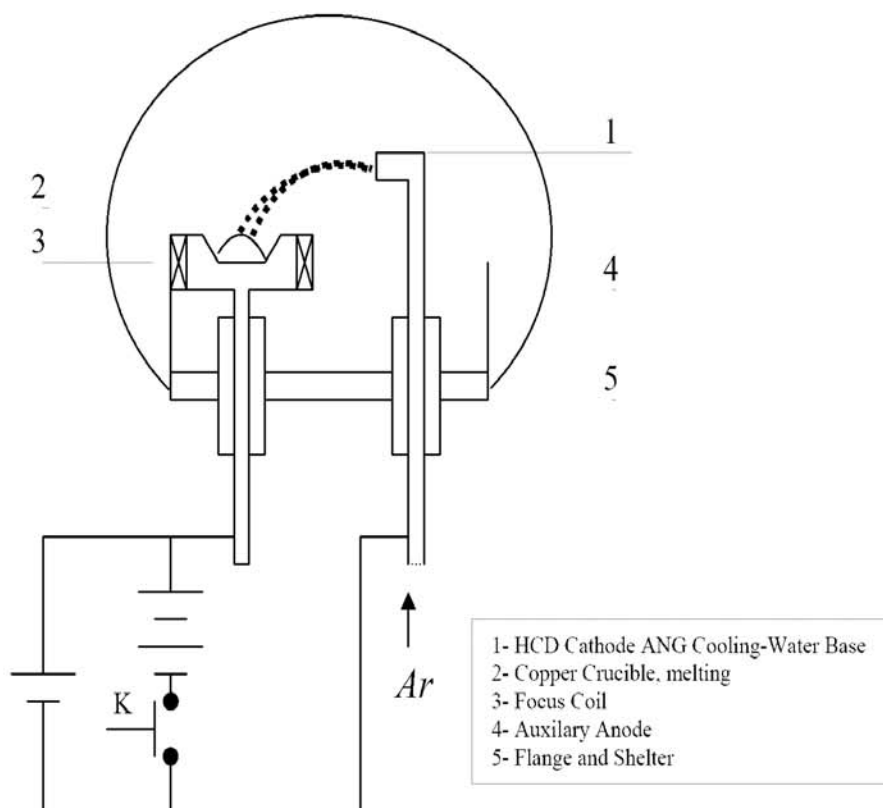
میزان توان	ولتاژ	جریان بیم	جریان گاز آرگون (STP)	خلأ سیستم در کار	حجم بوته	جریان میدان مغناطیسی برای فوکوس	مقطع بیم
15 Kw	$45V \geq$	$320A \geq$	20~200 cc/min	$13.3-1.33 \times 10^{-2} Pa$	85 cc	0-180 A	$\phi 20mm$

جدول ۲- آنالیز کربن و درصد کاربرد تشکیل شده در آلیاژ Ni-Ti

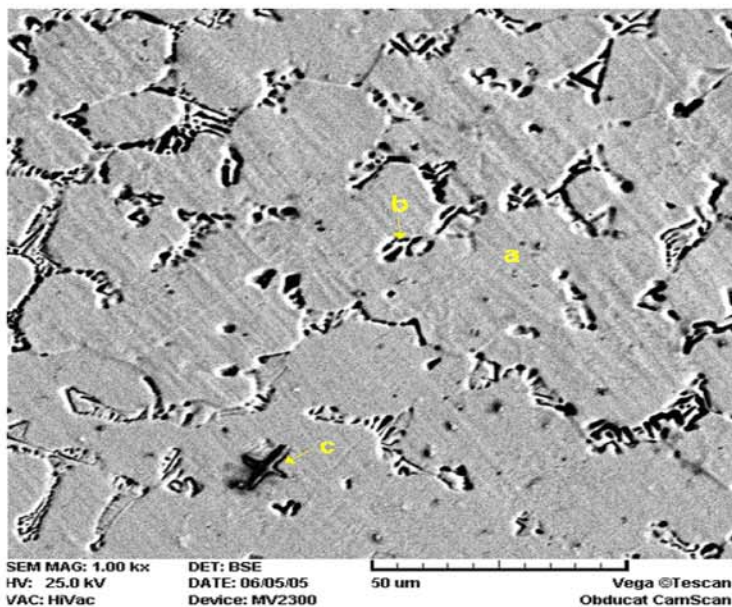
زمان ذوب مجدد (دقیقه) / درصد	۱	۵	۱۰	۱۵	۲۰
درصد وزنی کربن	۰/۰۶	۰/۷۹	۱/۲	۱/۴	۱/۷
درصد فاز TiC	۰/۵	۲/۳۵	۵/۵۹	۱۲/۵	۱۹/۹۵



