

کنترل تخلخل و سوپر الاستیسیته آلیاژهای حافظه دار متخلخل

نایتینول تهیه شده توسط روش فشردن ایزواستاتیک گرم

۱- استاد دانشکده مهندسی مواد - متالورژی صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

۲- کارشناسی مواد متالورژی صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

*Control of porosity and superelasticity of porous Nitinol
shape memory alloys prepared by hot isostatic pressing*

Eng . M.H. Zarea , M.sadighi

Department of Materials Science & Metallurgy , Azad Yazd University

چکیده:

آلیاژ نایتینول از دو عنصر نیکل و تیتانیم با درصد اتمی مساوی یا نزدیک به هم درست شده است. این آلیاژ به سبب داشتن خواص منحصر به فردی همچون حافظه داری، زیست سازگاری، نرمی و سفتی انتخابی مورد توجه مهندسين صنايع جديد و متخصصين رشته های پزشکی و بیومواد قرار گرفته است.

این مقاله به تاثیر رفتار سوپر الاستیک آلیاژ نایتینول پرداخته؛ سوپر الاستیسیته توسط حفره ها ویژه شبیه شکل، اندازه و توزیع تخلخل کنترل می شود. که سبب بهبود چقرمگی خواص الاستیک و استحکام فشاری و خواص مکانیکی دیگر می شود.

کلمات کلیدی: نایتینول - سوپر الاستیک - حافظه داری - تخلخل - چقرمگی

Abstract:

Nitinol a Shape memory alloy Containing nickle and titanium With equal or Close to eachother atomic percentages . Because of desirable properties Such as a Shape memory effect , Biocompatibility , Selective Stifenss or Softness and mechanical Strength , it's use in Such advanced Systems as intelligent technologies , biomaterial an automatic equipments is now Seriously of the Cansidered. This paper reports superelastic behaviour of the SMA which is controlled by pore Characteristics Such as Pore Shape, pore Size and pore distribution is important for improving the toughness, elastic properties , Compression Strength and other mechanical properties. .

Keyword:Nitinol-Superelastic-Shapememory- Toughness

۱- مقدمه :

اخیراً آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول نظر بسیاری از محققین و مهندسین مواد را جلب کرده است. زیرا خواص عالی و کاربردی بهینه آن ها به ویژه در پزشکی است. ساختار حفره‌ای در آلیاژهای حافظه دار نایتینول دانسیته آلیاژها را کاهش می دهد و بیش از آن، مدول یانگ آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول می تواند بواسطه کنترل کردن خصوصیت حفره ها تنظیم شود.

روش متالورژی پودر فرایند اطمینان بخش تر برای بقیه آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول است. توسط زینتر کردن عناصر پودری نیکل و تیتانیم، روش متالورژی پودر شامل تکنیک های مختلفی است شبیه زینتر کردن معمولی (CS^1) واکنش حرارت زیاد خود پیشرو (SHS^2) و فشردن ایزواستاتیک گرم (HIP^3) تاکنون تهیه خواص مکانیکی آلیاژهای حافظه دار متخلخل توسط این روش ها با رضایتمندی انجام نشده است. شکل حفره های آلیاژ متخلخل نایتینول توسط زینتر کردن معمولی زمانی که اندازه حفره ها کوچک باشد معمولاً بی قاعده است. و در تکنیک فشردن ایزواستاتیک گرم آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول توزیع حفره ها آنیزوتروپیک و حفره های پیوسته بزرگی دارد بنابراین ساخت مواد نایتینول نوعاً ترد و سوپر

-
1. Conventional Sintering
 2. Self-propagating High temperature Synthesis
 3. Hot Isostatic Pressing

الاستیسیته کمی را نشان می دهند بنابراین توسعه روشی برای تولید آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول با توزیع مختلخل هموژن و ایزوتروپیک شکل حفره ها با قاعده و میزان اندازه حفره ها به علاوه خواص مکانیکی رضایتمند ضرورت دارد. تلاش زیاد جهت بهبود خواص مکانیکی و سوپر الاستیسیته آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول پیش از آن که بتوان آن ها را در کاربردهای پزشکی و مهندسی استفاده کرد انجام شده است. نهایتاً گزارش شد که مواد سرامیکی متخلخل که توسط کپسول آزاد فشردن ایزواستاتیک گرم تهیه می شوند. دارای توزیع حفره های هموژن و شکل حفره ها با قاعده و تخلخل باز قابل کنترل دارد مواد تهیه شده توسط این روش خواص مکانیکی بهتر را نسبت به موادی که توسط روش های زینتر معمولی تهیه شده بودند نشان می دهند. در این مطالعات ریز ساختار رفتار استحاله مارتنزیت و خواص مکانیکی آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول که توسط کپسول آزاد فشردن ایزواستاتیک گرم تهیه شده بودند بررسی و با آلیاژهای اصلی که توسط روش زینتر تهیه شده بودند مقایسه شدند. آلیاژها تحت شرایط مختلف گذشت زمان بر طبق بالا بردن سوپر الاستیسیته در دمای اتاق توسط دمای استحاله مارتنزیت کنترل شدند.

