

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

فصل اول

www.kandooon.com

۱- مقدمه و تاریخچه

آلیاژهای حافظه دار موادی بسیار جالب با مشخصات حفظ شکل و سوپرالاستیسیته هستند که فلزات و آلیاژهای معمولی این خاصیت را ندارند. خواص متمایز و برتری آن ها نسبت به سایر آلیاژها عکس العمل شدید این مواد نسبت به برخی پارامترهای ترمودینامیکی و مکانیکی و قابلیت بازگشت به شکل اولیه در اثر اعمال پارامترهای مذکور است. وقتی یک آلیاژ معمولی تحت بار خارجی بیش از حد الاستیک قرار میگیرد تغییر شکل میدهد. این نوع تغییر شکل بعد از حذف بار باقی می ماند. آلیاژ حافظه دار منجمله نایتینول رفتار متفاوتی از خود ارائه مینماید. در دمای پایین یک نمونه حافظه دار می تواند تغییر شکل پلاستیک چند درصدی را تحمل کند و سپس به صورت کامل به شکل اولیه در دمای بالا برگردد. و این تنها با افزایش دمای نمونه ممکن است. این فرآیند در باره پدیده حافظه داری شکل اولین بار در سال ۱۹۳۲ توسط *Read, Change* مشاهده شد آنها وارون پذیری حافظه شکلی را در *AuCd* از طریق مطالعات فلزشناسی و تغییرات مقاومت الیاز بررسی کردند و برای مدت زمان طولانی در حد کنجکاو آزمایشگاهی باقی ماند تا اینکه این در سال ۱۹۵۶ مشاهدات و تحقیقات مربوط به تز دکترای *Horbojen* در موضوع اثر حافظه دار در آلیاژ *CuZn* منتشر شد و در سال ۱۹۶۳ کشف حافظه داری شکل در آلیاژ *NiTi* با درصد اتمی مساوی (۵۰-۵۰٪) توسط *Buhler* و همکارانش نظر دانشمندان و محققین را جلب

نمود. در این هنگام تحقیق درباره متالورژی و کاربرد های عملی اولیه آن به طور جدی آغاز شد. در سال ۱۹۶۷ در کنفرانس *Buhler,Nol* و همکارانش تحقیقات گسترده خود را بر روی *Nitinol* و کاربرد های تجاری فراوان در صنایع ارائه دادند. از سال ۱۹۸۰ *Hawt,Micheal* با انتشار مقاله بر روی برنج ماده جدید حافظه دار دیگر را معرفی کردند و بعد رفتار سوپرالاستیک مواد حافظه دار و بویژه نایتینول به منظور وسایل پزشکی و صنعتی توسعه یافت و کشف مزایای اساسی و عملی آن ها هر روز رو به افزایش است .

۲- پیش گفتار

انواع مواد هوشمند را بر مبنای نوع تبدیل انرژی که صورت می گیرد طبقه بندی می کنند :

۱- الکترومکانیکی : مواد پیزوالکتریک، مواد الکترو استریکتیو، سیالات الکترو

ژئولورژیکال

۲- مکانیکی مغناطیسی : مواد مگنتو استریکتیو ، سیالات مگنتو ژئولورژیکال

۳- مکانیکی نوری : فیبرهای نوری

۴- مکانیکی - حرارتی : آلیاژهای حافظه دار

۳- آلیاژهای حافظه دار

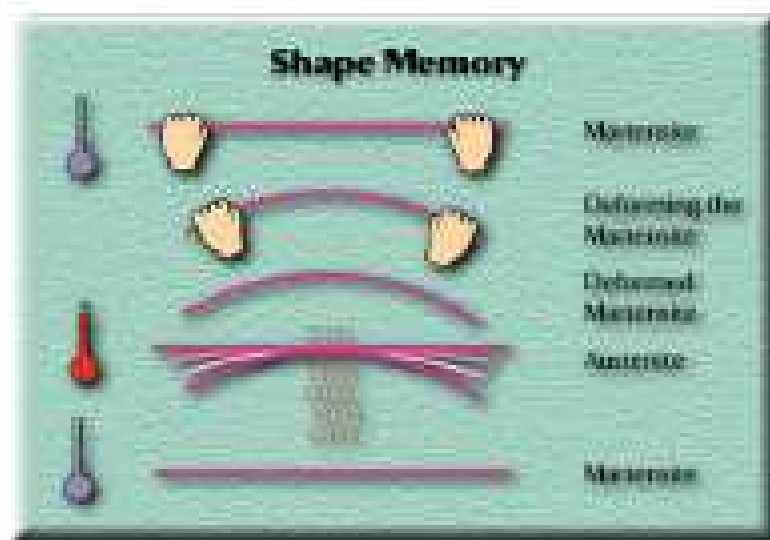
به طور خلاصه موادی هستند که هر گاه در دمای پایین در فاز مارتنزیتی خود دچار تغییر فرم مکانیکی گردند ، با افزایش دما شکل اولیه خود را باز می یابند ، نیروی که عامل این تغییرات است همان ساختار کریستالی و تبدیل مارتنزیتی می باشد. این مواد دارای محدوده دمای مشخص هستند که عبور از آن ها می تواند حافظه این مواد را از بین ببرد . از طرفی هنگامی که این مواد به عنوان محرک به کار می روند در دمای مشخص می توانند فعال شوند و این خود مسئله مهمی برای طراحی می باشد . یا به عبارتی در پدیده حافظه داری، نمونه در حالت کاملاً مارتنزیتی به مقدار معینی تغییر فرم داده می شود سپس با گرم کردن نمونه و برگشت آن به حالت آستنیتی، شکل نمونه نیز به حالت اول خود بر گردد .



شکل (۱) سیکل حرارتی مکانیکی توصیف کننده پدیده حافظه داری شکلی

شکل (۱) چگونگی پدیده حافظه داری شکل را با تبدیل دو فاز آستنیت و مارتنزیت به یکدیگر نشان می دهد.

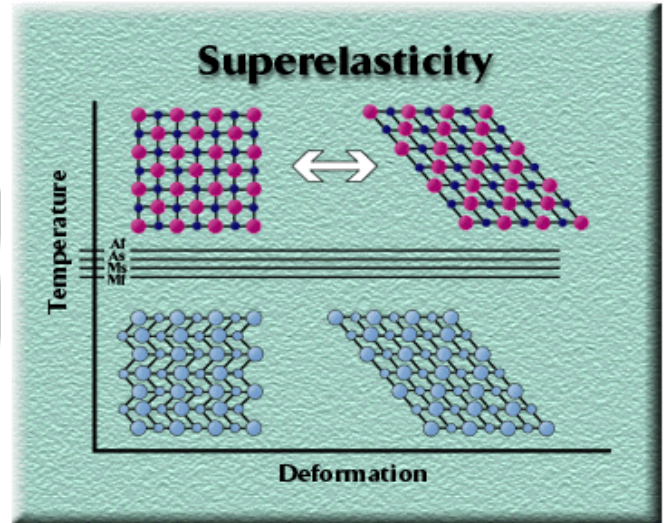
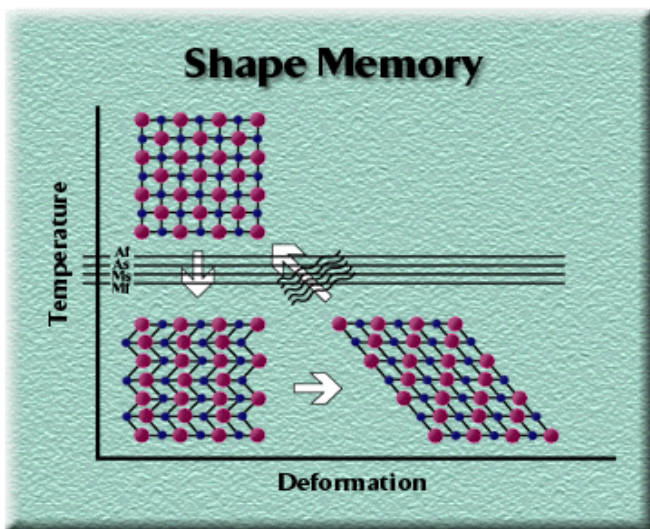
بررسی بر روی تغییر حالت متالورژیکی نمونه جامد ، تغییر آرایش اتم ها بدون هیچگونه تغییری در ترکیب شیمیایی فاز زمینه را نشان می دهد. این تغییر آرایش منجر به ایجاد ساختار کریستالی فاز جدید و پایدار می شود. پیشرفت تغییر حالت بدون نیاز به حرکت و جابجایی اتمها به صورت مجزا ، را می توان مستقل از زمان دانست و به همین دلیل می توان وابستگی دما را به عنوان تنها عامل پیشرفت این تغییر نشان داد.



(شکل-۲) شماتیک تغییر فرم آلیاژ حافظه دار
 A_f : دمای پایانی آستنیت A_s : دمای شروع آستنیت
 M_f : دمای پایانی مارتنزیت M_s : دمای شروع مارتنزیت

۴- سوپر الاستیسیته

سوپر الاستیسیته نایتینول مواد مهم استراتژیک دامنه وسیعی از روش ها و طراحی هاست خصوصیت کلیدی مواد سوپر الاستیک برای طراحان و کاربران حالت میانه بین پلیمرها و فلزات مرسوم است. استحکام فلزات و انعطاف پذیری پلاستیک یا «فوق فنر» که از نظر کیفی سوپر الاستیسیته نایتینول قابل توجه است. خصوصیات خیلی خوب این آلیاژ خواص مکانیکی و الکتریکی، عمر خستگی طولانی و همچنین مهمترین و مناسب ترین خصوصیات سوپر الاستیک نایتینول به شرح زیر است.



(شکل - ۳) شماتیک تغییر فرم حرارتی سوپر الاستیسیته در آلیاژ حافظه دار

A_f : دمای پایانی آستنیت A_s : دمای شروع آستنیت

M_f : دمای پایانی مارتنزیت M_s : دمای شروع مارتنزیت

۵- مزایا مربوط با رفتار سوپر الاستیک آلیاژ حافظه دار نایتینول :

- تغییر شکل قابل بازیابی زیاد
- خود را گرفتن دائمی پایین یا تغییر شکل باقیمانده
- تنش و استحکام کشش نهایی زیاد ورقه های فلزی
- دمای بدنه با دامنه دمای سوپر الاستیک ($Ni-Ti$ ۵۰-۸۰)
- توانایی ذخیره انرژی پتانسیل بالا
- مقاومت به خوردگی شبیه به فولادهای ضد زنگ، و آلیاژهای تیتانیوم
- زیست سازگاری

سوپر الاستیسیته اجازه می دهد تا تغییر فرم های الاستیک بسیار زیاد ، وابسته به تغییرات کم تنش به وقوع بپیوندد . عامل مکانیزم بیش از ۵٪ کرنش بازیابی و psi ۵۰۰۰۰ تنش بازگردانی با چرخه های بالا را توانایی داد . برای مثال سیم های نایتینول به ابعاد in ۰/۲۰ عمری برابر ۱۶ پوند می توانند داشته باشند . از آنجا که عامل حافظه شکل و سوپر الاستیسیته بر اساس عدم نفوذ و بدون تغییر فاز می باشد لذا « تغییر حالت مارتنزیتی » نامیده می شود . اثر مکانیکی حافظه داری (سوپر الاستیکی) توسط تغییر شکل آستنیت در یک دامنه دمای معین متوقف می شود و یک استحاله تنش القایی فاز مارتنزیت را حاصل می کند آلیاژ نایتینول ماده ای هوشمند است زیرا با داشتن امکان تشخیص و قابلیت شکل بازگشت به شکل مشخص ، امکان اقدام

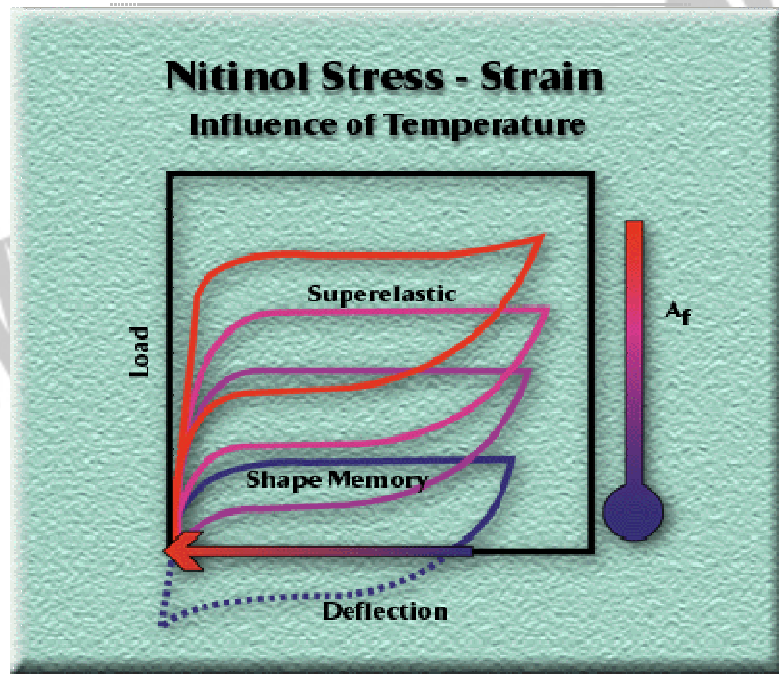
خودکار در شرایط ضروری را دارا می باشد. ساختار ماده در دمای پایین مارتنزیت و در دمای بالا آستنیتی است. نایتینول مارتنزیتی نرمی فوق العاده، تنش تسلیم پایین و شکل پذیری قابل توجهی دارد. با تبدیل ساختار آلیاژ آستنیت در اثر افزایش دما، شکل قبلی آلیاژ بازیابی می شود. برای استحاله آستنیت به مارتنزیت یا بلعکس درجه حرارت شروع و پایان استحاله باید تعیین شود. مقدار این دما با توجه به نوع کاربرد مهم می باشد. 500°C - 700°C جای است که ساختار کریستالی آستنیت تغییر می کند و تغییر ساختار به واسطه باندهای دوقلوی است که در فصل سوم بحث می شود.

تعدادی از مولفه ها بیانگر افزایش انعطاف پذیری برگشت پذیر به ۱۰٪ و تقریباً ۱۰ بار بیشتر از مقدار الاستیسیته فلزات رایج مواد فلزی است. مؤلفه سوپر الاستیک اینجا احتمالات جدید، را باز می کند از زمانی که آنها با مقاطع عرضی کوچک وجود داشته باشند شکست زیاد و شکل پایدار دارند. استفاده اقتصادی این اثرات به خصوص در مکان های تکنولوژیکی - پزشکی و تکنیک میکروسیستم کنترل و اندازه گیریهای خودکار الکترونیک و خودرو به علاوه به بالابردن توانایی های بدنه خوب است.