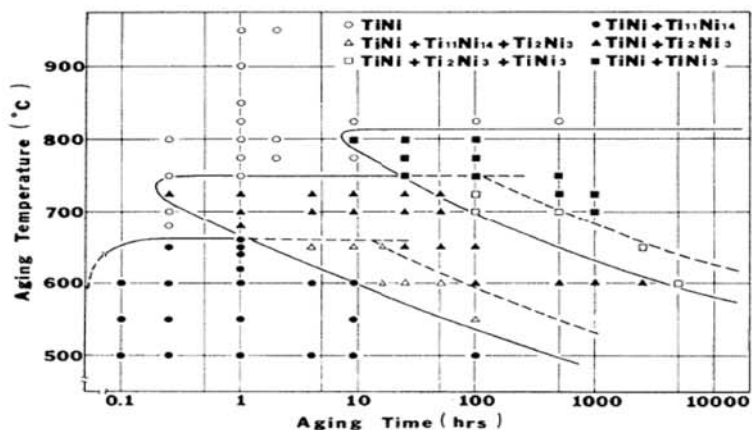
شکل ۱- دیاگرام فازی سیستم آلیاژی نیکل - تیتانیم [۹].



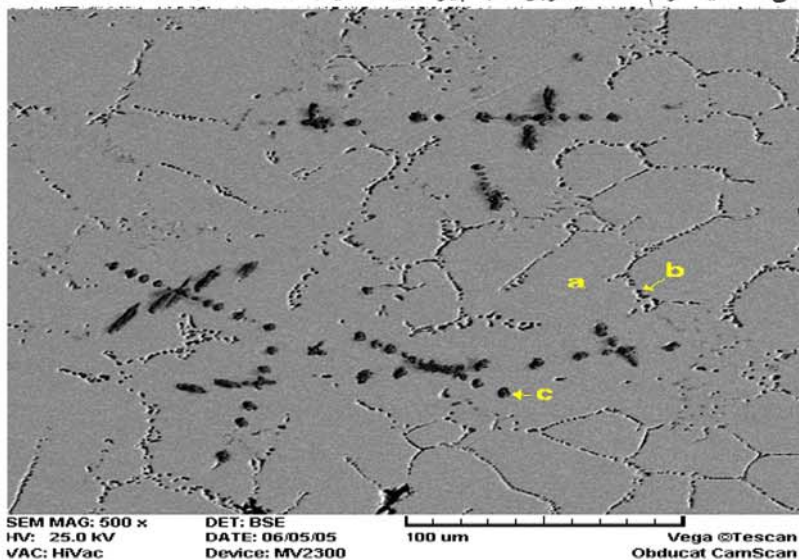
شکل ۲- نمای سیستم ذوب تحت باریکه الکترونی (EBM)



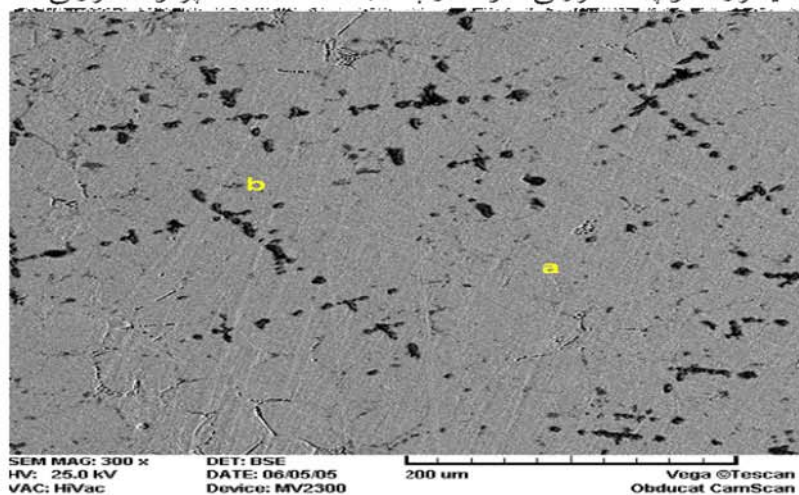
شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ذوب شده با کوره القایی تحت خلاء (VIM)



شکل ۴- دیاگرام TTT مربوط به پیرسازی آلیاژ حافظه دار Ti-52% Ni [۱۱]