۲- پروسه آزمایشگاهی:

پودر عنصر تیتانیوم (اندازه $50-70 \mu m$) با خلوط ۹۹٪ و پودر نیکل (اندازه $7-4 \mu m$) با خلوص ۹۹٪ در این کار استفاده شدند و مخلوط پودرها با ترکیب اسمی تیتانیوم با ۵۰ درصد نیکل توسط انرژی زیاد دورانی آسیابی گلوله ای برای ۴ ساعت مخلوط شدند در این زمان مخلوط پودرها به صورت پرس سرد نمونه تر تحت فشار 100 MPa در سیلندری با استفاده از پرس هیدرولیک انجام شد نمونه ها با استفاده از گاز آرگون محافظ در کوره **HIP** زیتتر شدند و فرآیند زیتتر معمولی به نمونه اصلی برای مقایسه و تطبیق بکار گرفته شد پارامترها و شرایط فرآیند در جدول (۱) نشان داده شده است.

(جدول ۱) شرایط آزمایشگاهی و پارامترهای قابل استفاده در آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول

Sample designation	Fabrication method	Experimental parameters
Sample-1	Capsule-free HIP	50 MPa, 1323 K, 3 h
Sample-2	Capsule-free HIP	150 MPa, 1323 K, 5 h
Sample-3	CS	0 MPa, 1223 K, 5 h

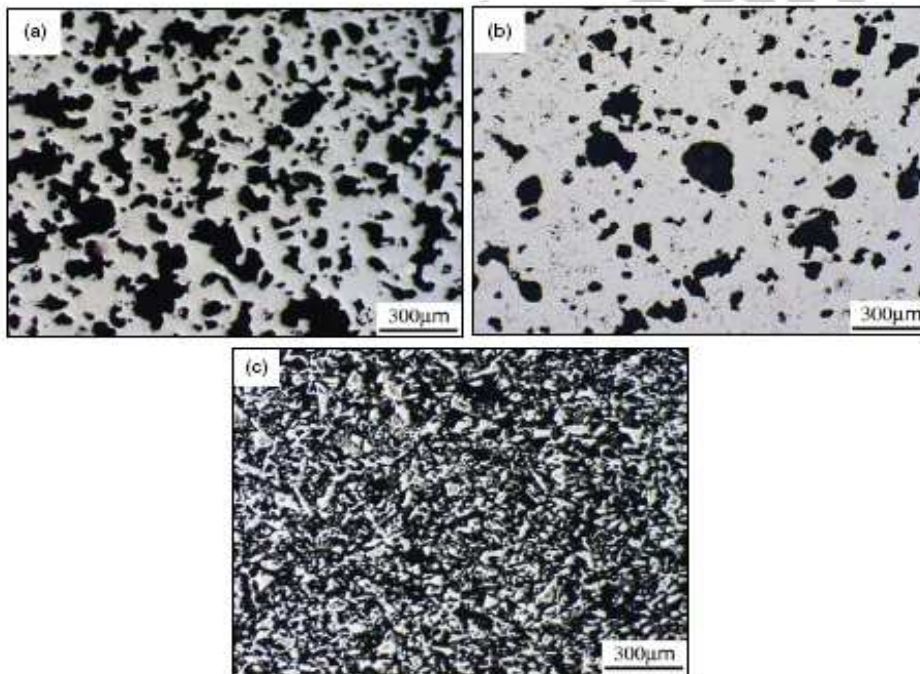
متعاقباً نمونه ها در لوله کوره به عنوان عملیات پیر (**Ageing**) بودند و به دنبال آن محیط کوئینچ آب یخ بود میکروسکوپ الکترونی (**SEM**) و طیف نمایی پراش پرتو ایکس (**EDX**) و یک پراش سنج می توان خصوصیات ریز ساختاری و ساختار کریستالی و ترکیبی را بدست آورد. دانسیته نمونه ها توسط اصل ارشمیدس اندازه گیری شد. همچنین آنالیز حرارتی روبشی کالری سنج انتخابی برای دما

استحاله فازی انتخاب شد. میکروسیستم محلول آنالیز تصویری *LEICA* برای ارزیابی توزیع اندازه حفره ها قابل استفاده بود. ارزیابی خواص مکانیکی حفره های اصلی آلیاژ حافظه دار نایتینول نمونه به شکل استوانه به طول 12 mm و قطر 6 mm بود که آزمایش فشار هوا از اینسترون 420δ در یک نرخ کرنشی ثابت $3.33 \times 10^{-3} S^{-1}$ انجام شد.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- مرفولوژی و توزیع حفره ها:

همانطور که می دانیم ساختار درشت آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول بواسطه کپسول آزاد *HIP* توزیع حفره های ایزوتریپیک و هموزن را میتوان نشان داد.