۶- معایب مربوط به رفتار سوپر الاستیک آلیاژ حافظه دار نایتینول:

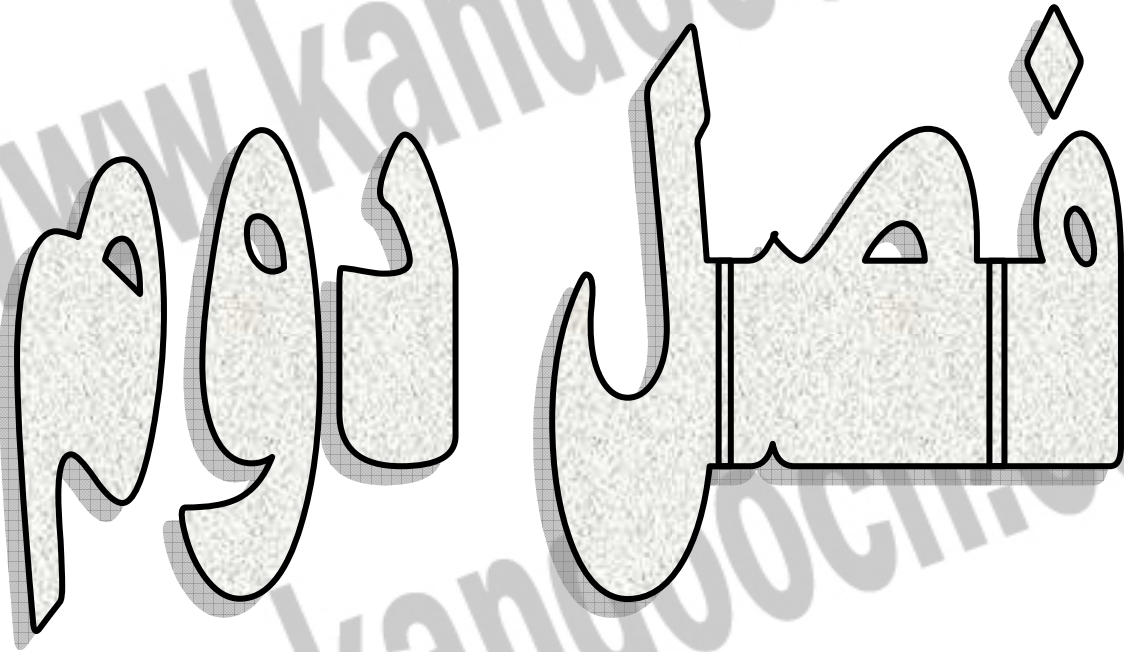
آلیاژ نایتینول علیرغم دارا بودن خواص مطلوبی مانند الاستیسیته بالا و تنش کششی نهایی بالا دارای محدودیت های از قبیل، کم بودن مقاومت خستگی و سایشی می باشد که برخی محققین با اضافه کردن یون های نیتروژن و بور سعی کرده اند

مقاومت به خستگی و سایشی آلیاژ نایتینول را اضافه کنند. همچنین مشکل شیب دمای وسیعی است که برای سوپر الاستیک و نایتینول مشاهده می شود. و سوپر الاستیسیته بسیار عالی نایتینول قابل توجه است اما فقط برای کرنش های بالای ۸٪ است. منحنی تنش کرنش فرایند بار گذاری نایتینول را نشان می دهد که کرنش بازیابی در دسترس است. و افزایش بار گذاری با دمای مشخص است. سوپر الاستیک آلیاژ های نایتینول در رنج حرارتی حدود ۵۰ درجه سانتیگراد بالا دمای آستنیت نهایی است. A_f به راحتی در دامنه (-۱۵) درجه سانتیگراد به (+۱۰۰) برای هم سوپر الاستیسیته وهم حافظه شکلی کاربرد دارد.



(شکل-۴) شماتیک بار گذاری منحنی تنش - کرنش موثر حرارتی

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید



۱- آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول :

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 پیشره (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 هموزن 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 هموزن 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.

۱- 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

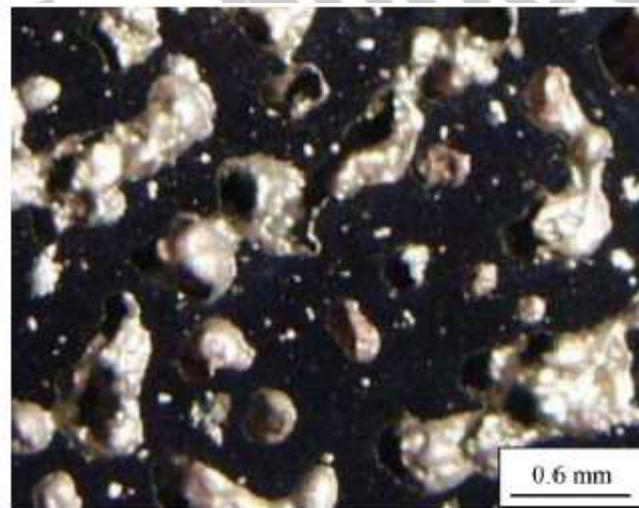
متعاقباً نمونه ها در لوله کوره به عنوان عملیات پیر (**Ageing**) بودند و به دنبال آن محیط کوئینچ آب یخ بود میکروسکوپ الکترونی (**SEM**) و طیف نمایی پراش پرتو ایکس (**EDX**) و یک پراش سنج می توان خصوصیات ریز ساختاری و ساختار کریستالی و ترکیبی را بدست آورد . دانسیته نمونه ها توسط اصل ارشمیدس اندازه گیری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

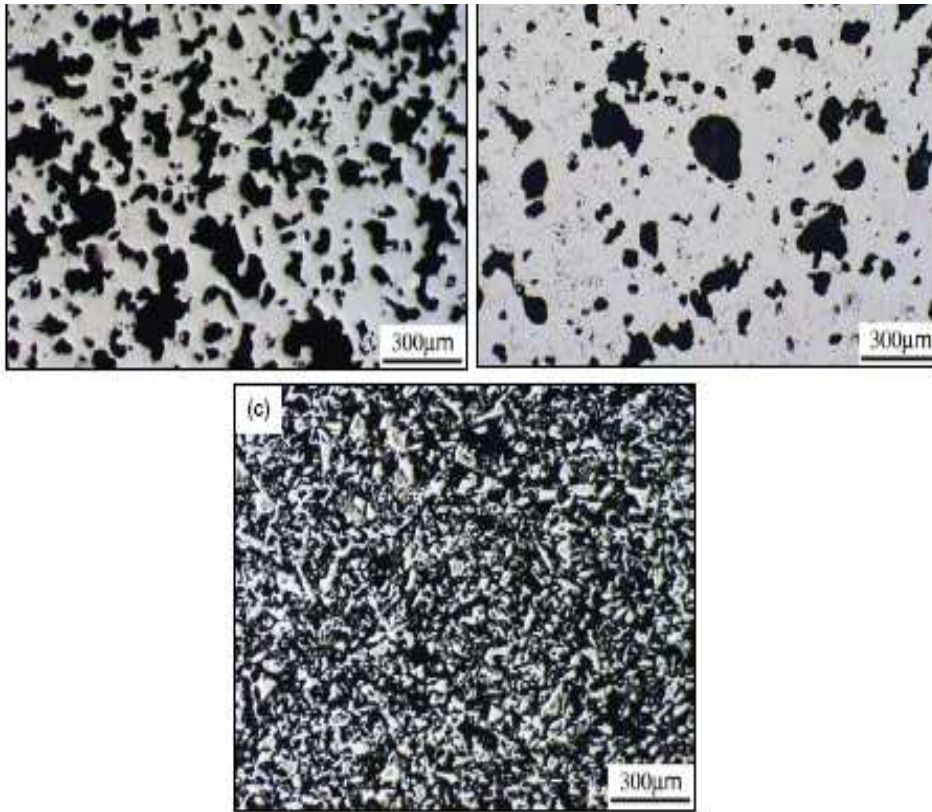
۳- بررسی ها

- 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 ۵) شماتیکی از مرفولوژی توزیع حفره ها



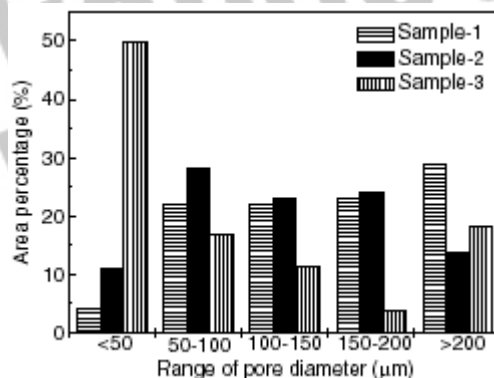
(شکل ۶) میکروگراف نوری (الف) نمونه ۱ *HIP* (ب) نمونه ۲ *HIP* (ج) نمونه ۳ *CS*

میکروگراف نوری نمونه تولید شده توسط کپسول آزاد *HIP* تحت پارامترهای مختلف و نمونه اصلی توسط فرآیند زینتر 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 زینتر 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.

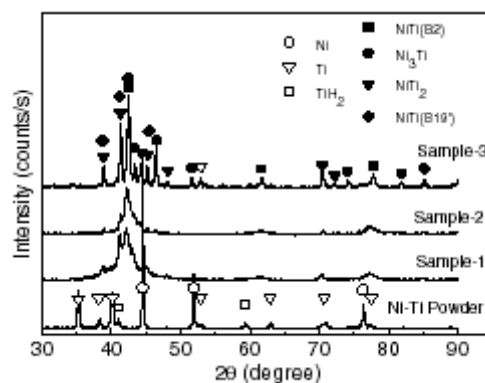
شکل (۷ و ۸) توزیع اندازه دانه بر آلیاژهای حافظه دار متخلخل نایتینول که تحت ۳ شرایط متفاوت تولید شده است را نشان میدهد.



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

نتایج مشخصی با استفاده از مقدار متوسط بدست آمده از پنج 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 $200 \mu m$ 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 فرایند 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 $\rho_0 = 6/54 \text{ gcm}^{-3}$

برای تیتانیوم با ۵/۸ درصد آلیاژ درصد نیکل و $6/19 \text{ gcm}^{-3}$ 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 آرد. 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 .

– ارزیابی ریز ساختار :

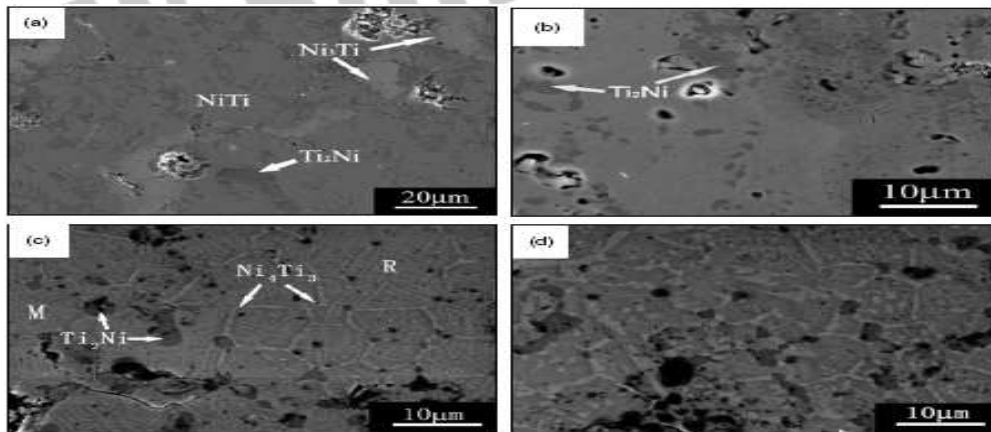
نمونه *XRD* مخلوط پودر نایتینول و سه نمونه دیگر در شکل (۸) نشان داده شده است .

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 (*B₁₉, B₁*) است. (توضیح در ساختار های 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 زینترینگ تأثیر روی فاز تشکیل شده ندارد . پس ارزشی ندارد که مقدار اضافی فاز نیکل غنی شده (*Ni₃Ti*) جزء باقیمانده *Ti* در نمونه ۳ آشکار شود . در نمونه ۳ دمای زینتر کردن پایین تر از $(1223 \text{ K})^\circ$ و نمونه (۱) و (۲) $(1323 \text{ K})^\circ$ است .

و واکنش زینترینگ در نمونه ۳ فعالیتش کمتر می شود در نمونه (۱) و (۲) دمای زینتر
(۱۳۲۳k)° 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 ۷۷۳K بمدت یک ساعت (د) نمونه ۲ در دمای ۷۷۳k 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 Ni و Ti 32% دلالت دارد و این سه فاز به ترتیب $Ti_2Ni, NiTi, Ni_3Ti$ فازهای ترکیب بین فلزی هستند برای مثال در نمونه دوم **HIP** که در شکل (۹- ب) می بینیم فقط فاز Ti_2Ni 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 تیتانیوم کمک می کند این باعث می شود که فازهای ثانویه شبیه به Ti_2Ni, Ni_3Ti کاهش می یابند . بنابراین فاز Ni_3Ti 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 ۰.۵۷٪ نیکل که می توان آن را به عنوان فاز Ni_4Ti_3 توسط آمیختن نتایج **EDX, XPD** تعریف شود . به علاوه صفحات B_{19} 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 دو فاز مارتنزیت B_{19} , R 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 .