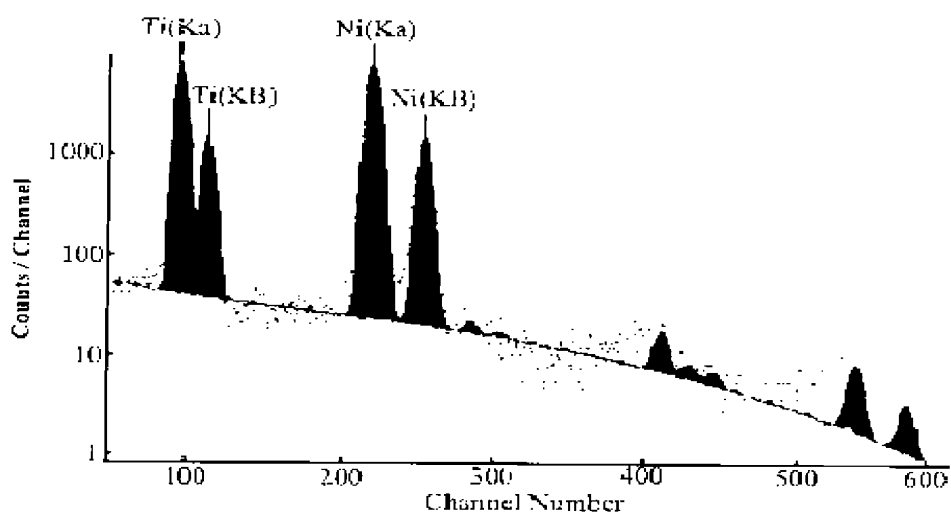


شکل ۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ذوب مجدد شده تحت پرتو الکترونی (EBM) بمدت ۵ دقیقه.

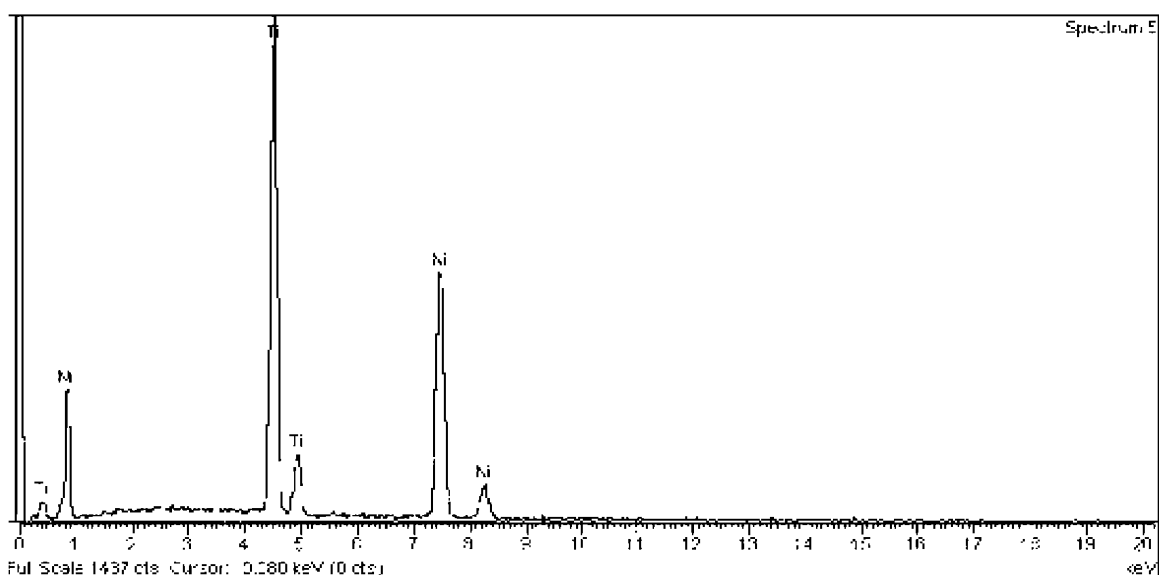


شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ذوب مجدد شده تحت پرتو الکترونی (EBM) بمدت ۱۰ دقیقه.

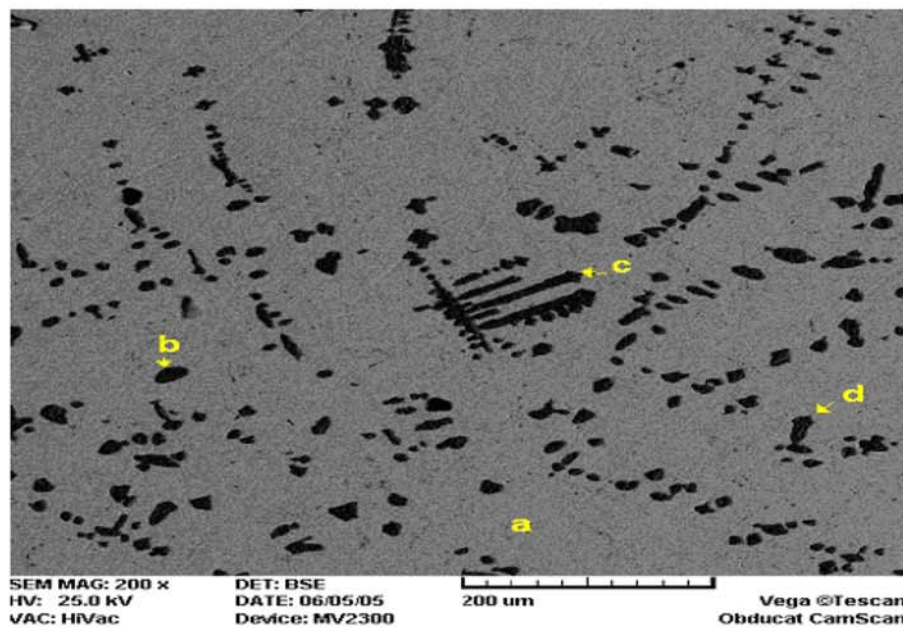
تولید آلیاژ Ni1-XTi به روش...