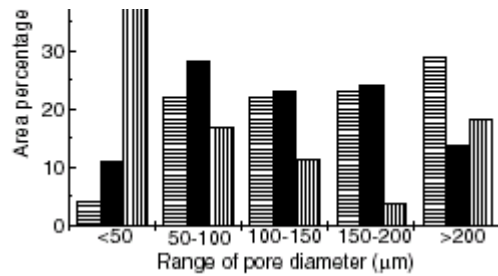


(شکل ۶) میکروگراف نوری (الف) نمونه ۱ *HIP* (ب) نمونه ۲ *HIP* (ج) نمونه ۳ *CS*

میکروگراف نوری نمونه تولید شده توسط کپسول آزاد **HIP** تحت پارامترهای مختلف و نمونه اصلی توسط فرآیند زیتتر به ترتیب آمده و به وضوح نشان داده شده است که در نمونه **HIP** بیشترین تخلخل به صورت موضعی و به شکل کروی بسته که ندرتاً حفره های کنارها پیوسته است. بنابراین تفاوت های بین این دو نمونه (نمونه ۱ و نمونه ۲) است.

ظاهراً تعداد زیادی حفره های کوچک در نمونه (۱) شکل (۶-الف) می بینیم و تعدادی از حفره های پیوسته را در حالی که حفره های کوچک در نمونه (۲) شکل (۶-ب) مشاهده می کنیم. این حفره ها کاملاً موضعی است.

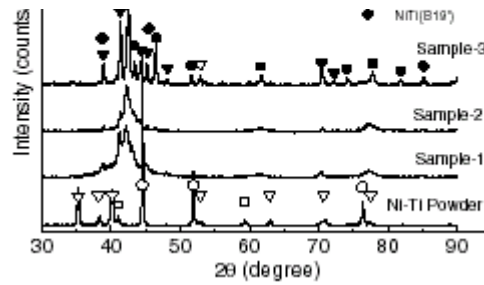
این نظریه ممکن است بدین معنی باشد که فرآیند کپسول آزاد **HIP** مرفولوژی آلیاژها حافظه دار متخلخل می تواند تحت تغییرات پارامترهای این فرآیند کنترل شود در حالی که نمونه زیتتر شده، میکروگراف نوری نمونه ۳، که ترکیب اسمی مشابه نمونه **HIP** دارد به وضوح می توان تفاوت مرفولوژی نمونه **HIP** که شکل حفره ها بی قاعده و کوچکترین حفره پیوسته ($50 \mu m$) است را در شکل (۶-ج) بینیم. شکل (۸ و ۷) توزیع اندازه دانه بر آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول که تحت ۳ شرایط متفاوت تولید شده است را نشان میدهد.



(شکل-۷) توزیع اندازه حفره های آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول توسط آنالیز تصویری

نتایج مشخصی با استفاده از مقدار متوسط بدست آمده از پنچ تصویر میکروگراف نوری به صورت تصادفی از مقطع هر نمونه گرفته شد. درصد نواحی (یا کسر) نسبت حضور حفره ها در آن مناطق به مناطق کل در دامنه اندازه حفره های مختلف اندازه گیری شد. مشاهده شد که اندازه حفره های متوسط و معمولی در کپسول آزاد **HIP** تحت شرایط متفاوت هر دو فرآیند حدود ۵۰ تا ۲۰۰ μm است.

بنابراین تفاوت های در توزیع اندازه حفره ها بین این دو نمونه وجود داشت. تعداد زیادی حفره های بزرگ در نمونه (۱) که ($>200 \mu m$) بود وجود داشت. بنابراین واضح است که توزیع اندازه حفره ها میتواند اغلب با استفاده از پارامترهای متفاوت فرآیند تنظیم شود. به علاوه مشاهده شد که بیشترین حفره ها در نمونه زیتترینگ کوچکتر از $100 \mu m$ است که این نتایج بسیار مشابه بود به گزارش توسط دیگران که انجام شده بود.



