



بررسی تأثیر دما و زمان آنیل بر رفتار استحاله آلیاژ حافظه‌دار NiTi

سمیه نورمحمدزاده^۱، سید مجتبی زبرد^۲، سید عبدالکریم سجادی^۳، سید محمد سید آقامیری^۴

۱ و ۲ - دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴ - دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

عملیات آنیل در آلیاژ NiTi موجب تغییر رفتار استحاله مارتنزیتی می‌شود. در این تحقیق تأثیر دما و زمان آنیل بر رفتار استحاله‌های مارتنزیتی متأثر از تنش (Stress-Induced Martensitic) و متأثر از حرارت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نمونه‌ها در دماهای 300°C تا 450°C و زمان‌های 0.5h و 3h آنیل شدند. رفتار استحاله حرارتی با استفاده از آزمایش کالریمتری روبشی افتراقی و رفتار استحاله SIM توسط آزمایش کشش بررسی شد. نتایج نشان داد که عملیات آنیل در دمای 300°C موجب افزایش دماهای استحاله حرارتی و بهبود رفتار سوپرالاستیک می‌شود. همچنین افزایش دما و زمان آنیل موجب چندمرحله‌ای شدن استحاله حرارتی به دلیل افزایش ناهمگنی‌های ترکیبی و تنشی در اطراف ذرات Ni_4Ti_3 و کاهش اثر سوپرالاستیک شد. آنیل در دمای 450°C و زمان 3h موجب تغییر فاز پایدار نمونه از آستنیت به مارتنزیت و پیدایش اثر حافظه‌داری در نمونه گردید.

واژه های کلیدی: استحاله مارتنزیتی، کالریمتری روبشی افتراقی، رفتار سوپرالاستیک، اثر حافظه‌داری

۱- کارشناس ارشد

۲- دانشیار

۳- دانشیار

۴- دانشجوی دکترا

بررسی تأثیر دما و زمان آنیل بر رفتار استحاله آلیاژ حافظه‌دار NiTi

سمیه نورمحمدزاده^۱، سید مجتبی زبرجد^۲، سید عبدالکریم سجادی^۳، سید محمد سید آقامیری^۴

چکیده

عملیات آنیل در آلیاژ NiTi موجب تغییر رفتار استحاله مارتنزیتی می‌شود. در این تحقیق تأثیر دما و زمان آنیل بر رفتار استحاله‌های مارتنزیتی متأثر از تنش (Stress-Induced Martensitic) و متأثر از حرارت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نمونه‌ها در دماهای ۳۰۰°C تا ۴۵۰°C و زمان‌های ۰/۵h و ۳h آنیل شدند. رفتار استحاله حرارتی با استفاده از آزمایش کالریمتری روبشی افتراقی و رفتار استحاله SIM توسط آزمایش کشش بررسی شد. نتایج نشان داد که عملیات آنیل در دمای ۳۰۰°C موجب افزایش دماهای استحاله حرارتی و بهبود رفتار سوپرالاستیک می‌شود. همچنین افزایش دما و زمان آنیل موجب چندمرحله‌ای شدن استحاله حرارتی به دلیل افزایش ناهمگنی‌های ترکیبی و تنش در اطراف ذرات Ni_4Ti_3 و کاهش اثر سوپرالاستیک شد. آنیل در دمای ۴۵۰°C و زمان ۳h موجب تغییر فاز پایدار نمونه از آستنیت به مارتنزیت و پیدایش اثر حافظه‌داری در نمونه گردید.

واژه های کلیدی: استحاله مارتنزیتی، کالریمتری روبشی افتراقی، رفتار سوپرالاستیک، اثر حافظه‌داری

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

nourmohammadzadeh@gmail.com

۲- دانشیار گروه مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی دکتری مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