– آنالیز $DS C$:

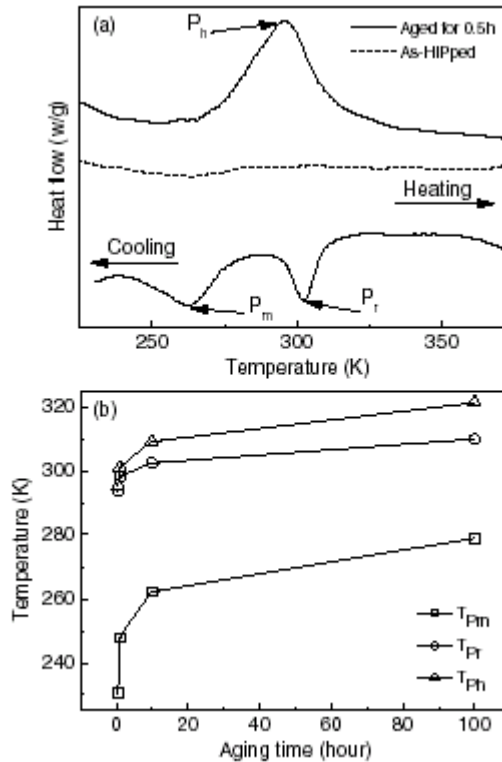
شکل منحنی (۱۰-الف) حرارت دادن و سرد شدن بواسطه آنالیز DSC در نمونه دوم بعد از HIP و زمان پیری به صورت ۰/۵ ساعت را نشان می دهد مشخص است که پیک گرمای برای نمونه HIP به آسانی قابل رویت نیست ، به این علت است که دمای M_s به عنوان نمونه HIP برای تشکیل مارتنزیت در شرایط آزمایشگاهی خیلی پایین است (کونچ در آب 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 گرمای در طول سرد شدن آشکار می شود . پیک 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 گرمایی 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 همهٔ 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 استحالهٔ

فاز 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

با این بررسی میتوان محتوی Ni در زمینهٔ فاز B_2 را پایین آورد که منجر به رسوب فاز

Ni_4Ti_3 و نتیجتاً دمای استحالهٔ فازی را بالا می آورد .

این مکانیزم استحالهٔ 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.

۴- تکامل خواص مکانیکی - آزمون فشار:

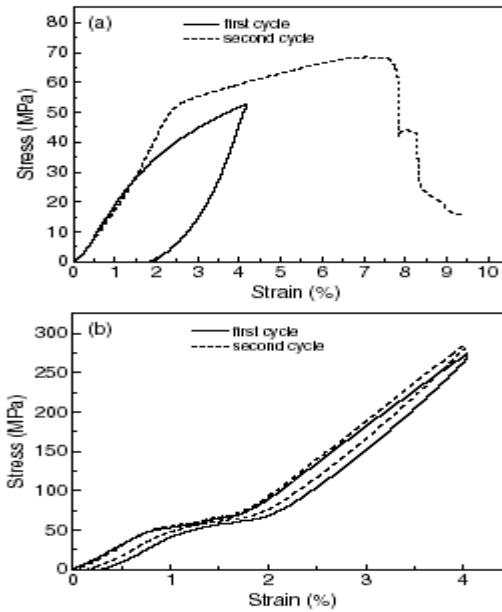
شکل (۱۱-الف) و (۱۱-ب) منحنی تنش کرنش آلیاژهای حافظه دار متخلخل

نایتینول از زمان پیری برای ۵ ساعت در $723K$ به ترتیب بعد از زینتر کردن فرآیند

HIP است. آزمایش در همان پیش تنش پایه (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.



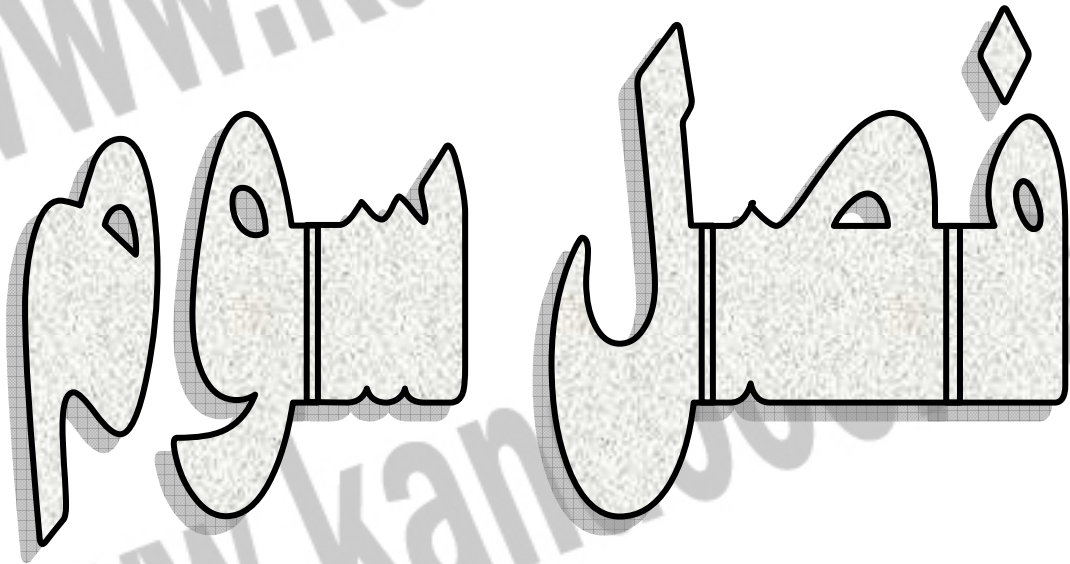
(شکل ۱۱) منحنی تنش کرنش آلیاژ حافظه دار متخلخل نایتینول (الف) نمونه CS

(ب) *HIP* (هر دو در دمای $773k$ برای $0/5$ ساعت و محیط کویچ 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 الاستیسیته 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 سوپرالاستیسیته 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 سوپرالاستیک 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 سوپرالاستیسیته، 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 زیتترینگ **HIP** اغلب برای کنترل خصوصیت حفره ها مانند شکل، اندازه و توزیع حفره ها به حالت بوته ایست .

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



۱- ساختارهای کریستالی

– کریستالوگرافی مارتنزیتی:

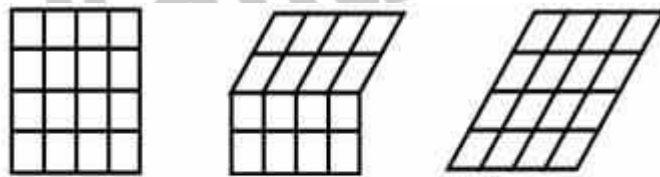
تغییر حالت تبدیل آستنیت به مارتنزیت از لحاظ کریستالوگرافی در سه مرحله قابل بررسی است.

۱- تغییر فرم شبکه ای

۲- برش ناهمگن

۳- دوران شبکه ای

فرآیند تبدیل آستنیت به مارتنزیت در مرحله تغییر فرم شبکه ای در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در این مرحله اتم ها با جابه جایی جزئی و هماهنگ، پیشروی فصل مشترک از هر لایه اتمی را موجب می شوند.



شکل (۱۲) (الف) فاز کاملاً آستنیتی، (ب) عبور فصل مشترک

از هر لایه اتمی، (ج) نمایش جابجایی جزئی اتمها.

باید توجه داشت پدیده حافظه داری بدون تغییر حجم و تغییر شکل امکان پذیر بوده و

برش ناهمگن توجیه کننده این مطالب می باشد. برش ناهمگن در مارتنزیت به دو

طریق امکان پذیر است :

(۱) مکانیزم لغزش یافتن صفحات اتمی

(۲) مکانیزم تشکیل دوقلویی ها



شکل ۱۳- الف) مکانیزم افزایش یافتن صفحات اتمی

ب) مکانیزم تشکیل دوقلویی

تصاویر نشان داده شده چگونگی انطباق فاز مارتنزیت بر فاز آستنیت را در هنگام جابجایی جزئی و گروهی اتمها با حفظ شبکه کریستالی نشان می دهد.

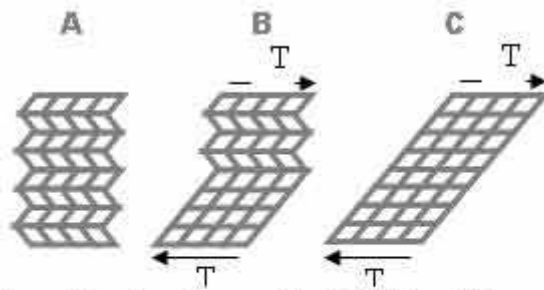
باید توجه داشت که لغزش صفحات اتمی به علت شکسته شدن باندهای اتمی بعنوان

مکانیزم تغییر فرم پلاستیک دائم محسوب می شود، در صورتی که در مکانیزم دو

قلویی به علت انرژی پایین مرز دوقلویی و برخورداری از تحرک و لغزندگی نسبی

تغییر فرم غیر دائم است. در آلیاژهای حافظه دار، کرنش های ناشی از تغییر حالت در

اثر تشکیل یک جفت از دوقلویی های دو طرف مرز ذخیره سازی می شوند و برای



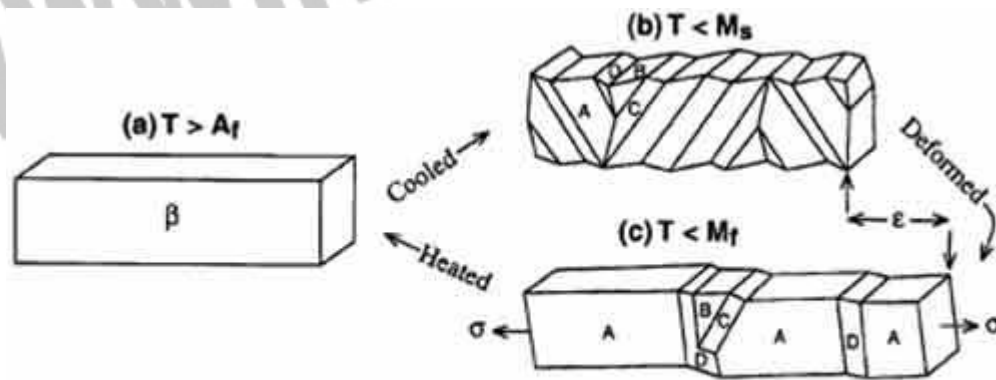
برگشت پذیری از آن استفاده می شود.

شکل ۱۴- A) تشکیل دوقلویی B) حرکت واریانت ها و

حذف واریانت های متقابل با اضافه شدن تلس C) حذف و

تبدیل واریانت ها به یک واریانت و تغییر شکل کامل

شکل ۱۴) مرز دوقلویی را نمایش می دهد و هر یک از دوقلویی های دو طرف مرز دوقلویی یک واریانت را شامل می شود. در صورت وارد کردن تنش برشی به مرز دو قلوئی باعث حرکت یکی از واریانت ها شده و واریانت دیگری حذف می شود. (شکل ۱۴، B) این روند می تواند تا تبدیل تمامی واریانت به یک واریانت واحد ادامه یابد (شکل ۱۴، C). بررسی پدیده حافظه داری در تک کریستال آستنیت در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱۵- (a) تک کریستال آستنیت (b) تشکیل واریانت های A, B, C, D در اثر سرد شدن نمونه زیردمای M_f (c) رشد واریانت A در اثر حذف واریانت های دیگر

مرحله اول همانطور که از شکل پیداست بعد از سرد کردن کریستال در زیر دمای M_f واریانت های A و B و C و D تشکیل می شوند مرحله دوم با وارد کردن تنش به کریستال، واریانتها شروع به حرکت و حذف شدن می کنند تا واریانت واحد A تشکیل گردد. حین تشکیل واریانت واحد A کرنش هایی در جهت واریانت A ذخیره می شود. مرحله سوم مربوط به حرارت دادن کریستال نمونه برای تبدیل مارتنزیت به آستنیت می باشد از آنجاییکه کرنش ها تنها در جهت واریانت A ذخیره شده اند، پس

تنها مسیر برای برگشت پذیری، واریانت A می باشد و نمونه به شکل اولیه خود باز

می گردد.

– ساختار B_{19} و فاز R

مارتنزیت B_{19} یک ساختار منوکلنیک متعلق به گروه $P2_1/m$ است پارامترهای شبکه (B,c,b,a)

برای یک آلیاژ $Ti-49/2Ni(atz)$ هستند و $a=0/2898, b=0/4108, c=0/4646mm, B=97/78$

رابطه ترکیبی با هم دارند. شبکه واخذ فاز B_{19} ، ۱۰٪ از حالت اولیه در راستای جهت

اولیه [۲۲۳] ازدیاد طول پیدا می کند و میزان بازیابی تغییر شکل در این راستا تعیین

می شود.

فاز R دارای ساختمان تریگونال بوده و با استفاده از شبکه هگزاگونال برای رفع نقص

تشریح شده است. پارامترهای شبکه $C_R=0/532nm, a_R=0/738nm$ است.

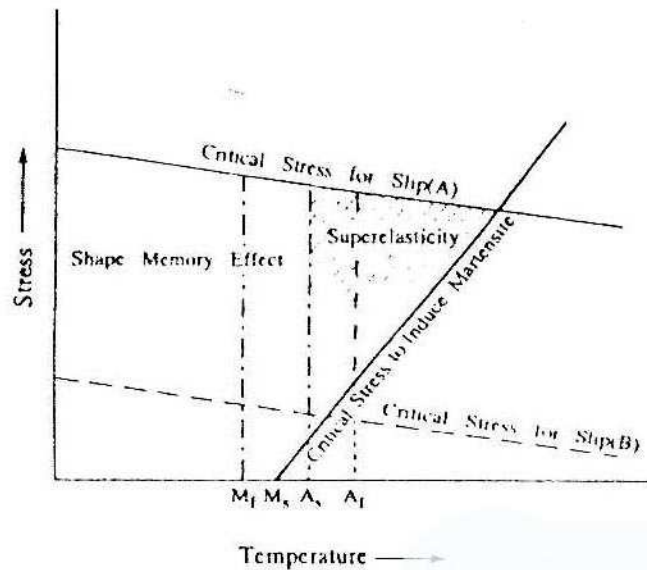
فاز R ۹۴٪ ازدیاد طول در امتداد جهت [۱۱۱] دارد که این کوچکتر از مارتنزیت

B_{19} است.