شکل ۸) نمونه XRD مخلوط پودر $NiTi$ در آلیاژ متخلخل حافظه دار نایتینول که تحت شرایط

مختلف تهیه شده است

در حالت کلی حفره ها در مواد متخلخل می توانند به دو نوع کلاس طبقه بندی شوند:

کلاس اول: حفره های باز یا پیوسته با سطح خارجی نمونه هستند. خلل و فرج و

(ρ) به عنوان کسر حجمی خلل و فرج به حجم کلی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) \times 100\%$$

ρ چگالی حجمی مواد و ρ_0 چگالی حجمی تئوری مواد (که اینجا $\rho_0 = 6.054 \text{ gcm}^{-3}$

برای تیتانیوم با ۵/۸ درصد آلیاژ درصد نیکل و 6.19 gcm^{-3} برای مخلوط تیتانیوم در

درصد پودرنیکل) کسر تخلخل باز (η) به عنوان نسبت تخلخل باز (ρ_1) به تخلخل

(ρ) تعریف می شود که توسط روش وزن مایع تعیین می شود. و تخلخل نمونه

های (۱) و (۲) به ترتیب ۴۱/۹٪ و ۳۹/۲٪ بر طبق اندازه گیری های انجام شده تخلخل

نمونه فشرده شده تر ۳۶/۱٪ است و نسبت تخلخل باز ۴۲/۶٪ و ۶۰/۶٪ به ترتیب

می باشد.

که این افزایش تخلخل روی **HIP** به هیچ وجه نمی آرزد. زیرا ممکن است از حبس شدن گاز در فشردگی تر در آخرین مرحله منبسط شدن زیتترینگ ناشی شود. البته به وجود آمدن بیشتر حفره ها از حفره های انقباضی ناشی می شود. زمانی که انجامد فاز مایع دمای زیتترینگ فرآیند **HIP** بالای دمای اتوکتوئید باشد. حفره های کروی و مجزا آثار حبس شدن گاز در نمونه های **HIP** است همانطور که در شکل (۶-ب) مشاهده می شود جای که حفره ها ناپیوسته نیستند در فشاری بالاتر از 150 Mpa ، به خوبی بالای این مقدار تحت حمایت می باشند.

۳-۲- ارزیابی ریز ساختار:

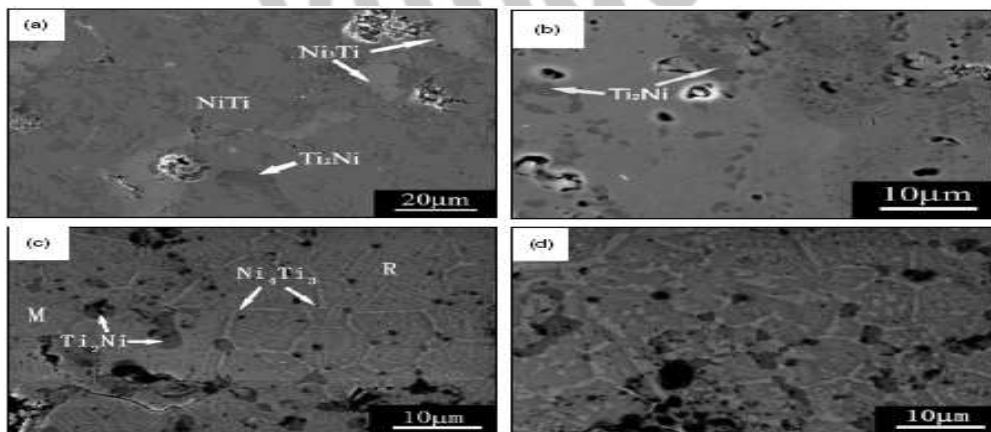
نمونه **XRD** مخلوط پودر نایتینول و سه نمونه دیگر در شکل (۸) نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می شود فاز **TiH₂** در مخلوط پودر نایتینول به اضافه فاز نیکل و تیتانیم وجود دارد. یکی از دلایل موجود ناخالصی در پودر تیتانیم تولید آن از هیدروژن گیری **TiH₂** است.

در نمونه (۱) و نمونه (۲) خصوصیات آن دو نشان می دهد که فازهای اصلی نایتینول (B_{19}, B_1) است. (توضیح در ساختارهای کریستالو گرافی) پس **Ti₂Ni** فاز دوم آشکار شده است.

بنابراین تفاوت کمی در فاز ریز ساختار بین این دو نمونه وجود دارد؛ پس مستلزم این است که فشار گرم و زمان زینتریگ تأثیر روی فاز تشکیل شده ندارد. پس ارزشی ندارد که مقدار اضافی فاز نیکل غنی شده (Ni_3Ti) جزء باقیمانده Ti در نمونه ۳ آشکار شود. در نمونه ۳ دمای زینتر کردن پایین تر از $1223k$ و نمونه (۱) و (۲) $1323k$ است.