آلیاژ حافظه‌دار NiTi به دلیل برخورداری از دو ویژگی منحصربه‌فرد سوپرالاستیسیته و حافظه‌داری اهمیت زیادی در کاربردهای صنعتی و پزشکی پیدا کرده است. در این آلیاژ سه فاز مهم آستنیت (A)، مارتنزیت (M) و فاز میانی R دیده می‌شود. هنگامی که نمونه در فاز مارتنزیت و یا فاز R قرار دارد، رفتار حافظه‌داری را نشان می‌دهد. به طوری که اگر در اثر اعمال تنش در نمونه تغییر شکل ایجاد شود، تمام کرنش ایجاد شده در نمونه با گرمایش آن تا بالاتر از دمای پایان استحاله مارتنزیت به آستنیت بازمی‌گردد و نمونه به شکل اولیه خود بازمی‌گردد. این رفتار به دلیل وقوع استحاله مارتنزیتی متأثر از حرارت از فازهای مارتنزیتی به فاز آستنیت به وجود می‌آید. زمانی که نمونه در فاز آستنیت قرار دارد رفتار سوپرالاستیک را نشان می‌دهد. در این حالت اعمال تنش به اندازه کافی بالا موجب استحاله مارتنزیتی متأثر از تنش (SIM) از فاز آستنیت به فاز مارتنزیت در تنش ثابت می‌شود. این پدیده موجب ایجاد کرنش بسیار بالا در نمونه می‌گردد. اگر باربرداری انجام شود استحاله SIM بازگشتی از فاز مارتنزیت به فاز آستنیت در تنش ثابت و سطح تنش پایین‌تر از استحاله رفت موجب می‌شود که نمونه تمام کرنش ایجاد شده در اثر استحاله مارتنزیتی رفت را بازمی‌کند و به شکل اولیه خود بازگردد. بنابراین خواص این آلیاژ شدیداً وابسته به فاز پایدار آن در شرایط کاربردی است.

عملیات آنیل با جابجایی دماهای استحاله مارتنزیتی متأثر از حرارت و تغییر روند این استحاله‌ها بر خواص آلیاژ و رفتار استحاله SIM تأثیر می‌گذارد.

در این تحقیق تأثیر عملیات آنیل بر رفتار استحاله‌های مارتنزیتی متأثر از حرارت و SIM به کمک آزمایش - کالریمتری روبشی افتراقی (DSC) و آزمایش کشش مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از سیم‌های حافظه‌دار NiTi با ترکیب غنی از Ni به عنوان ماده اولیه استفاده شد. این سیم‌ها دارای مقطع دایره و قطر ۰/۴۶mm بودند. عملیات آنیل در دماهای ۳۰۰°C، ۳۵۰°C، ۴۰۰°C، ۴۵۰°C و زمان‌های ۰/۵h و ۳h با استفاده از کوره مقاومتی انجام شد.

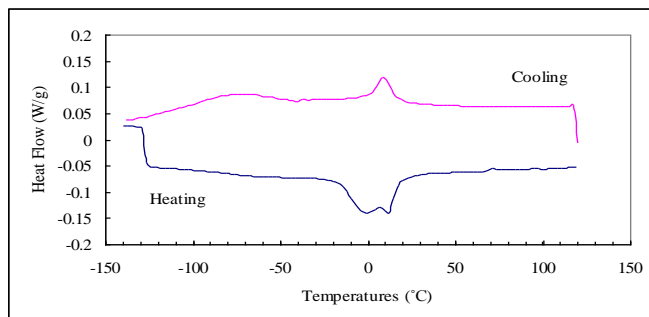
به منظور بررسی رفتار استحاله حرارتی از دستگاه کالریمتری روبشی افتراقی مدل PL-DSC مجهز به سیستم نیتروژن مایع استفاده شد. حدود ۱۰mg ماده از هر نمونه تحت سیکل‌های سرمایش و گرمایش در محدوده دمایی ۸۰°C- تا ۸۰°C قرار گرفتند و تغییرات فازی صورت گرفته به صورت تابعی از جریان حرارتی نسبت به دما ثبت گردید. جهت بررسی رفتار SIM، آزمایش کشش با کمک دستگاه کشش Zwick با لودسل ۲۵۰KN انجام شد.

برای انجام این آزمایش نگهدارنده‌ای با طراحی ساده ساخته شد. طول نمونه‌های مورد آزمایش ۶۰ mm انتخاب شد و آزمایش کشش تا حداکثر کرنش ۰.۷٪ و با نرخ کرنش ۰.۰۲/min انجام شد.