۲- رفتار مکانیکی آلیاژهای نایتینول

- منحنی تنش - کرنش

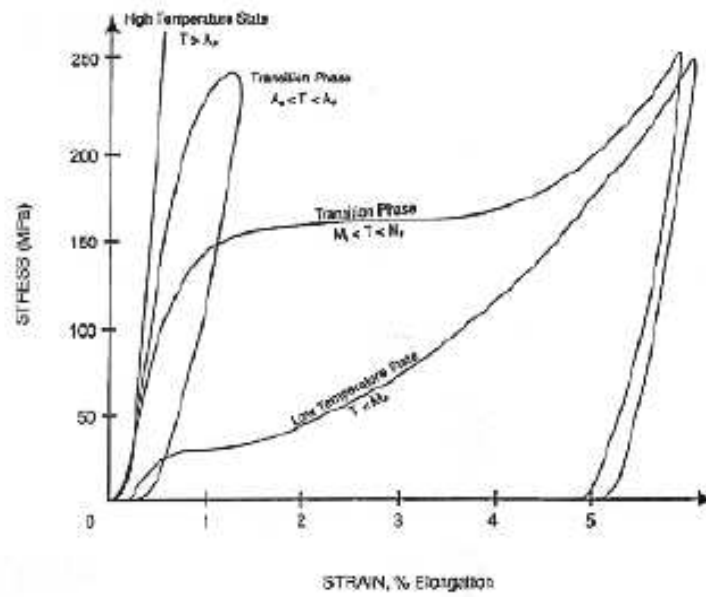
منحنی های تنش کرنش *Ti-Ni near-equiatomic* با انقطاع تسلیم و کرنش های لودرز (*Luders*) بزرگ به وسیله آزمایش در دمای بین $(-196^{\circ}C)$ و $77k$ و $(75^{\circ}C)$ $121k$ مشخص می شوند در یک دمای بالای $373k$ ($100^{\circ}C$) کرنش لودرز آشکار نمی شود و بیشتر از ۱۵٪ ازدیاد طول قبل از شکست جذب می شوند.



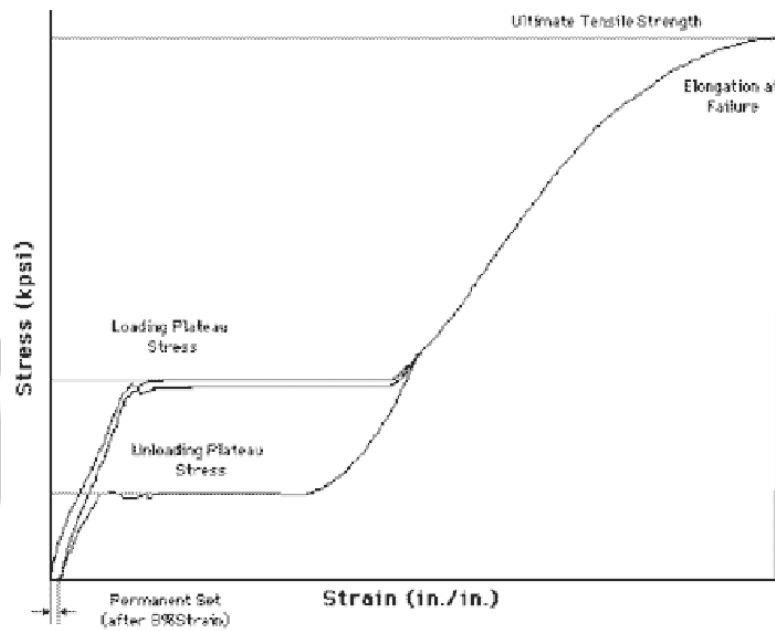
شکل ۱۶ شماتیک دیاگرام نشان دهنده محدوده اثر حافظ شکل و سوپرالاستیسیته در تطبیق دما -

تنش (A) تنش بحرانی برای مورد تنش بحرانی بالا و (B) تنش بحرانی برای مورد تنش بحرانی پایین

STRESS-STRAIN CHARACTERISTICS OF NITINOL at various temperatures



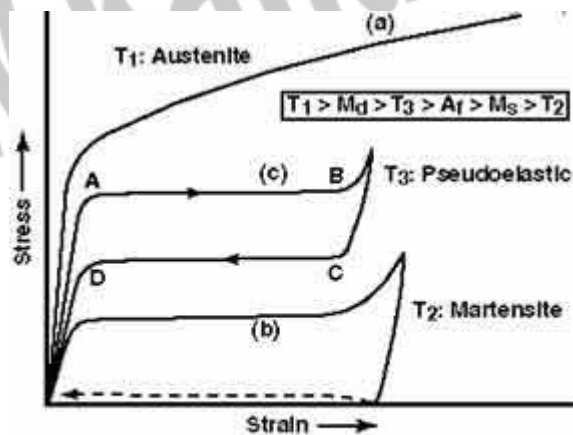
(شکل - ۱۷) خصوصیات منحنی تنش - کرنش نایتینول در دماها مختلف



(شکل - ۱۸) منحنی های تنش - کرنش

۳- رفتار ترمومکانیکی:

آلیاژ های حافظه دار در درجه حرارت های مختلف دارای خصوصیات مکانیکی بسیاری می باشند در شکل ۱۹ منحنی های ساده تنش - کرنش برای آلیاژ تیتانیوم- نیکل مشاهده می شود. آلیاژ در دماهای پایین ، متوسط و بالای دمای استحاله مورد آزمایش قرار گرفته است. تغییر شکل در مارتنزیت با چند درصد کرنش و تنش فشاری نسبتاً کم دیده می شود . در حالیکه آستنیت در درجه حرارت بالا نیاز به تنش نسبتاً زیادی برای تغییر شکل دارد. خط چین روی منحنی مارتنزیت نمایانگر برگشت پذیری آلیاژ بعد از برداشتن تنش وارد شده بعد از گرم کردن نمونه و تبدیل به فاز آستنیت می باشد ولی چنانچه که مشاهده می شود در منحنی مربوط به آستنیت با برداشتن تنش و گرم کردن نمونه امکان برگشت پذیری وجود ندارد.



شکل ۱۹- منحنی تنش- کرنش در دماهای متفاوت (a)
آستنیت (b) مارتنزیت، (c) رفتار الاستیکی کاذب

– خاصیت ارتجاعی کاذب:

خصوصیت جالب توجه درباره منحنی تنش - کرنش در قسمت منحنی C دیده می شود. به طوری که پس از حرارت دادن نمونه کمی بالاتر از درجه حرارت انتقال، در درجه حرارت بالای A_f به نمونه در فاز مارتنزیت تنش وارد می شود. با افزایش مقدار تنش، تغییر شکل نیز به صورت یکنواخت افزایش می یابد (منحنی AB). در این هنگام رفتار تغییر شکل و تنش پایداری مشاهده می شود با کاهش تنش (منحنی CD) مارتنزیت به آستینت تبدیل می شود باید توجه داشت که برگشت پذیری انجام شده به خاطر تغییر حرارت نمونه نمی باشد و دلیل آن کاهش فشار است. این پدیده را که موجب می شود آلیاژ خاصیت کشسانی نامحدود پیدا کند به عنوان خاصیت ارتجاعی کاذب نامیده می شود.

– اثر حافظه دار یک طرفه و دو طرفه:

الف) اثر حافظه دار یک طرفه :

در صورتیکه اثر حافظه داری فقط بعد از تغییر شکل در حالت مارتنزیتی و سپس در سیکل گرم کردن مشاهده شود به آن اثر حافظه یک طرفه گفته می شود. این بدان معنی است که در این حالت تغییر شکل ایجاد شده، فقط با گرم کردن به حالت اولیه قبل از تغییر شکل باز می گردد و چنانچه جسم را دوباره سرد کنیم تغییری در شکل آن حاصل نمی شود این خصوصیت در شکل شماره ۲۰ نمایش داده شده است.

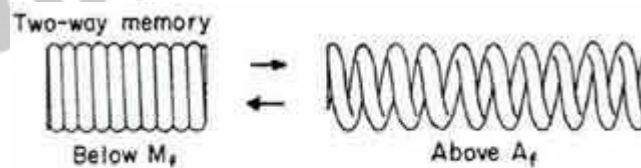


شکل ۲۰- اثر حافظه دار یک طرفه

همانطور که در تصویر مشاهده می شود ابتدا فنر در دمای M_f به مقدار معینی تغییر فرم داده می شود به صورتیکه تغییر فرم دائمی در آن باقی بماند حال اگر فنر تغییر فرم داده شده را تا دمای A_f حرارت دهیم مجدداً به شکل اولیه خود بر می گردد و در سیکل سرد شدن تا دمای M_f هیچگونه تغییر شکلی در فنر مشاهده نمی شود.

ب) اثر حافظه دار دو طرفه :

برگشت پذیری به حالت اولیه خود در اثر سرد و گرم کردن آلیاژ های حافظه دار دو طرفه در بازه معینی از دما امکان پذیر است . در شکل ۲۱ یک فنر با اثر حافظه دار دو طرفه به صورت باز شده در حالت آستینی و شکل جمع شده در حالت مارتنزیتی نشان داده شده است.



شکل ۲۱- اثر حافظه دار دو طرفه

همانطور که مشاهده می شود اگر فنر گرم شود باز شده و در سیکل سرد شدن مجدداً به شکل جمع شده در می آید.

باید توجه داشت که آلیاژ های حافظه دار برای اینکه اثر حافظه دار دو طرفه از خود

نشان دهند نیاز به انجام عملیات ترمومکانیکی خاصی بر روی آنها می باشد.

۴- اثر عملیات ترمودینامیکی :

- اثر حافظ شکل و شبه الاستیسیته :

محدوده تک فاز β و دمای بالا در دیاگرام فازي نایتینول خیلی باریک است (از

50 ~ 50% Ni) در زیر دمای ۹۲۲k (۶۵۰ °C) وقتی نیکل آلیاژ متجاوز از ۵۰/۵٪

باشد مستعد عملیات حرارتی در دمای میان ۷۷۳ k (۵۰۰ °C) ، ۵۷۳ k (۳۰۰ °C) ،

که نتیجه آن متراکم Ti_3Ni_4 است ظرفیت نیکل این آلیاژ میان ۵۰٪ تا ۵۰/۵٪ مستعد

برای عملیات حرارتی نیست چون عدم تراکم Ti_3Ni_4 در این آلیاژها داریم با وجود این

اثر عملیات ترمودینامیکی (آنیل در یک دمای زیر ۷۷۳ k و بعد انجام کار سرد) بر

خواص آنها خیلی زیاد است .

در آلیاژ $Ti-Ni$ near equiatomie (ظرفیت نیکل کمتر از ۵۰/۵ % Ni) وقتی آنیل

کامل داریم فقط به طور جزئی شبه الاستیسیته داریم .

۵- خصوصیات دندانهای سوپر الاستیک سیم های نایتینول

سیم های نیکل تیتانیم در آزمایش کشش جهت الاستیسیته پایدار ، ویژگی

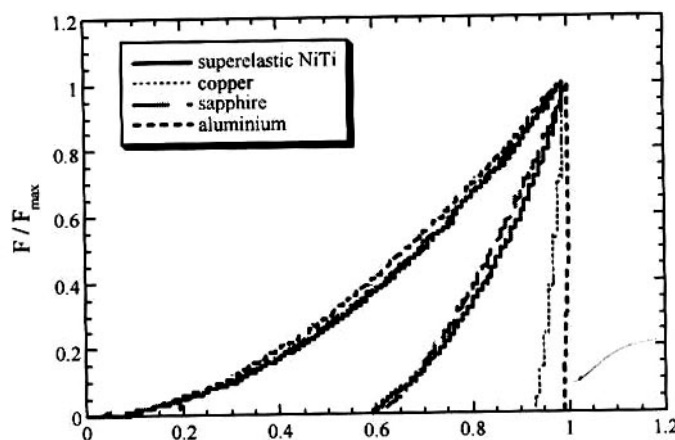
سوپر الاستیسیته و استحکام ارزیابی می شوند . این داده ها با پاسخ فلزاتی مشابه

(در اطاق حرارتی) توسط آزمایش کشش که از هر دو تجهیزات نانو دندانهای ای ، و

میکرو دنداننه ای (بر کوپچ *Berkovich* و شبه ساچمه ای) استفاده شد . خصوصیات دنداننه ای ، نشانگر رفتار سوپر الاستیسته را مشخص می کند . به ویژه مشاهدات نشان می دهد که با بالابردن کرنش بازیابی دنداننه ای زمانی که بالای دمای A_r انجام می شود در مقایسه با دمای پایین آزمایش ، رفتار سوپر الاستیسته ثبت شد .

۶- مطالعات اولیه اتصالات پیوندهای مسی بین سیم های نایتینول

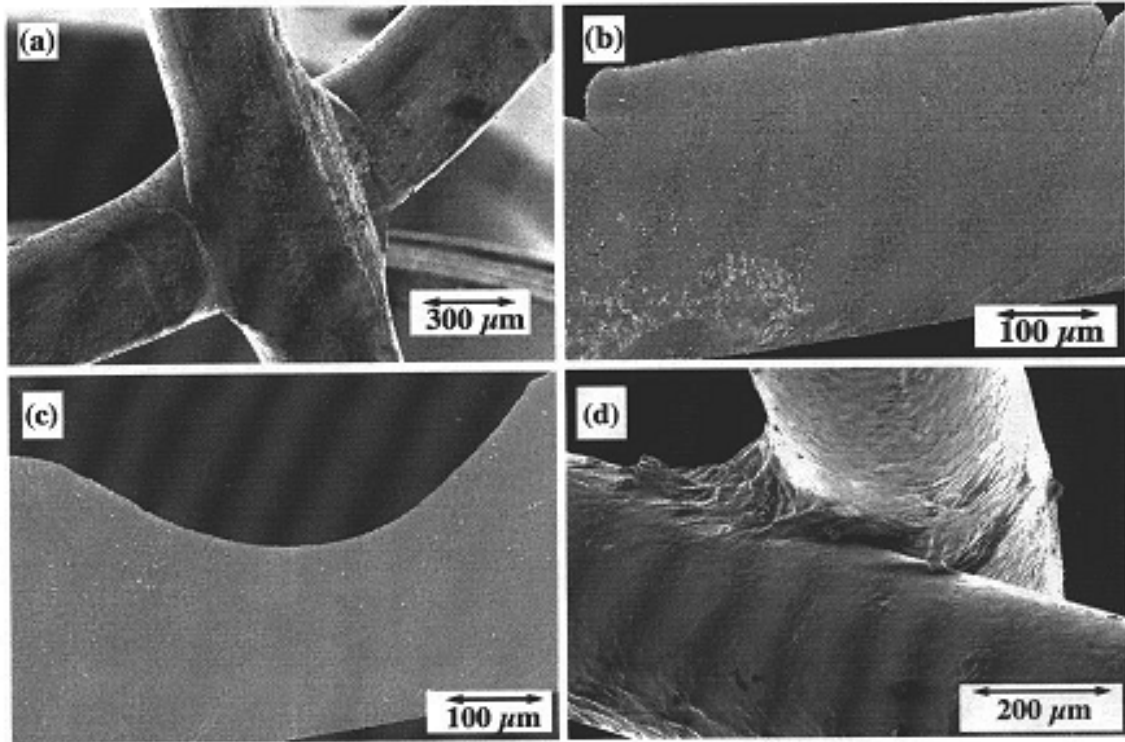
سیم ها اغلب توسط ذوب سطحی فاز مذاب بعد از عملیات آبکاری مس و توسط پیوندهای نفوذی حالت جامد متصل میشوند. مطالعات ریز ساختاری این اتصالات یکسری فازها را نشان داد که در مطالعات مکانیکی اولیه امکان تولید کردن مواد سوپر الاستیک متخلخل با قدرت بالا در این روش بود . با توجه به اینکه مواد نایتینول اغلب موادی سخت هستند بنابراین با توجه به نمودار پاسخی مانند یاقوت کبود صرف نظر از رفتار سوپر الاستیک را ارائه می دهند همچنین شکل (۲۲) بار نرمال جایگزینی برای چند ماده به طور مقایسه ای نشان داده شده است .