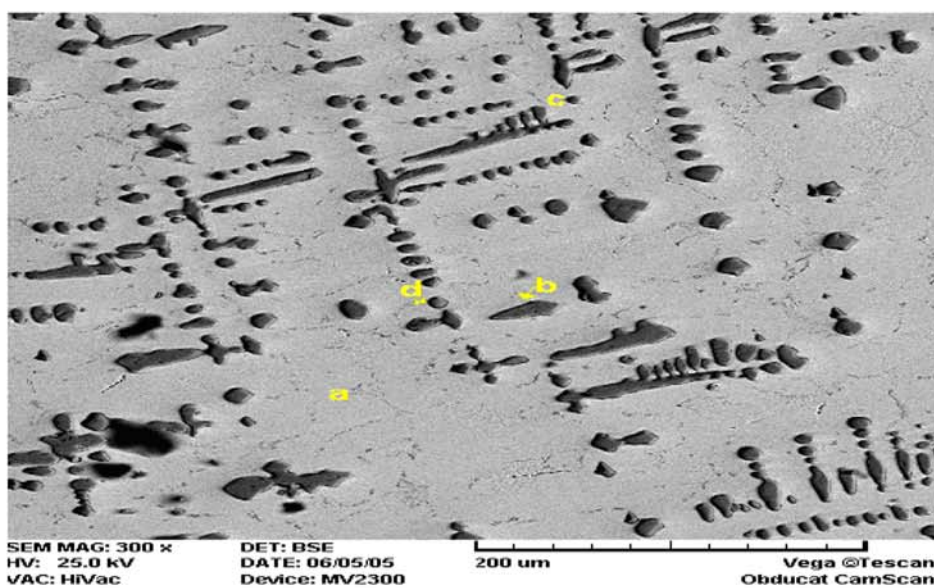
شکل ۷- نمودار آنالیز شیمیایی PIXE برای زمان ذوب ۱۵ دقیقه



شکل ۸- نتایج آنالیز شیمیایی با EDAX برای زمان ذوب ۱۵ دقیقه



شکل ۹- تصوير میکروسکوپ الکترونی نمونه ذوب مجدد شده تحت پرتو الکترونی (EBM) بمدت ۱۵ دقیقه.



شکل ۱۰- تصوير میکروسکوپ الکترونی نمونه ذوب مجدد شده تحت پرتو الکترونی (EBM) بمدت ۲۰ دقیقه.

Ni_{1-x}Ti Alloy Produced by Electron Beam Melting

E. Ahmadi¹, S. K. Sadrnezhad² and H. Sayedi³

^{1,2} Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, P.O. Box 11365-9466, Iran

³ Atomic Energy Organization of Iran

E-mail: elt_ahmadi@yahoo.com

ABSTRACT

Traditional method for production of NiTi shape memory alloy (NiTi SMA) is vacuum induction melting (VIM) in graphite crucible. Recently, electron beam melting (EBM) have also been used. This is due to reduction of contamination and excellent chemical homogeneity obtained. In this paper, the latest investigatory achievements about the EBM production method of NiTi SMA are reported for the first time in Iran. Effect of holding time of the melt in a graphite crucible on formation of equilibrated compound such as Ni₃Ti, Ti₂Ni, Ti₄Ni₂O and Ti₄Ni₂C and contamination of melt with carbon, carbide formation and oxygen removal of remelted NiTi samples (in a vacuum of better than 10⁻² Pa) is investigated. Our investigation shows that titanium and nickel evaporate. Nonequilibrium compounds accompanied with carbide phases are formed at longer holding times. Particle X-ray emission (PIXE) and EDAX method were used to determine the chemical analysis of NiTi SMAs produced by EBM. Result of chemical analysis indicated that NiTi alloy with Ni-49.12 atom% Ti together with hard and brittle phases of Ni₃Ti and TiC was produced. Characteristics of equilibrium and nonequilibrium phases were determined via metallurgy and hardness tests.

KEY WORDS: Nitinol Shape memory alloy (NiTi SMA); Electron beam melting (EBM); equilibrium and no equilibrium phase.

1- Eltefat ahmadi, MSc Student of Extractive metallurgy

2- S. K. Sadrnezhad, Professor of Metallurgy