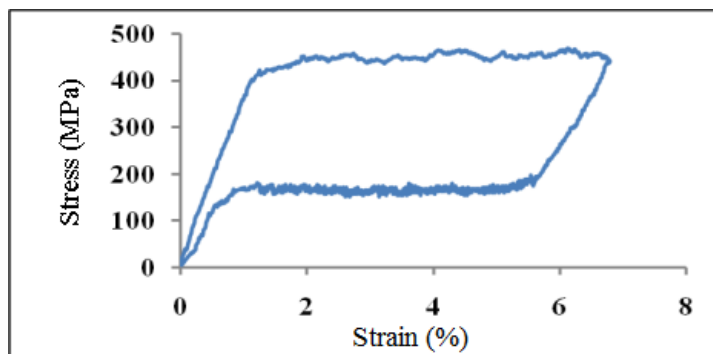
نتایج و بحث

۱- رفتار استحاله متأثر از حرارت نمونه اولیه

در شکل ۱ منحنی DSC نمونه اولیه آورده شده است. در این شکل پیک‌های استحاله به صورت دو مرحله‌ای در سیکل‌های سرمایش و گرمایش دیده می‌شوند. پیک‌های استحاله‌های بازگشتی $M \rightarrow R \rightarrow A$ باهم همپوشانی دارند. با توجه به پهن بودن نسبی پیک‌های استحاله و هیستریزس حرارتی نسبتاً زیاد استحاله $R \rightarrow M$ و همپوشانی پیک‌های استحاله در سیکل گرمایش، می‌توان نتیجه گرفت در حین فرآیند تولید سیم در اثر کار سرد میزان زیادی نابجایی و در شبکه آلیاژ تشکیل شده که این نابجایی‌ها باعث افزایش هیستریزس حرارتی و گسترش محدوده دمایی استحاله شده‌اند. تشکیل فاز R نیز دلیلی بر وجود شبکه نابجایی‌ها و یا رسوبات هم‌سیمای Ni_4Ti_3 بوده که به دلیل کرنش نسبتاً کم استحاله $R \leftrightarrow A$ این استحاله از هیستریزس چندانی برخوردار نیست.



شکل ۱. منحنی DSC نمونه اولیه.



شکل ۲. منحنی تنش-کرنش نمونه اولیه.

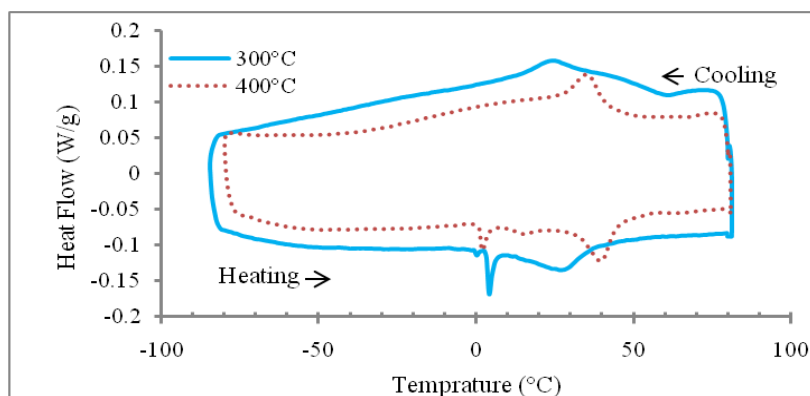
۲- رفتار استحاله SIM نمونه اولیه

شکل ۲ منحنی تنش- کرنش نمونه اولیه را نشان می‌دهد. در این شکل استحاله SIM رفت و برگشت در تنش تقریباً ثابت رخ می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که ناحیه تنش ثابت به صورت دندانه‌دار ظاهر شده است که مشخص می‌کند تغییر شکل در یک رفتار ناهمگن انجام می‌شود و از یک انتهای نمونه شروع می‌شود و با افزایش کرنش به انتهای دیگر ادامه می‌یابد [۱]. بنابراین استحاله SIM مانند تغییر شکل لودر انجام می‌شود. یعنی در این مواد تنش مورد نیاز برای جوانه زنی مارتنزیت بیشتر از تنش مورد نیاز برای رشد آن است. تمرکز تنش در فصل مشترک بین مناطق تغییر شکل یافته و تغییر شکل نیافته سبب استحاله SIM فقط در همسایگی مناطق تغییر شکل یافته می‌شود [۲، ۳ و ۴].