شکل (۲۲) بار نرمال جایگزینی برای چند ماده به طور مقایسه ای نشان داده شده است .

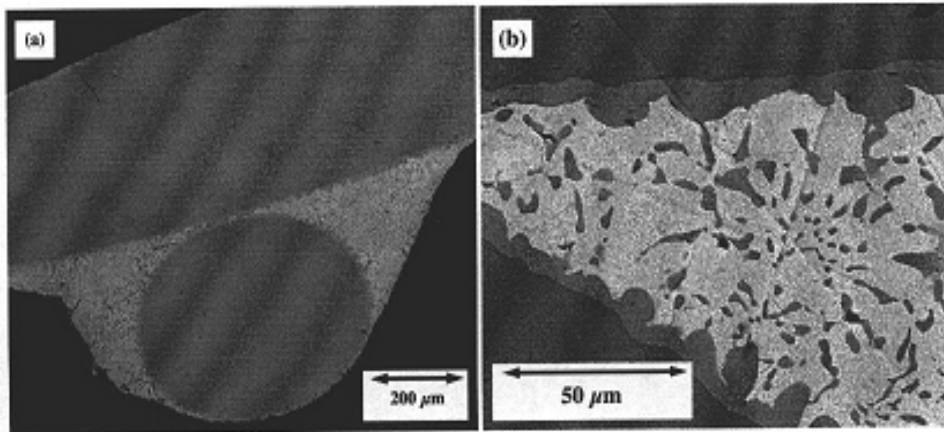
– ریزساختار

نفوذ مرزی حالت جامد با استفاده از چسبندگی در شکل (۲۳-الف) مشاهده می شود
بنابراین تغییر شکل سخت سیم ها به همراهی مقطع آن ها مرزهای فقیر را ظاهر
می سازد. شکل (۲۳-ب و ۲۳-ج) لحیم کاری سخت صفحات سیم های نایتینول
در کوره کاربولیت تولید اتصالاتی با ظاهری قوی می کند (شکل ۲۳-د) استفاده از
کوره تشعشعی به دنبال آن آرایش خیلی پیچیده ای را در تولید سیم ها و تشکیل گلوبی
بین سیم ها را حاصل می کند که قویترین اتصالات با ضخامت $6\mu m$ و عملیات
حرارتی $600^{\circ}C$ تا $1100^{\circ}C$ که مونتاز کردن این اتصالات بسیار قوی تر از اتصالات
معمولی است تولید می شود. آنالیز ریز ساختاری مقاطع تشکیل مس غنی در این
ناحیه گلوبی را تصدیق می کند



شکل - ۲۳) شکل میکرو گراف SEM از اتصالات (الف) اتصالات باندهای نفوذی بین دو سیم (ب) مقطع عرضی سیم ها و باندها (ج) مقطع طولی باندهای نفوذی اتصال (د) اتصال لحیم که تشکیل گلوبی را نشان می دهد.

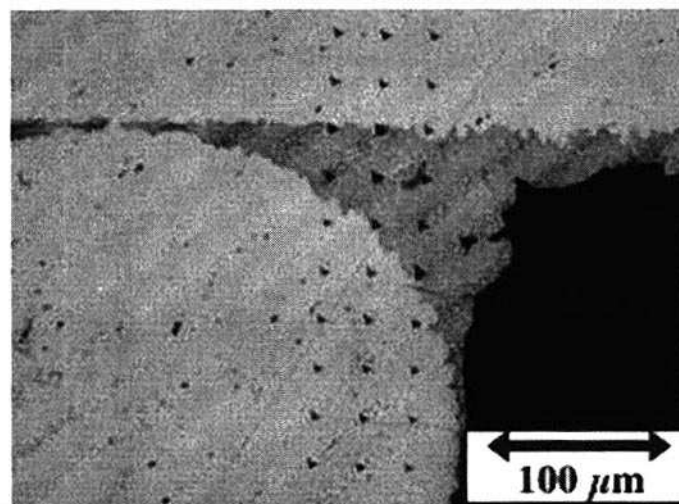
شکل (۲۴) ساختار این مناطق دلالت بر انجماد سلولی از سطح سیم به داخل ذوب مس را دارد که در این مناطق گلوبی مخلوطی از فاز Δ در نواحی مخلوط فاز مس غنی شده را نشان می دهد.



(شکل ۲۴) جزئیات اتصال لحیم *CU* بین دو سیم نایتینول

و آزمایش مطالعات اولیه خواص مکانیکی موضعی اتصالات را در شکل (۲۵)

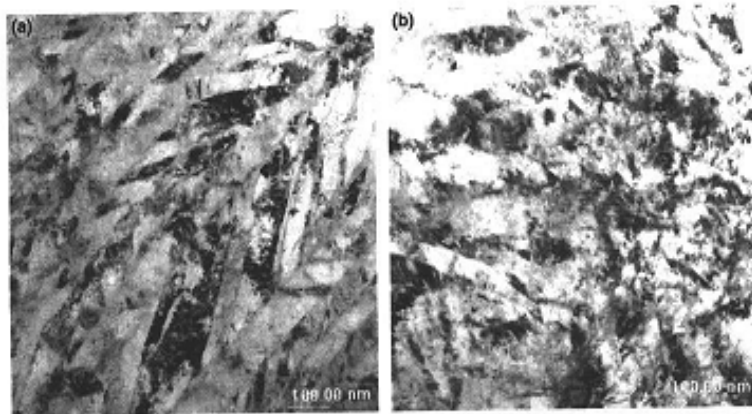
مشاهده می کنیم .



(شکل - ۲۵) یکسری اثر گذاری در مقطع برنج اتصالات بین سیم نایتینول

۷- نرخ کرنش وابسته به مکانیزم تغییر شکل در آلیاژهای حافظه دار $Ni-Ti-Cr$

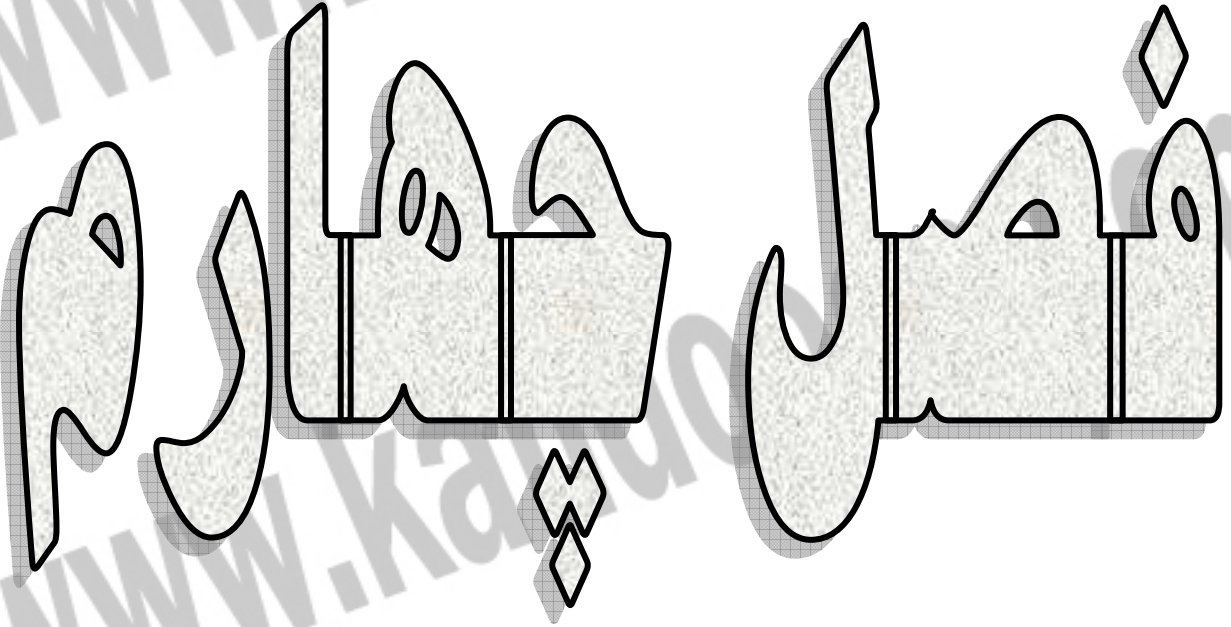
واکنش تراکمی آلیاژهای حافظه دار $Ni-Ti-Cr$ در دماهای مختلف بیش از یک رنج حرارتی نرخ کرنش را چنین بررسی می کند که آلیاژ سوپراالاستیک بیش از یک رنج حرارتی اولیه نرخ کرنش برای کرنش های کمتر از حدود ۰.۵٪ است و تنش های انتقالی برای تنش های القایی تشکیل مارتنزیت (تنش تسلیم نتیجه مارتنزیت و تنش تسلیم) و آستنیت مادر نرخ کرنش حساسی را نشان می دهد. و تنش های القایی کمتر از تنش تسلیم؛ آستنیت مادر با یک پهنای نرخ کرنش که نهایتاً القایی کمتر از تنش تسلیم، آستنیت مادر با یک پهنای نرخ کشش که نهایتاً این تنش تسلیم فراتر از یک نرخ کرنش بحرانی است شروع می شود که بوسیله تنش های القایی تشکیل مارتنزیت ادامه می یابد. نتیجه آن که نرخ کرنش تأثیر مهمی بر سوپر الاستیسیته و رفتار تسلیم آلیاژهای حافظه دار و رنج حرارتی سوپراالاستیک دارد از این خاصیت سوپراالاستیسیته برای جذب انرژی (برای مثال ساختار محافظت زلزله) استفاده می شود (شکل ۲۶)



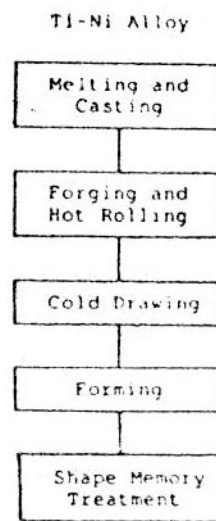
(شکل- ۲۶) میکرو گراف TEM از آلیاژ $Cr - Ti - Ni$ که در محدوده کرنش سوپر الاستیک در

محدوده دماهای $296K$ و نرخ کرنش (الف) $3600/S$ (ب) $8100/S$

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



۱- ساخت آلیاژهای بر پایه نایتینول

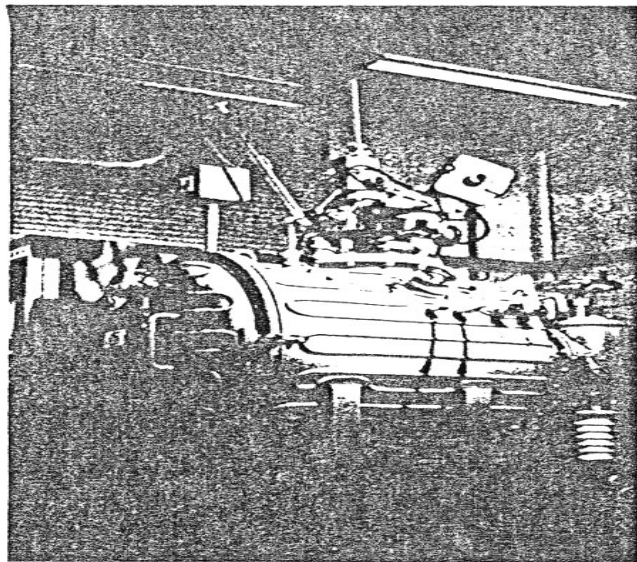


(شکل - ۲۷) مراحل ساخت آلیاژ حافظه دار نایتینول

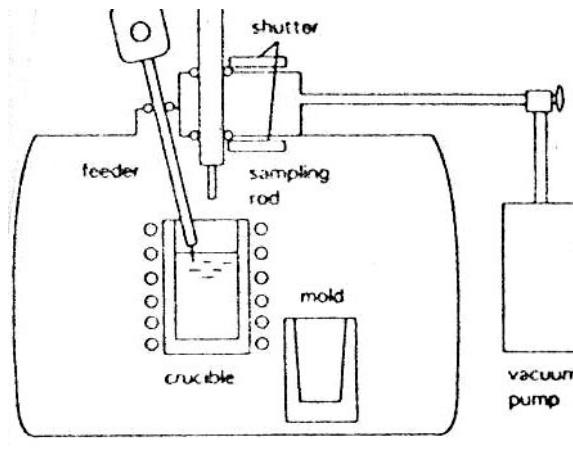
- فرآیند ذوب و ریخته گری

از آنجایی که ذوب تیتانیم با اکسیژن خیلی واکنش دار است آلیاژهای نایتینول درخلاء، یا در یک اتمسفر گاز خنثی ذوب می شود روش ذوب القایی به طور عمومی استفاده دارد. میله الکترون، آرک ارگون ذوب و آرک پلاسمای ذوب در آن به کار می رود. فایده ابتدایی ذوب القای هموزن بودن ترکیب شیمیایی در داخل شمش است از آنجایی که جریان متناوب القایی یک اثر مخلوط کننده روی آلیاژ مذاب دارد مواد بوته گرافیتی یا کلسیا (CaO) آلومینا یا منیزیم مفید نیستند. چون دارای اکسیژن بوده و بوته به مواد آلیاژی آلوده می شود در مورد بوته گرافیکی آلوده شدن به اکسیژن

ناچیز است اما با کربن ممکن می باشد ظرفیت کربن در ذوب آلیاژهای نایتینول به مقدار زیادی به دمای ذوب وابسته است اگر دمای ذوب از $k 1723$ تجاوز کند استفاده از بوته گرافیتی غیر عملی است. خوشبختانه نقطه ذوب آلیاژ نایتینول $k 1510$ بوده پس ذوب می تواند در دمای نسبتاً پایین صورت گیرد. ظرفیت کربن در شمش تحت یک موقعیت عمل مناسب میان $ppm 200-500$ آماده می شود، همچنین مقدار کم کربن اثری بر خاصیت حافظ شکل آلیاژ ندارد. فایده دیگر ذوب القایی کنترل ترکیب شیمیایی است اگر جریان کار با دقت صورت گیرد دمای M_s می تواند با $\pm 5k$ کنترل شود. با انجام دقیق کنترل، یک ترکیب مناسب در کوره بهتر و بیشتر کنترل می شود (شکل ۲۸ و ۲۹) کوره و یک شماتیک دیاگرام سیستم کار رانشان می دهد.