و واکنش زینتریگ در نمونه ۳ فعالیتش کمتر می شود در نمونه (۱) و (۲) دمای زینتر $1323k$ که به وضوح بالاتر از دمای دما اتوکتیک در سیستم آلیاژ دو تایی نایتینول است. فازهای مایع زیادی در طول فرآیند زینتر می تواند کامل انجام شود، اگر چه فاز مایع در نتیجه تعدادی فاز شبیه Ti_2Ni , Ni_3Ti در فاز ثانویه و مقدار جزئی از تیتانیم باقی می ماند.



(شکل ۹) تصویر SEM از نمونه های: (الف) آماده شده توسط CS (ب) نمونه ۲ HIP (ج) نمونه

۲ در دمای $773K$ بمدت یک ساعت (د) نمونه ۲ در دمای $773k$ برای ۵ ساعت

شکل ۹ تصویر *SEM* از نمونه زینتر شده و *HIP* تحت شرایط متفاوت پیری را نشان می دهد در نمونه زینتر شده در شکل (۹-الف) نواحی مجزای در تصویر خاکستری روشن و خاکستری و خاکستری تیره در این مناطق دیده می شود .

آنالیز کمی *EDX* تأیید می کند که این سه مناطق به ترتیب فازهای *Ti-73* با *Ti-51,%Ni* با *Ti 32,%Ni* دلالت دارد و این سه فاز به ترتیب *Ti₂Ni, NiTi, Ni₃Ti* فازهای ترکیب بین فلزی هستند برای مثال در نمونه دوم *HIP* که در شکل (۹-ب) می بینیم فقط فاز *Ti₂Ni* در زمینه *NiTi* وجود دارد ، که این نتیجه با نتایج *XRD* مطابقت دارد .

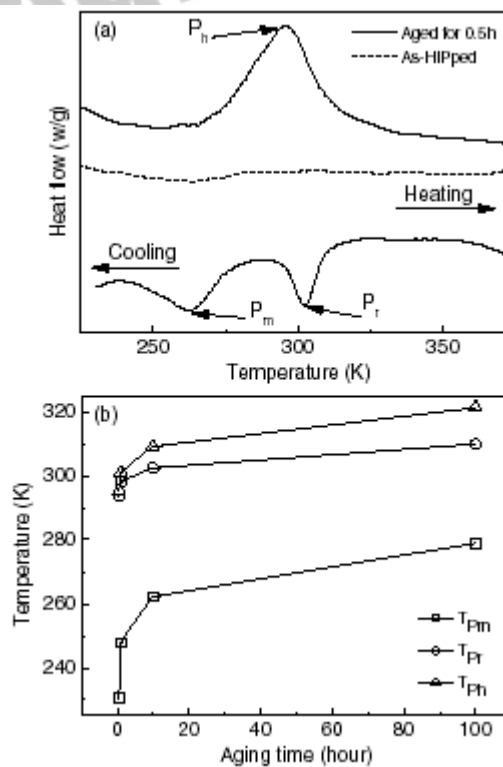
در نتیجه دمای زینتر بالاتر به تسریع نفوذ اتم های نیکل و تیتانیم کمک می کند این باعث می شود که فازهای ثانویه شبیه به *Ti₂Ni, Ni₃Ti* کاهش می یابند . بنابراین فاز *Ni₃Ti* را نمی توان در تصویر مشاهده کرد شکل (۹-ج) تصویر نمونه دوم پس از گذشت زمان ۱ ساعت در 773 K و کونچ کردن آن در آب یخ بعد از زینتر کردن *HIP* است با مقایسه شکل (۹-ب) و (۹-ج) می توان فازهای روشن *Ti* با 0.57% نیکل که می توان آن را به عنوان فاز *Ni₄Ti₃* توسط آمیختن نتایج *EDX, XPD* تعریف شود . به علاوه صفحات *B₁₉* و فاز *R* در بعضی مناطق شکل (۹-ج) را می توان مشاهده کرد همین نتایج مشابه از نمونه های عملیاتی در اثر زمان پیری بدست آمد.