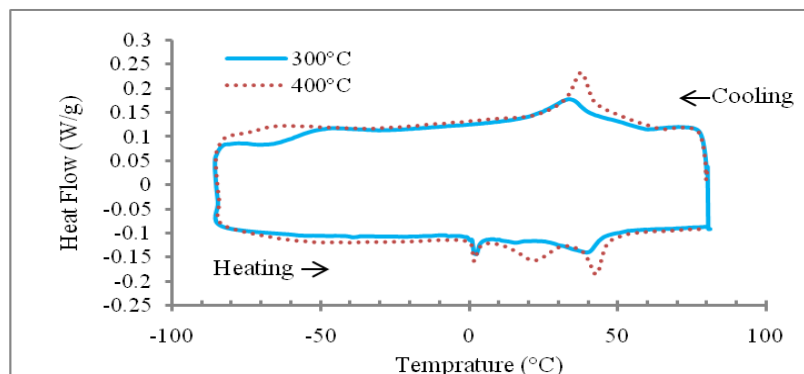
۳- منحنی‌های DSC نمونه‌های آنیل شده

شکل ۳ منحنی‌های DSC نمونه‌های آنیل شده در دماهای 300°C و 400°C و زمان 0.5h را نشان می‌دهد. سیکل سرمایش نمونه آنیل شده در دمای 300°C نشان می‌دهد که پیک‌های استحاله‌های مارتنزیتی $A \rightarrow R \rightarrow M$ با هم همپوشانی دارند و این استحاله‌ها در محدوده گسترده‌ای انجام می‌شوند. همچنین در این شرایط دماهای استحاله به سمت بالا جابجا شده‌اند. در دمای 400°C نیز پیک‌های استحاله‌های $A \rightarrow R \rightarrow M$ با هم همپوشانی دارند و پهنای آنها کمی کاهش یافته است ولی همچنان این استحاله‌ها در محدوده وسیعی انجام می‌شوند. سیکل گرمایش نیز استحاله‌های مارتنزیتی را به صورت سه مرحله‌ای نشان می‌دهد. آنیل در این دما نیز موجب افزایش دماهای استحاله نسبت به نمونه اولیه شده است. از آنجا که فرایند تولید این سیم‌ها به وسیله عملیات کشش سرد انجام می‌شود، انرژی داخلی در اثر ایجاد عیوب بلوری شامل نابجایی‌ها و جاهای خالی افزایش یافته است. فرایند آنیل در دماهای پایین‌تر از 500°C موجب می‌شود نمونه در مرحله بازیابی قرار گیرد. بنابراین دانسیته بالای نابجایی‌های قفل شده شروع به آرایش مجدد می‌کنند و انرژی داخلی به تدریج کاهش می‌یابد [۵]. در نمونه آنیل شده در دمای 300°C که در آغاز مرحله بازیابی قرار داریم دانسیته بالای نابجایی‌های قفل شده وجود دارد. همچنین افزایش دماهای استحاله نشان می‌دهد که آنیل در این دما موجب افزایش رسوبات Ni_4Ti_3 از فاز زمینه شده است. دانسیته بالای نابجایی‌ها و ذرات Ni_4Ti_3 در مقابل تغییر شکل شبکه‌ای مقاومت می‌کنند. در نمونه آنیل شده در دمای 400°C هنوز در مرحله بازیابی قرار داریم. در این شرایط با افزایش دمای آنیل دانسیته نابجایی‌ها کمی کاهش یافته است و این باعث کاهش پهنای پیک‌های استحاله‌ها می‌شود. در این دما نیز ذرات Ni_4Ti_3 افزایش یافته است و این سبب می‌شود که استحاله‌های مارتنزیتی همچنان در سطح دماهای بالایی رخ دهند.