(شکل ۲۸) یک کوره کنترل ترکیب برای آلیاژهای حافظه دار نایتینول



(شکل ۲۹) سیستم کاری کوره کنترل ترکیب

نقطه A_f نمونه آلیاژ ذوب شده در خلاء به سرعت اندازه گیری شده و سپس یک عنصر آلیاژی برای میزان کردن نقطه A_f اضافه می شود میله الکترون مورد استفاده میله الکترون ولتاژ بالا بوده و همچنین به عنوان یک منبع حرارت می باشد فلزات خام به وسیله پرتوافکنی میله الکترون ذوب می شود، قطره قطره به پایین می افتند و در یک قالب مسی جمع شده و توسط آب سرد می شوند. آلیاژ کناره های قالب منجمد شده به سمت میان و پایین قالب کشیده می شود. کمترین میزان ناخالصی را در این روش داریم زیرا اثر خالص سازی خلاء زیاد بوده و دمای حرارت بالاست در مغایرت با آن در شمش ترکیب هموزنی ناکافی است زیرا آلیاژ بدون جهت از (ته) منجمد می شود. (انجماد جهت دار نیست) بخار فلزات نیز به دلیل دمای حرارت بالا برای کنترل ترکیب شیمیایی پیچیده و بغرنج می شود لذا با وجود این کمبودها این روش برای سیستم $Ti-Ni;SMA$ کنترل دقیق دمای دگرگونی را لازم ندارد. ذوب آرک آرگون با

توجه به سیستم حرارت دو نوع دسته بندی می شود. نوع اول از میله الکتروود غیر مصرف شدنی و نوع دوم مصرف شدنی که همچنین با ترکیب ذوب است استفاده می شود روش اول ترجیحاً در آزمایشگاه استفاده می شود چون چند نوع آلیاژ در آنجا به کار می رود ، در این روش فلزات خام با یک حالت مسی میله ای تبدیل می شوند و پرتوافکنی به وسیله آرک آرگون از یک میله الکترون از جنس تنگستنی صورت می گیرد موقعی که آلیاژ ذوب می شود و به طرف پایین می آید شکلی شبیه دکمه به دلیل کشش سطح ایجاد می شود شکل دکمه مانند شمش منجمد شده به بالا بر می گردد و دوباره ذوب می شود و این عمل برای بهبود و پیشرفت ترکیب هموزن تکرار می شود

در روش دوم یک کوره میله ای (لوله مانند) یک الکتروود مصرف شدنی شامل موادخام است که در اینجا الکتروود دو نقش دارد: منشأ حرارت و منشأ مواد است. حرارت الکتروود به وسیله آرک آرگون بوده و ذوب آلیاژ قطره ای و به طرف پایین در داخل قالب می باشد و یک شمش استوانه ای شکل می گیرد .

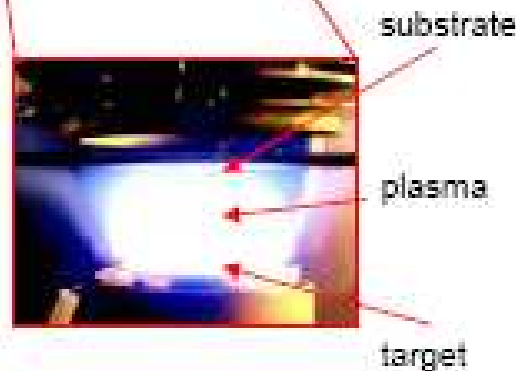
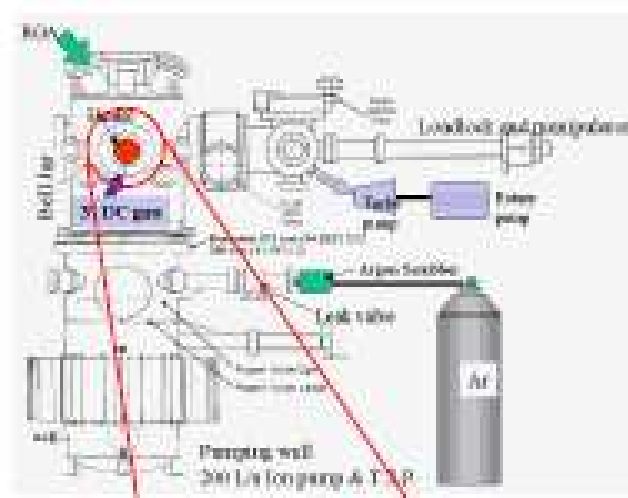
تولیدات روش دوم بیشتر از روش اول است . در روش پلاسما سرعت پایین دشارژ در میله الکترون به واسطه میله کاتد پلاسما ، خالی (*hollow*) است که درمقایسه با پرتوافکنی شدید ، میله الکترون با ولتاژ در یک آرک آرگون ، پرتوافکنی الکترون

کاتد پلاسما ملایم تر است و این به علت از دست دادن عناصر آلیاژی است. پخش

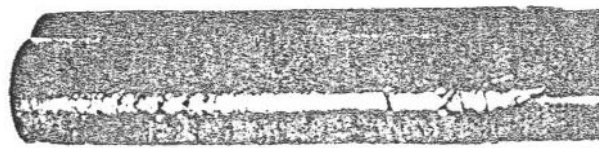
ترکیب در شمش علیرغم استفاده از قالب تبریدی با آب، یکسان و یکنواخت است.

شکل (۳۰) عملکرد سیستم ذوب پلاسما را نشان می دهد و شکل (۳۱) یک شمش

استوانه ای شکل تهیه شده وبه وسیله روش ذوب پلاسما را نشان می دهد.



(شکل - ۳۰) عملکرد سیستم ذوب پلاسما



(شکل - ۳۱) شمش سیلندری از یک آلیاژ نایتینول که به وسیله روش ذوب پلاسما ساخته شده است

– متالورژی پودر و دیگر تکنیکهای آلیاژهای نایتینول

دو نوع تکنیک متالورژی پودر برای آلیاژهای نایتینول وجود دارد :

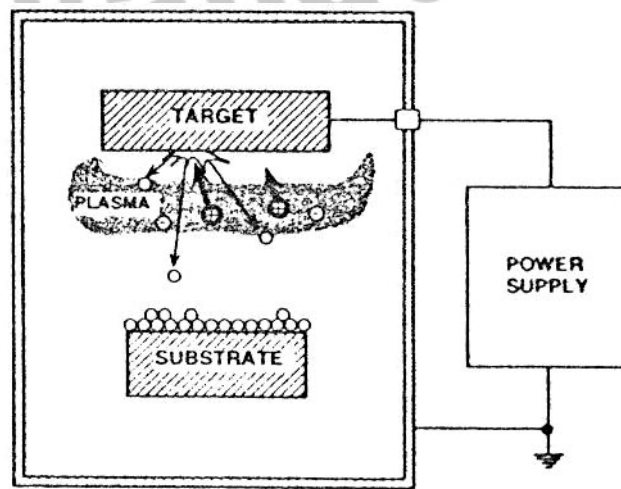
پودر فلزات خام و مواد آلیاژی زیتر می شود در روش قبلی پودرهای فلزی خالص مخلوط هستند همچنین. پرس و زیتر در ترکیب ناهمگن آلیاژ غیر قابل اجتناب هستند روش بعدی از یک پودر *pre-Alloyed* و هموژنیزه ناشی از آلیاژ زیتر شده استفاده می شود. پیشرفته تر است در روتین الکتروود چرخشی یک مقدار بالا پودر آلیاژ برای زیترینگ تهیه می شود قطرات کوچک آلیاژ مذاب سانتریفوژ و اتمیزه می شود و فرآیند پرس ایزواستاتیک گرم (*HIP*) انجام می شود آلیاژی که این فرآیند را گذرانده با آلیاژی که در خلاء ذوب شده قابل مقایسه نیست .

از آنجایی که متالورژی پودر مستلزم فرآیند ذوب که موجب ایجاد یک ترکیب غیر دقیق و غلط است می تواند با کنترل دقیق دمای دگرگونی به کار رود . کوپلی از پودر آلیاژ که دارای اختلاف دماهای دگرگونی هستند مخلوط می شوند که نسبت مخلوط شدن برای فراهم شدن دمای دگرگونی مورد نظر است. بعد از زیتر کردن آلیاژ دمای دگرگونی محاسبه می شود ترکیب احتراق یک تکنیک جدید بوده که حرارت ناشی از ایجاد ترکیب برای ترکیب نمودن آلیاژ استفاده می شود پودرهای نیکل و تیتانیم در یک بوته مخلوط و پرس می شوند و بعد از احتراق به علت خود واکنشی بودن، حرارت میان پودر آلیاژ زیاد می شود. آلیاژ هاب ترکیب شده هموژن بوده اما خلل و فرج دار

می باشند . بنابر این آلیاژ با استفاده از تکنیک **HIP** فشرده می شود آلیاژ تولید شده با یک شکلی پیچیده به وسیله تکنیکهای ریخته گری دقیق ساخته می شود روش ریخته گری تحت فشار برای ریخته گری ترکیبات دندانسازی همچون پوشش دندان و (**clasp**) به کار می رود یک قابل توسط تکنیکهای قراردادی تهیه می شود یک بلوک **block** کوچک **Ti-Ni** در قالب می نشیند و به وسیله آرک آرگون حرارت داده می شود هنگامی که آلیاژ ذوب می شود به طرف پایین می آید آلیاژ مذاب در قالب با فشار گاز آرگون فشرده می شود بعد از انجماد آلیاژ قالب شکسته شده و آلیاژ ریخته گری شده بیرون می آید و سپس در دمای 1023 k لمیات حرارتی می شود قابلیت بازیابی آلیاژ ریخته گری شده تقریباً نیمی از آلیاژ کار سرد شده است روش گوینج (سریع سرد کردن) بدین صورت است که ،آلیاژ ذوب شده از یک دماغه بیرون می آید و در یک استوانه در حال چرخش ریخته می شود که به طور اساسی با تغلیظ فلزات آمورف بهبود می یابد یک نوار نازک **Ti-Ni** می تواند با استفاده از این تکنیک تغلیظ شود به ویژه یک آلیاژ یا یک ترکیب جدید که در قالب تعادل شناخته شده نیست می تواند تغلیظ شود .

در آلیاژهای **Ti-Ni-Cu** که ظرفیت مس از ۱۰٪ متجاوز می شود یک خواص بی نظیر که در فرآیندهای قراردادی وجود ندارد نشان می دهد فیلم **Ti-Ni** نازکتر از $10\ \mu\text{m}$ توسط انحلال فاز بخار تغلیظ می شود.

روش اتم پاشی (*sputtering*) عملی ترین روش است روش تبخیر (*Ion-Plating*)
مناسب آلیاژهای نایتینول نبوده زیرا قابلیت کنترل ترکیب شیمیایی ندارد قسمت عمده
رشد فیلم به وسیله روش اتم پاشی در شکل (۳۲) شرح داده شده است یک الکترو
هدف (*Target*) شامل آلیاژ نایتینول بوده و زیر لایه (*Substrate*) دارای موقعیتی بر
خلاف هدف می باشد.



(شکل - ۳۲) شماتیک دیاگرام فرایند رشد فلز پوشی فیلم

در مورد فیلمهای نایتینول شیشه یا نمک کوهی همانند یک زیر لایه استفاده می شود
گاز آرگون در میان آنها تهیه شده و یونیزه می شود یونهای آرگون به وسیله بمباران
میدان الکتریکی تارگت شتاب گرفته و اتمهای آلیاژ اسپوتر (اتم پاشی) می شود
اتمهای اسپوتر شده (اتم پاشی شده) روی موقعیت (*Substrate*) (که مخالف هدف
است) ذخیره می شود .

۲- کاربردها

۱- کاربردهای صنعتی

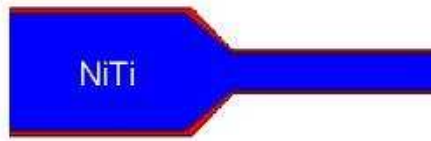
تولید لوله و سیم:

محصول حاضر نایتینول سیم ها و لوله های با ابعاد کوچک که معمولاً جایگزین از طریق فرآیند کشش است. تحقیقات انجام شده امکان فرآیند اکستروژن مقاطع عرض بزرگتر در مقایسه با پروسه کشش به کارخانه های میله و لوله ای مواد نیمه تمام شده نایتینول با ابعاد نسبتاً کوچک فراهم می کند بر این اساس استحاله بالای تنش نایتینول فرآیند غیر مستقیم اکستروژن را ترجیح می دهد. با این پروسه اصطکاک بین مخازن و شمشال از بین می رود بنابراین نیاز به نیروی پرس کمتر از نیروی پرس تنهایی با اکستروژن مستقیم است. بسیاری از کارخانه ها نیمه تمام لوله های نایتینول اساساً دو پروسه را انجام می دهند اکستروژن بدون ماهیچه شمشال کامپوزیت نایتینول اکستروژن فشاری برای لوله های با راه گاه طولی و پرس سرد شده و درونی تیغه ای

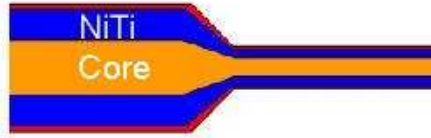
است

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

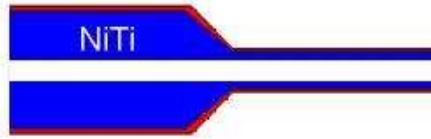
Bar



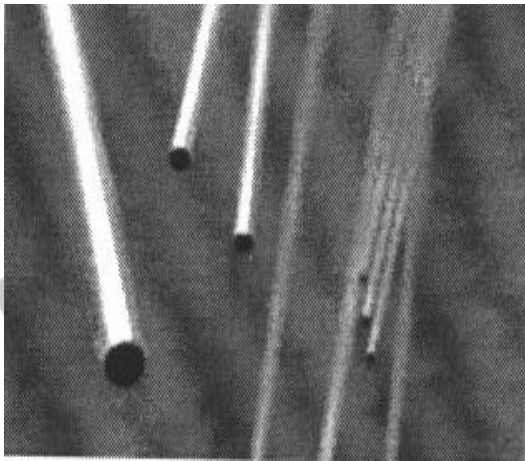
Composite



Tube



(شکل-۳۳) شماتیک مراحل تهیه لوله وسیم به روش اکستروژن



(شکل-۳۴) لوله های ساخته شده به روش اکستروژن

از دیگر کاربردهای مطرح شده ساخت کویلینگ توسط شرکت **Raychem** برای

اتصال لوله های هیدرولیکی می باشد . که در صنایع هوایی و نیروی دریایی ایلات

متحده و همچنین در حوزه های نفتی در یای شمال مورد استفاده قرار گرفت.