شکل (۹) تصویر واقعی *SEM* از نمونه پیرشده برای پنج ساعت در 773 K بعد از *HIP* است هر دو فاز مارتنزیت B_{19} ، R ، به طور همزمان در دمای اتاق در نمونه های پیر شده تصدیق می شود. (توضیحات دوفاز مارتنزیت R ، B_{19} در فصل سوم می باشد). نتایج بالا زمان پیر شدن جهت رشد بیشتر رسوب Ni_4Ti_3 در طول مرزدانه ها همانطور که در شکل (۹-ج) می بینیم را به دنبال رشد دانه ها دور از مرز که در شکل (۹-ب) می بینیم را آشکار می کند.

۳-۳- آنالیز *DSC*:

شکل منحنی (۱۰-الف) حرارت دادن و سرد شدن بواسطه آنالیز *DSC* در نمونه دوم بعد از *HIP* و زمان پیری به صورت ۰/۵ ساعت را نشان می دهد مشخص است که پیک گرمازا برای نمونه *HIP* به آسانی قابل رویت نیست، به این علت است که دمای M_s به عنوان نمونه *HIP* برای تشکیل مارتنزیت در شرایط آزمایشگاهی خیلی پایین است (کونچ در آب یخ) برای نمونه سرد شده در یک پیک گرمازا که با نماد p_h است و در حرارت بالا ظاهر می شود در این حین فاصله دو پیک گرمازا در طول سرد شدن آشکار می شود. پیکی که دمای بالا دارد و دیگری دمای پایین دارد به ترتیب P_r ، P_m می باشد در این حالت مارتنزیت سوزنی شکل B_{19} و فاز R در نمونه بعد از گذشت زمان در دمای اتاق و توسط *SEM* نمایان خواهند شد. (در شکل ۴ مشاهده می شود) بنابراین پیک P_r در منحنی سرد شدن مشابه تشکیل فاز R است در این صورت P_m مشابه فاز مارتنزیت B_{19} است.

بررسی دقیق این دو پیوستگی بین دمای استحاله فازی در زمان پیری در دمای گرم‌مازایی پیک برای نمونه پیر شده و زمان های مختلف سنجش می شود شکل (۱۰-ب) ارتباط بین دمای پیک و زمان پیری نشان داده شده است همانطور که مشاهده می شود در همه پیک ها افزایش سریع دما مطابق با دمای پیری است که بتدریج یک مقدار ثابتی بدست می آورد این حاکی از آن است که هر دو فاز، R و فاز مارتنزیت انتقال استحاله فازی آن ها به جهت دمای بیشتر مطابق با دمای پیری پیش می رود.



(شکل ۱۰) نتایج آنالیز حرارتی (الف) منحنی DSC نمونه ۲ HIP در دمای ۷۲۳k

(ب) ارتباط بین پیک حرارتی و گذشت زمان

بالین بررسی میتوان محتوی Ni در زمینه فاز B_2 را پایین آورد که منجر به رسوب فاز Ni_4Ti_3 و نتیجتاً دمای استحاله فازی را بالا می آورد.

این مکانیزم استحاله فازی نیکل غنی شده متخلخل در آلیاژهای حافظه دار نایتینول به جهت شباهت حجم متراکمتر در آلیاژ حافظه دار نیکل غنی شده راه می یابد. از این رو تنش های داخلی اضافی توسط رسوب دهی Ni_4Ti_3 سبب استحاله مستقیم از فاز B_2 به B_{19} است که بعد از پیری سخت تر می شود کاهش فاز R متوسط انرژی فعالسازی کلی استحاله است بنابراین انرژی به طور قابل مطلوبی با دو مرحله استحاله دنبال می شود. فاصله دو پیک گرمازا با پیری به تدریج کاهش می یابد.

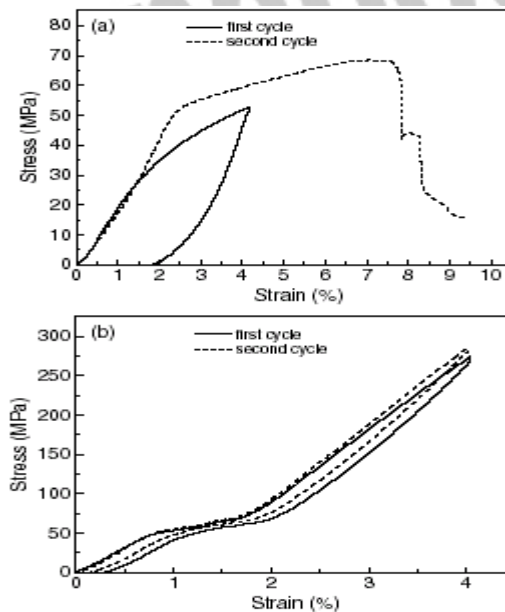
می دانیم هر دو دمای R_S, M_S مطابق با زمان پیری در نیکل غنی شده متراکم آلیاژهای حافظه دار نایتینول افزایش می یابد. M_S به طور قابل توجهی در شروع زمان پیری تغییر می یابد و به تدریج به یک مقدار ثابتی دست می یابد، لذا R_S به آرامی با افزایش زمان پیری تغییر می کند بنابراین T_{pm} زمانی که حوزه کوچکتري از T_{pr} وجود دارد تغییر عمده ای می دهد.