در شکل ۴ منحنی های DSC نمونه های آنیل شده در دماهای 300°C و 400°C و زمان 3h نشان داده شده است. هر دو نمونه در سیکل سرمایش دو پیک مربوط به استحالتهای $A \rightarrow R \rightarrow M$ را نشان می دهند با این تفاوت که در نمونه آنیل شده در دمای 400°C این دو پیک با هم همپوشانی دارند. در سیکل گرمایش مشاهده می شود که استحالتهای بازگشتی در سه پیک رخ می دهند. به دلیل افزایش زمان آنیل در هر دو دما نسبت به زمان 0.5h نابعایی - ها کاهش بیشتری می یابند و به همین دلیل پهنای پیک ها کمتر می شود. با این وجود پهنای پیک ها در منحنی DSC مربوط به نمونه آنیل شده در دمای 300°C نشان می دهد که میزان کاهش نابعایی ها در این دما بسیار پایین است و افزایش زمان آنیل تأثیر زیادی بر آن ندارد. کاهش پهنای پیک ها در منحنی DSC مربوط به نمونه آنیل شده در دمای 400°C نشان می دهد که در این دما میزان کاهش نابعایی ها بسیار بیشتر است و با مقایسه این منحنی با منحنی DSC مربوط به نمونه آنیل شده در زمان 0.5h مشاهده می شود که زمان آنیل در این دما تأثیر زیادی بر میزان کاهش نابعایی ها دارد. همچنین فرایند آنیل در هر دوی این دماها موجب افزایش دانسیته رسوبات Ni_4Ti_3 نسبت به زمان 0.5h و کاهش مقدار نیکل زمينه شود که این موجب افزایش دماهای استحاله می شود.



شکل ۳. منحنی های DSC نمونه های آنیل شده در دماهای 300°C و 400°C و زمان 0.5h .



شکل ۴. منحنی های DSC نمونه های آنیل شده در دماهای 300°C و 400°C و زمان 3h .

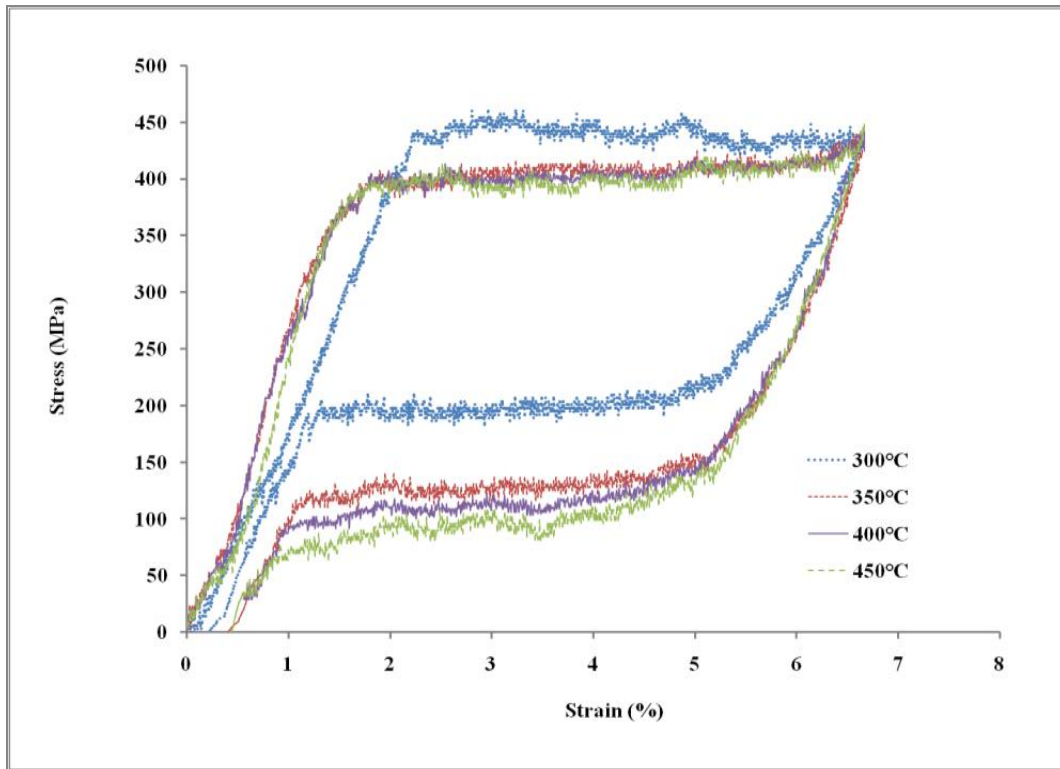
همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده شد، در همه نمونه‌های آنیل شده به جز نمونه آنیل شده در دمای 300°C و زمان $0/5\text{h}$ استحاله‌های مارتنزیتی در سیکل گرمایش به صورت سه‌مرحله‌ای انجام شده‌اند. این رفتار سه-مرحله‌ای غیرمتعارف ناشی از ناهمگنی تنشی و موضعی در اطراف رسوبات Ni_4Ti_3 می‌باشد. ناهمگنی تنشی از هم-سیمایی بین رسوبات و زمینه B2 ایجاد می‌شود. بر این اساس استحاله R-A در یک مرحله و سپس استحاله R-M در دو مرحله به ترتیب در مناطق با تنش بالا (نزدیک رسوبات) و مناطق با تنش پایین (دور از رسوبات) صورت می‌گیرد [۶]. ناهمگنی ترکیبی در اطراف رسوبات موجب می‌شود که استحاله R-M در مناطق با نیکل کم (نزدیک رسوبات) و مناطق با نیکل بالا (دور از رسوبات) در دو مرحله انجام شود [۷].