همچنین نایتینول خواص مقاومتی که قادر به کار انداختن الکتریسته توسط حرارت

ژول است می باشد زمانی که جریان الکتریک به صورت مستقیم در طول سیستم عبور

می کند آن می تواند جهت استحاله فازی حرارت کافی تولید کند . دمای استحاله

آلیاژهای حافظه دار در دمای اتاق است که پایینتر از نقطه استحاله مواد انتخاب

می شود بیشتر کاربرد آن برای سیم پیچ ها و موتورهای الکترومغناطیس بسیار مناسب

است .

اما در کاربرد جای که تحریک کننده است قابل استفاده نیست . محصول دیگر نایتینول

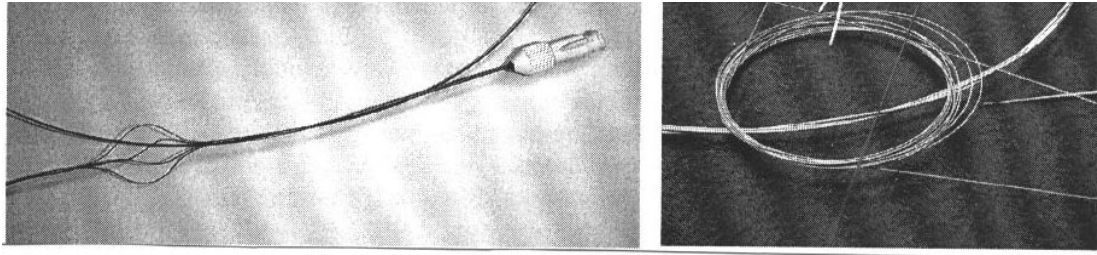
سیم و لوله ها با ابعاد کوچک است همچنین آلیاژهای حافظه دار جهت شکل دهی

سیم، مفتول ، میله تاب دار و فیلم نازک قابل دسترسی است .

برای مثال توسعه محصولات آلیاژهای حافظه دار توسط شرکت آلیاژی **Ti-Ni** شامل

سیلیکون میکروماشین ، جریان میکرووالو، وسایل آزاد سازی غیر انفجاری وسایل پس

خور لامسه (محرک پوست) و مکانیزم قفل های فنی فضانوردی است



(شکل-۳۵) تولید سیم های ظریف از جنس آلیاژ حافظه دار نایتینول

۲- کاربرد آلیاژهای حافظه دار در مهندسی پزشکی:

کاربرد پزشکی آلیاژ های حافظه دار به عنوان یک عملگر با اثر باقیمانده در داخل بدن قابل بررسی است آلیاژی که در بدن افراد برای بهبود رفتار بالینی اعضای آنها بکار گرفته شده است نباید مولد هیچ گونه حساسیتی باشد علاوه بر آن آلیاژ بکارگرفته شده نباید به صورت ذراتی از یون آن ماده وارد خون شخص گیرنده این گونه آلیاژها شود. جنبه های متعددی شامل شاخص های مزاجی افراد همچون سن ، قوای بدن و سلامتی و خصوصیات شیمیایی مواد همانند خوردگی ، تخلخل پذیری سطح ، تأثیرات سمی و عناصر موجود در مواد به منظور پذیرش مواد مذکور در بدن افراد باید مورد بررسی قرار گیرند.

تحقیقات متعددی در مورد تولید و بکارگیری آلیاژهای حافظه دار با کاربرد پزشکی با پایه عنصری $Ni-Ti$ انجام پذیرفته است. این تحقیقات نشان می دهد که آلیاژ $Ni-Ti$ در کاربرد و استفاده، نسبت به بقیه آلیاژها از موقعیت خوبی برخوردار است. تحلیل خواص آلیاژ $Ni-Ti$ با بررسی خواص جداگانه نیکل و تیتانیوم امکان پذیر است

نیکل رنگ سفید نقره ای براق دارد و فلزی است سمی ، شکننده که از قابلیت پولیش

خوبی برخوردار است این فلز جزء فلزات غیر آهنی سنگین با جرم مخصوص 3Kg/dm^3

۸/۹ و نقطه ذوب ۱۴۵۵ می باشد و در مقابل خوردگی بسیار مقاوم بوده و به وسیله

آهن ربا جذب می شود. همچنین در مقابل حرارت و ضربه مقاومت خوبی نشان

می دهد موارد استفاده آن شامل پوشش محافظ در آّبکاری فلزات ، تولید فولادهای

آلیاژی و غیره می باشد.

تیتانیوم فلزی است نقره فام مایل به خاکستری و جزء فلزات غیر آهنی سبک است و

جرم مخصوص آن 3Kg/dm^3 ۴/۵ و نقطه ذوب آن ۱۶۷۰ می باشد. مقاومت در مقابل

خوردگی و سایش و استحکام زیاد آن موجب کاربرد در ساخت قطعات هواپیما ،

سفینه فضایی ، لوازم نظامی و جراحی شده است. آلیاژهای تیتانیوم دار فلز اصلی

ساختمان هواپیمای مافوق صوت را تشکیل می دهد. تیتانیوم بر خلاف نیکل در

پزشکی بسیار مؤثر عمل می کند ، علاوه بر این با توجه به خواص بسیار خوب

مکانیکی برای اصلاح دندان های کج و همچنین ترمیم استخوان های آسیب دیده

کاربرد فراوان دارد.

بررسی تحقیقات خواص بالینی آلیاژ **Ni-Ti** چگونگی کنترل مقاومت در مقابل

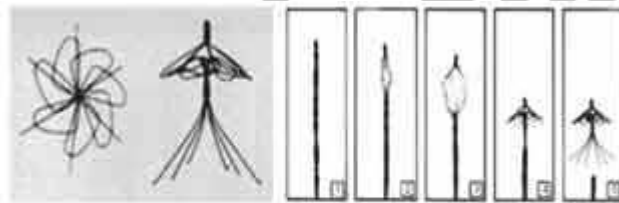
خوردگی و عوامل خارجی مؤثر بر این آلیاژ را نشان می دهد.

– موارد استفاده پزشکی از آلیاژ Ni-Ti:

الف) کاربردهای مربوط به قلب و عروق

فیلتر سیمون نسل جدیدی از وسایل استفاده شده برای جلوگیری از انسداد جریان خون می باشد افرادی که قادر به استفاده از داروهای ضد انعقاد خون نمی باشند، استفاده کننده های اصلی این فیلتر می باشند. هدف استفاده از این وسیله تصفیه خون داخل رگ می باشد و فیلتر سیمون کمک می کند لخته های بوجود آمده در خون حل شود.

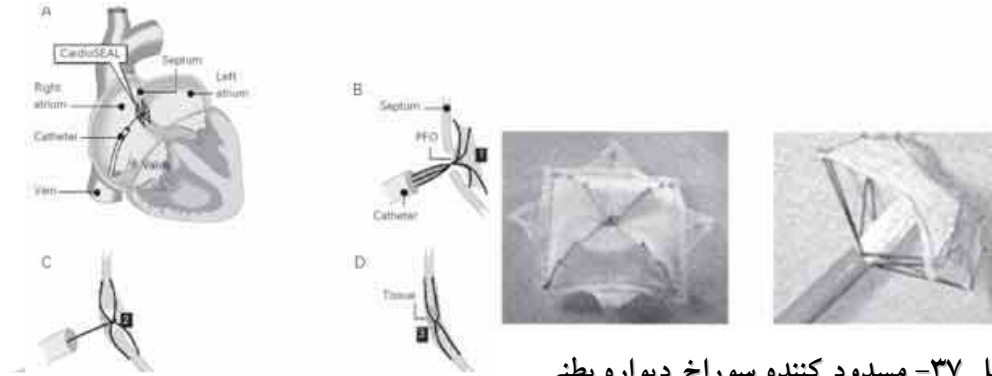
اما نصب فیلتر در داخل بدن اشخاص با به کار گیری از تأثیرات آلیاژهای حافظه دار امکان پذیر است برای این منظور فیلتر را با تغییر شکل بر روی سوند قرار می دهند. جریان محلول نمکی در داخل سوند موجب تثبیت دمای فیلتر با درجه حرارت معمولی می شود و زمانی که فیلتر در محل تعیین شده قرار گرفت با توقف جریان محلول نمکی در داخل سوند درجه حرارت بالا می رود و فیلتر تغییر شکل داده شده به شکل اصلی (اولیه) خود بر می گردد در این زمان فیلتر از نوک سوند نیز جدا شده است.



شکل ۳۶ الف) شکل اصلی فیلتر (ب) مراحل بازیافت شکل اولیه جدایی از

مسدودکننده سوراخ دیواره دهلیزی: از این وسیله برای مسدود کردن سوراخ دیواره

دهلیزی که بین دو دهلیز چپ و راست ایجاد می شود استفاده می گردد.



شکل ۳۷- مسدود کننده سوراخ دیواره بطنی

شکل ۳۸- مراحل مسدود کردن سوراخ دیواره

باید توجه داشت وجود این سوراخ غیر عادی است و امید ادامه زندگی را برای افراد

کاهش می دهد در روش جراحی معمول ، رفع این عیب مستلزم شکافتن سینه

بیماروسپس عمل بخیه کردن سوراخ صورت می گیرد ، که به طور طبیعی خطرات

ناشی از عمل جراحی و همچنین امکان بروز حوادث غیر منتظره در حین جراحی

اجتناب ناپذیر بوده و راه حل آن استفاده از اثر آلیاژهای حافظه دار می باشد. این

وسیله از سیم هایی با خاصیت حافظه داری و فیلم ضد آب که روی آن نصب شده

است، تشکیل می شود. برای نصب این وسیله در داخل قلب ابتدا نیمه اول آن وارد

بطن چپ شده و به شکل اولیه خود بر می گردد و در ادامه نیمه دوم که در بطن راست

قرار می گیرد تغییر شکل یافته ، به شکل اولیه خود بر می گردد. در انتها هر دو نیمه به

دیواره بطنی متصل شده اند . به طوری که از ورود جریان خون از دو بطن به یکدیگر

جلوگیری می شود.

استنت های باز شونده خودکار نیز از جمله وسایل مهمی است که در حفظ قطر داخلی رگ های تنگ شده و کاهش قطر و بسته شدن آنها کاربرد دارد. استنت ها به شکل استوانه های توری ساخته می شوند و متناسب بانوع و محل کاربرد دارای اقطار متفاوتی می باشند (شکل ۳۹).



شکل ۳۹- استنت هایی با اندازه های متفاوت

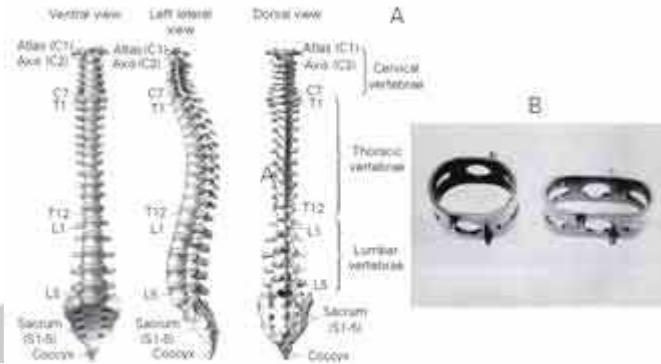
از جمله محل های مورد استفاده از استنت ها سرخرگ، سیاهرگ، رگ های خونی، مجاری، صفراوی و مری می باشد. برای نصب در داخل عروق ابتدا فاز مارتنزیتی از شکل اصلی به حالت متراکم شده تبدیل و پس از قرار دادن در محل مورد نظر به شکل خود بر می گردد.

(ب) کاربردهای ارتوپدی

از آلیاژهای حافظه دار (*SMA*) به عنوان فضا گیر یا *spacer* بین مهره های ستون فقرات در حین عمل جراحی استفاده می شود که موجب استحکام ما بین دو مهره در حین بهبودی بعد از تغییر شکل ایجاد شده در جراحی اسکولیدز می شود. در شکل

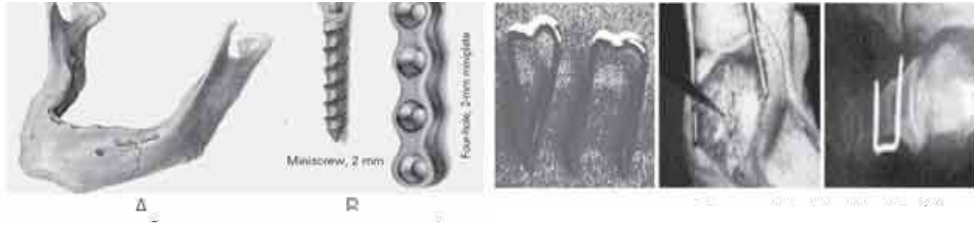
۴۰-B- سمت چپ مهره تغییر شکل یافته در فاز مارتزیتی است که پس از جایگزینی

در محل مورد نظر به حالت سمت راستی (شکل اولیه) بر می گردد.



شکل ۴۰- (A) ستون فقرات (B) سمت چپ مهره فشرده شده و سمت راست شکل اولیه مهره

ترمیم و بهبود شکستگی استخوان از دیگر کاربردهای ارتوپدی آلیاژ های حافظه دار می باشد. انواع مختلفی از بست های با خاصیت حافظه داری در ترمیم شکستگی یا ترک استخوان ساخته شده است. بست ها به صورت باز شده در محل شکستگی یا ترک معمولاً پیچ شوند. با کمک گرما بست ها به گونه ای تغییر شکل می یابند که دو طرف شکستگی یا ترک را با هم یکی کرده و می فشردند. گرمای ایجاد شده را می توان به کمک یک وسیله خارجی به آلیاژ منتقل کرد. نیروی ایجاد شده در اثر تغییر شکل آلیاژ به بهبود سریعتر شکستگی یا ترک می انجامد (شکل ۴۱ و ۴۲).