۳-۴- تکامل خواص مکانیکی - آزمون فشار:

شکل (۱۱-الف) و (۱۱-ب) منحنی تنش کرنش آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول از زمان پیری برای ۵ ساعت در $723K$ به ترتیب بعد از زینتر کردن فرآیند HIP است. آزمایش در همان پیش تنش پایه (۰.۴٪) و در دمای اتاق انجام شد که شکل

(۱۱ - الف) می توان مشاهده کرد که کرنش بدون بازیابی حدود (۲٪) برای نمونه

زینتر شده بعد از یک چرخه اولیه است .



(شکل ۱۱) منحنی تنش کرنش آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول (الف) نمونه CS

(ب) HIP (هر دو در دمای ۷۷۳k برای ۰/۵ ساعت و محیط کوینج آب یخ)

در این زمان نمونه در طول چرخه ثانویه با استحکام فشاری حدود 68 Mpa دچار پارگی می شود کرنش قابل بازیابی بدون برجستگی مشاهده شد که آن را فوق الاستیسیته موجود می نامند . که این نتیجه مشابه گزارش دیگران برای آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول توسط زینتر کردن تهیه شده است . دلیل که تخلخل ها در اطراف محل تنش می باشند اشکال بی قاعده حفرهاست در طول بارگذاری رفتار این حفره ها

شبیه ریزترک ها یا ریزفاق هاست که کرنش تسلیم و تنش های ناشی از تنش متمرکز تحت تنش ناخالصی اسمی برای آلیاژ متراکم نایتینول خیلی پایین است. منحنی تنش کرنش در شکل (۱۱ - ب) مقداری جزئی سوپر الاستیسیته آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول که در چرخه اول **HIP** و سوپر الاستیسته نهایی در چرخه ثانویه و چرخه پس از آن را نشان می دهد کرنش غیر قابل بازیابی فقط حدود 0.3% است که حتی بدون بارگذاری تحت کرنش بالای تغییر شکل (کرنش 4%) است، که این ناشی از لغزش در طول تغییر شکل قبلی است. تشکیل تنش های داخلی به واسطه متوقف کردن استحاله مارتنزیتی است. بنابراین سوپر الاستیسیته نهایی با نمونه متخلخل حاضر در دمای اتاق بعد از چرخه اول حاصل می شود که در آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول می بایست کپسول آزاد **HIP** با چقرمگی بالا و استحکام فشاری بالا (بیش از 250 Mpa) تأیید شود. علاوه بر این یک ورق مسطح که تنش حدود (150 Mpa) دارد خصوصیت سوپر الاستیک آلیاژ حافظه دار نایتینول را دارد این نتایج شامل آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول که توسط زیتتر تهیه شده اند نیز می باشد همچنین این نتیجه برای اشکال با قاعده (تقریباً دایره) و حفره های با اندازه توزیع هموزن که موضع تمرکز تنش در مجاورت حفره هاست به علت بالا بودن استحکام فشاری متوسط در آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول است. به علاوه عملیات حرارتی ویژه ای را می توان اختیار کرد ضمن آن که سوپر الاستیسیته، چقرمگی را

بهبود می بخشد فراهم شود . بنابراین واضح است که سوپرالاستیسیته در بهبود
چقرمگی و استحکام فشاری آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول مهم است . اختیار
کردن فرآیند زیترینگ **HIP** اغلب برای کنترل خصوصیت حفره ها مانند شکل، اندازه
و توزیع حفره ها به حالت بوته ایست .

نتیجه گیری :