۴- منحنی‌های تنش- کرنش نمونه‌های آنیل شده

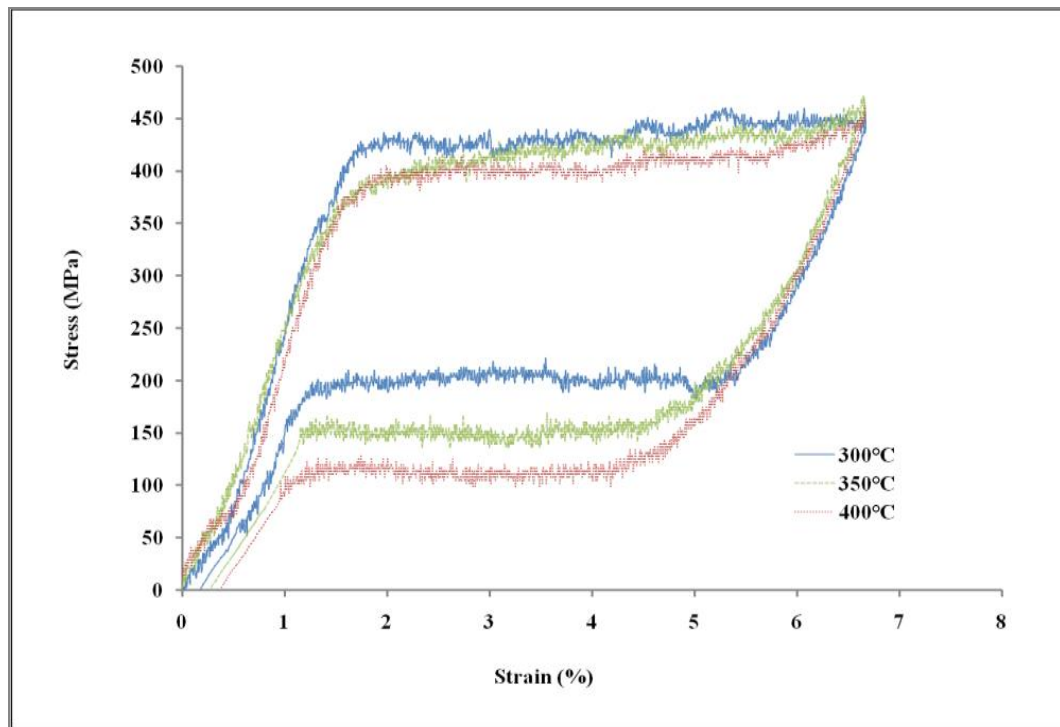
شکل ۵ منحنی‌های تنش-کرنش نمونه‌های آنیل شده در دماهای 300°C تا 450°C و زمان $0/5\text{h}$ را نشان می‌دهد. در منحنی نمونه آنیل شده در دمای 300°C مشاهده می‌شود که ناحیه تنش ثابت در مرحله بارگذاری در سطح تنش بالاتری نسبت به نمونه‌های دیگر قرار دارد و این ناحیه در نمونه‌های دیگر در سطح تنش تقریباً ثابتی قرار می‌گیرد. با افزایش دمای آنیل ناحیه تنش ثابت در مرحله باربرداری به سمت پایین جابجا می‌شود. بنابراین با افزایش دمای آنیل هیستریزیس استحاله SIM (مقدار کار تلف شده) افزایش می‌یابد. همچنین منحنی نمونه آنیل شده در دمای 300°C نشان می‌دهد که استحاله SIM در دامنه کرنش 7% کامل نشده است و بنابراین کرنش سوپرلاستیک (تغییر شکل سوپرلاستیک در طول استحاله SIM) در این نمونه گسترده‌تر شده است. با توجه به منحنی‌های DSC این نمونه در شکل ۳، شرایط آنیل در این نمونه موجب افزایش رسوبات Ni_4Ti_3 شده است که این رسوبات با مقاومت در مقابل تغییر شکل شبکه موجب افزایش سطح تنش استحاله SIM رفت و برگشت شده‌اند و همچنین کرنش سوپرلاستیک را افزایش داده‌اند. منحنی تنش-کرنش این نمونه نشان می‌دهد که هیستریزیس استحاله SIM در این منحنی نسبت به نمونه اولیه کاهش یافته است و با افزایش دمای آنیل افزایش می‌یابد. بنابراین عملیات آنیل در این دما و زمان موجب بهبودی خواص سوپرلاستیک شده است. کاهش سطح تنش استحاله SIM در نمونه‌های آنیل شده در دماهای 350°C تا 450°C به دلیل کاهش نابجایی‌ها با افزایش دمای بازپایی است. همچنین با توجه به شکل ۳ در سیکل سرمایش نمونه آنیل شده در 400°C ، استحاله $A \rightarrow R$ از دماهای بالا شروع می‌شود و در دماهای پایین‌تر از دمای اتاق پایان می‌یابد. بنابراین با توجه به اینکه این نمونه‌ها در دمای اتاق رفتار سوپرلاستیک را نشان می‌دهند ممکن است نمونه پس از خارج شدن از کوره و سرد کردن تا دمای اتاق در مخلوطی از فاز آستنیت و فاز R قرار