شکل ۴۲- (A) بست های ارتوپدی (B) نصب بست روی استخوان پا (C) عکسبرداری با اشعه X از استخوان یا و بست نصب شده

عموماً از این بست ها در مواقعی استفاده می شود که محل شکستگی یا ترک را نتوان گچ گرفت، مانند نواحی صورت شامل، بینی، فک و حفره چشم از جمله محل های مورد کاربرد می باشند.

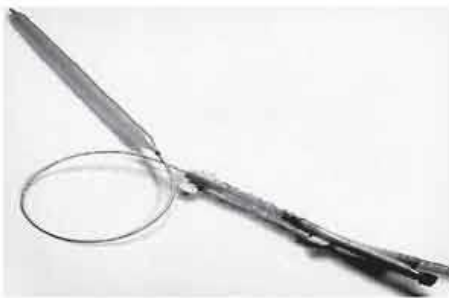
از دیگر کاربردهای ارتوپدی اثرات آلیاژ های حافظه دار در فیزیوتراپی عضلات ضعیف می باشد. تصویر ۴۳ دستکشی را نشان می دهد که سیم هایی با خاصیت حافظه داری بر روی ناحیه انگشتان دستکش واقع شده است. که موجب تقویت حرکت عضلات و برقراری دامنه مناسب حرکات مفصلی با استفاده از خاصیت حافظه داری سیم های دستکش استفاده می شود به طوریکه با گرم کردن سیم طول سیم ها کوتاه شده و انگشتان به داخل خم می شوند و با سرد کردن طول سیم ها زیاد شده و انگشتان کاملاً کشیده می شوند. این پدیده برای به کار انداختن مفاصل نیمه ثابت استفاده می شود.



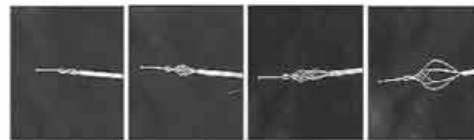
شکل ۴۳- مورد استفاده خاصیت حافظه داری دو طرفه در فیزیوتراپی عضلات ضعیف
(A) پس از سرد کردن انگشتان کاملاً کشیده شده اند (B) گرم شدن و جمع شدن

ج) کاربرد آلیاژهای حافظه دار در وسایل جراحی
در راستای تولید وسیع ابزارهای جراحی در سال های اخیر ابزارهای جراحی حافظه دار قابل توجهی تولید شده است که به شرح تعدادی از آنها پرداخته می شود.

۱- سبد حافظه دار برای خارج کردن سنگ های مثانه و صفراوی مورد استفاده قرار می گیرد. مراحل نصب آن شبیه فیلتر سایمون می باشد که در شکل ۴۴ آورده شده است.



شکل ۴۵- پمپ بالونی برای جلوگیری از انسداد رگ حین آنژیوگرافی



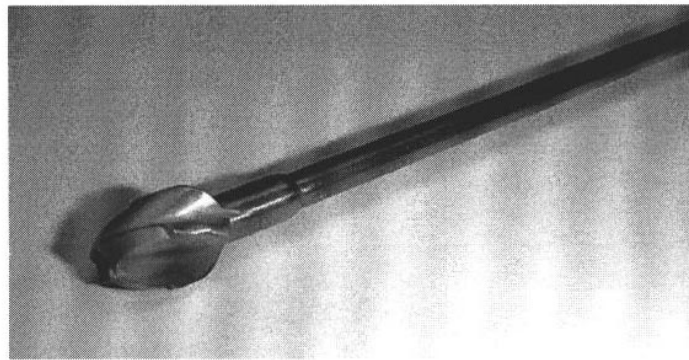
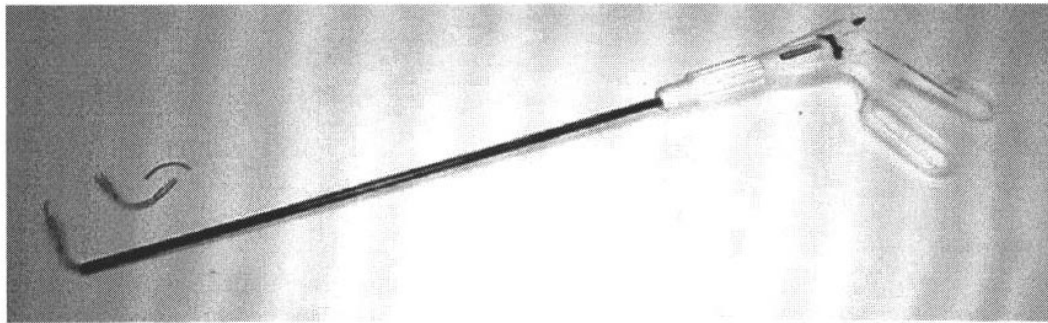
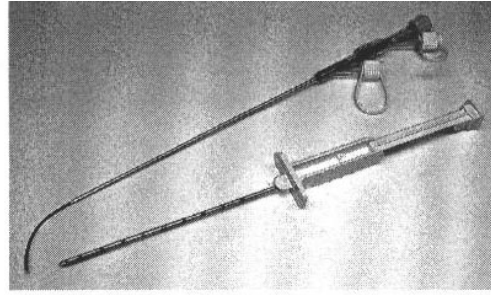
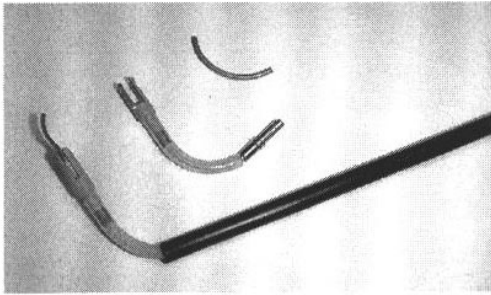
شکل ۴۴- مراحل بازیابی شکل اولیه سبد ساخته شده با آلیاژ حافظه دار برای جمع آوری

کاربرد پمپ بالونی داخل آئورت شکل ۴۵ برای جلوگیری از مسدود شدن رگ های خونی در هنگام آنژیوپلاستی می شود این وسیله داری تیوب با اثر حافظه داری است و عملکرد آن با مواد پلی مری که خاصیت ارتجاعی دارند قابل مقایسه است. شکل ۴۶ انواع انبرک های شامل انبرک های قیچی دار و پنس مورد استفاده در لاپاراسکوپی را نشان می دهد. دقت و نرمی در حرکت از جمله خصوصیات این ابزار می باشد.



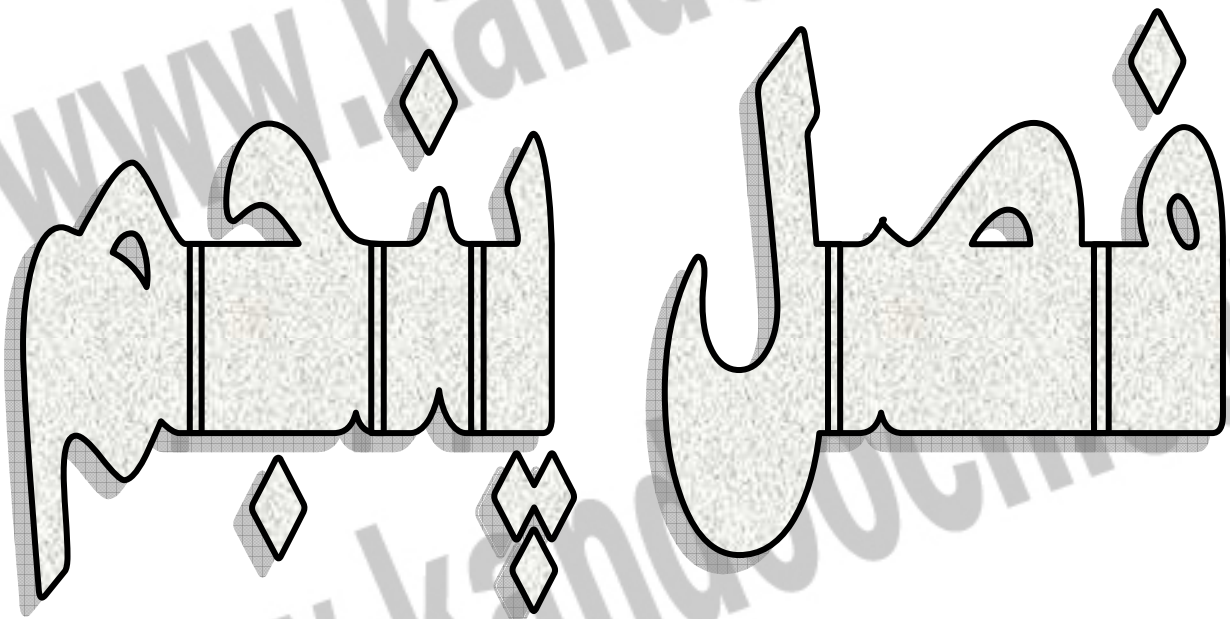
شکل ۴۶- انواع انبرکهای گیره ای و پنس، مورد استفاده در لاپاراسکوپی

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



شکل ۴۷ - به کا گیری آلیاژهای حافظه دار نایتینول در تجهیزات پزشکی

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooon.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید



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 ۳۰-۴۰٪ 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 Mateials & Structures .By B Yuan, CY Chung , XP Zhang , MQ Zeng and M Zhu* 14 (2005)
S 201 –S206
- 2- *Smart Mateials & Structures, Active Materials, Behavior & Mechanics . By A.J.Muir Wood, V Gergely , T W Clyne* (2004)
- 3- *Acta Mateials .By Sia Nemat-Nasser,Jeom Yong Choi* 53(2005) 449-454
- 4- *NiTi SMAs Super Elasticity & Shap Memory . By: Herr Dr.Lng. Widia Thedja*(2005)
- 5- *Application of Super Elastic Nitinol.By Philippe P.Poncet-USA* (2003)
- 6 - *SMAs Nitinol. Anothdr Search from Int.*(2005)

۷- آلیاژ حافظه دار تز کارشناسی علیرضا مشفق

SMAs. By Kotsuka & C.M Wayman

۸- بررسی ساختار و عمل کرد آلیاژ های حافظه در پزشکی تز کارشناسی ارشد احمد رضا دور

اندیش

۹- نقش ویژه آلیاژ های حافظه دار در مهندسی پزشکی تألیف دکتر سید علی صدوق ونینی

۱۰- مقاله از مجله مهندسی متالورژی توسط دکتر سید خطیب الاسلام صدر نژاد ، دکتر سید تقی

نعیمی و مهندس ناهید حسن زاده نعمتی

پیوست ها

پیوست ۱ جدول خواص فیزیکی نایتینول

6.45gms/cc	چگالی
$1240-1310^{\circ}\text{C}$	دمای ذوب
86uohm-cm	مقاومت (حالت دمای بالا)
76uohm-cm	مقاومت (حالت دمای پایین)
$5.1\text{W/cm}^{\circ}\text{C}$	هدایت حرارتی
$0.077\text{cal/gm}^{\circ}\text{C}$	ظرفیت حرارتی
$5.78\text{Cal/gm}, 24.2\text{j/gm}$	گرمای نهان
3.8uemu/gm	حساسیت مغناطیسی (دمای بالا)
2.5uemu/gm	حساسیت مغناطیسی (دمای پایین)

پیوست ۲ خواص مکانیکی نایتینول

<i>110-140ksi, 754-960MPa</i>	استحکام کشش نهایی
<i>15.5</i> درصد	ازدیاد طول نسبی شکست
<i>560MPa, 80ksi</i>	استحکام تسلیم (دمای بالا)
<i>100MPa, 15ksi</i>	استحکام تسلیم (دمای پایین)
<i>75GPa, 11MPsi</i>	مدول الاستیک تقریبی (دمای بالا)
<i>28GPa, 4MPsi</i>	مدول الاستیک تقریبی (دمای پایین)
<i>0.3</i>	ضریب پواسون تقریبی

مکانیزم (تحریک)

<i>5%</i>	بازده تبدیل انرژی
<i>1J/gr</i>	کار خروجی
<i>-100°C تا +100°C</i>	دمای مؤثر استحاله

پیوست ۳ خواص مکانیکی نایتینول

Mechanical Properties of Nitinol

Young's Modulus

austenite.....approx. 83 GPa (12E6 psi)
martensite.....approx. 28 to 41 GPa (4E6 to 6E6 psi)

Yield Strength

austenite.....195 to 690 MPa (28 to 100 ksi)
martensite.....70 to 140 MPa (10 to 20 ksi)

Ultimate Tensile Strength

fully annealed.....895 MPa (130 ksi)
work hardened.....1900 MPa (275 ksi)

Elongation at Failure

fully annealed.....25 to 50%
work hardened.....5 to 10%

Hot Workability.....quite good

Cold Workability.....difficult due to rapid work hardening

Machinability.....difficult, abrasive techniques preferred

پیوست ۴ مدول دیگر مواد در مقایسه با مدول نایتینول

Material	Young's Modulus E (N/m ²)	Shear Modulus G (N/m ²)	Bulk Modulus B (N/m ²)
cast iron	100 x10 ⁹	40 x10 ⁹	90 x10 ⁹
steel	200 x10 ⁹	80 x10 ⁹	140 x10 ⁹
brass	100 x10 ⁹	35 x10 ⁹	80 x10 ⁹
aluminum	70 x10 ⁹	25 x10 ⁹	70 x10 ⁹
concrete	20 x10 ⁹		
brick	14 x10 ⁹		
marble	50 x10 ⁹		70 x10 ⁹
granite	45 x10 ⁹		45 x10 ⁹
wood (pine) parallel to grain	10 x10 ⁹		
wood (pine) perpendicular to grain	10 x10 ⁹		
nylon	5 x10 ⁹		
bone (limb)	15 x10 ⁹	80 x10 ⁹	
water			2 x10 ⁹
alcohol (ethyl)			1 x10 ⁹
mercury			2.5 x10 ⁹
gases			1.01 x10 ⁵

Filename: Document1

Directory:

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

Title: بررسی تأثیر رفتار سوپر الاستیسیته

(Ni-Ti) آلیاژهای حافظه دار نایتینول

Subject:

Author: 2

Keywords:

Comments:

Creation Date: 4/15/2012 11:33:00

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

11:33:00 AM

As of Last Complete Printing

Number of Pages: 71

Number of Words: 7,495 (approx.)

Number of Characters: 42,724

(approx.)