تخلخل $Ti-50/8\%Ni$ در آلیاژهای حافظه دار حفره های کروی شکل و ریز ساختاری هموزن توسط فرآیند کپسول آزاد **HIP** با موفقیت تهیه شد. آلیاژ حافظه دار متخلخل دارای ساختاری با ۴۰-۳۰٪ حجمی تخلخل و دامنه اندازه حفره ها از ۵۰ تا $200\ \mu m$ است. در رفتار ارتجاعی کاذب آلیاژ خاصیت کشسانی نامحدودی پیدامی کند. رفتار استحاله فازی در آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول به تراکم نیکل غنی شده در آلیاژ حافظه دار نایتینول بسیار مرتبط است. آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول توسط فرآیند **HIP** فشرده می شود که سوپر الاستیسیته کامل و تراکم آلیاژ حافظه دار نایتینول را نشان می دهد. سوپر الاستیسیته بیشتر تحت استحاله فازی بررسی می شود و توزیع همسان گردی و هموزن حفره های کروی مانند، در پایین آوردن تمرکز تنش نزدیک حفره هاست. خواص مکانیکی آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول توسط کنترل ویژگی حفره ها بهبود می یابد. به علاوه عملیات حرارتی به عنوان مثال پیری تأثیر زیادی روی استحاله فازی و سوپر الاستیسیته آلیاژهای حافظه دار نایتینول دارد. نرخ کرنش تأثیر مهمی بر سوپر الاستیسیته و رفتار سیستم آلیاژهای حافظه دار نایتینول در رنج حرارتی سوپر الاستیک برای جذب انرژی دارد. روشهای رایج ساخت: (۱) ذوب و ریخته گری (۲) متالورژی پودراست. استفاده بهینه آلیاژهای حافظه دار نایتینول در مکان های تکنولوژیکی مهندسی پزشکی و کنترل میکروسیستم های صنعتی است.

منابع و مآخذ :

1- *Smart Materials & Structures* .By B Yuan, CY Chung , XP Zhang , MQ Zeng and M Zhu 14

(2005) S 201 –S206

- [1] Itin V I, Gjunter V E, Shabalovskaya S A and Sachdeva R L C 1994 Mechanical properties and shape memory of porous Nitinol *Mater. Charact.* **32** 179–87
- [2] Martynova I, Skorohod V, Solonin S and Goncharuk S 1991 Shape memory and superelasticity behavior of porous Ti–Ni material *J. Physique Coll. IV* **1 C4** 421–6
- [3] Li B Y, Rong L J and Li Y Y 1998 Porous NiTi alloy prepared from elemental powder sintering *J. Mater. Res.* **13** 2847–51
- [4] Chu C L, Li B, Wang S D, Zhang S G, Yang X X and Yin Z D 1997 Preparation of TiNi shape memory alloy porosity by SHS *Trans. Nonferr. Met. Soc. China* **7** 84–7
- [5] Li B Y, Rong L J, Li Y Y and Gjunter V E 2000 Fabrication of cellular NiTi intermetallic compounds *J. Mater. Res.* **15** 10–3
- [6] Vandygriff E L, Lagoudas D C, Thangarai K and Chen Y C 2000 Porous shape memory alloys, part I: fabrication and characterization *Proc. ASC 15th Annual Technical Conf.* (Lancaster, PA: Technomic) pp 239–47
- [7] Ishizaki K, Komareni S and Nanko M 1998 *Porous Materials* 1st edn (Dordrecht: Kluwer–Academic) pp 56–9
- [8] Yuan B, Chung C Y and Zhu M 2004 Microstructure and martensitic transformation behavior of porous NiTi shape memory alloy prepared by hot isostatic pressing processing *Mater. Sci. Eng. A* **382** 181–7
- [9] *ASTM Standard* 1987 vol B328 (Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials)
- [10] Kaysser W A and Pctzow G 1984 *Proc. Sintering Theory and Practice Conf.* (London: The Metals Society) pp 101–19
- [11] Nishida M, Wayman C M and Honma T 1986 Precipitation processes in near-equiatomic Ti–Ni shape memory alloys *Metall. Trans. A* **17** 1505–15
- [12] Stroz D, Kwarciak J and Morawiec H 1988 *J. Mater. Sci.* **23** 4127–31
- [13] Xie C Y, Zhao L C and Lei T C 1989 *Scr. Metall.* **23** 2131–36
- [14] Li B Y, Rong L J and Li Y Y 2000 Stress–strain behavior of porous Ni–Ti shape memory intermetallics synthesized from powder sintering *Intermetallics* **8** 643–6
- [15] Miyazaki S 1990 *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys* ed T S Duerig *et al* (London: Butterworth–Heinemann) pp 394–413

Filename: Document1

Directory:

Template: C:\Documents and
Settings\hadi
tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.
dotm

Title: 1- آلیاژهای حافظه دار متخلخل

نایتینول:

Subject:

Author: t

Keywords:

Comments:

Creation Date: 4/15/2012 11:34:00
AM

Change Number: 1

Last Saved On:

Last Saved By: H.H

Total Editing Time: 0 Minutes

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Last Printed On: 4/15/2012

11:34:00 AM

As of Last Complete Printing

Number of Pages: 20

Number of Words: 2,643 (approx.)

***Number of Characters: 15,070
(approx.)***