گيرد. در اين حالت پس از اعمال تنش مقدار آستينيت كمتری تحت استحاله SIM قرار می گيرد و کرنش سوپراالاستيك کاهش می يابد.

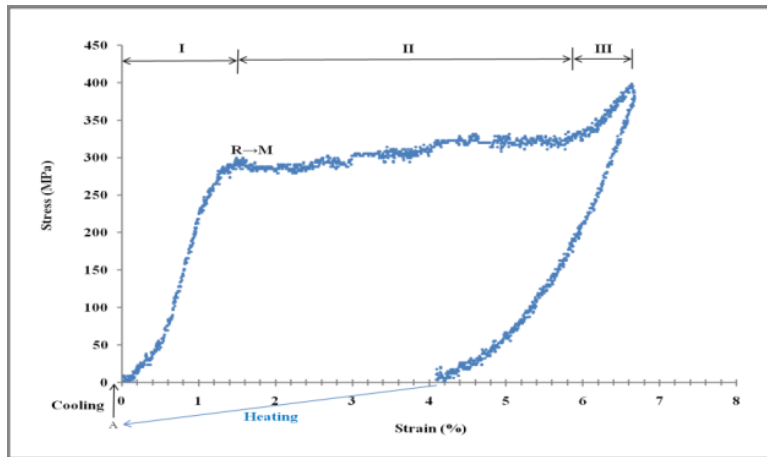
شكل ۶ منحنی های تنش-کرنش نمونه های آنیل شده در دماهای 300°C تا 400°C و زمان 3h را نشان می دهد. در اين شكل مشاهده می شود که با افزايش دمای آنیل ناحیه تنش ثابت در هر دو مرحله بارگذاري و باربرداري به سمت پايين جابجا می شود و هيستريزيس استحاله افزايش می يابد. در اينجا افزايش زمان آنیل نسبت به زمان $0/5\text{h}$ موجب کاهش بيشتري نابعایی ها شده است، بنابراین خواص سوپراالاستيك نمونه آنیل شده در دمای 300°C و زمان 3h نسبت به زمان $0/5\text{h}$ کاهش يافته است، با اين حال اين نمونه خواص سوپراالاستيك مطلوبی نشان می دهد. با توجه به منحنی DSC در شكل ۴ به نظر می رسد همه اين منحنی ها در دمای اتاق در مخلوطی از فاز آستينيت و فاز R قرار دارند و بنابراین کرنش سوپراالاستيك در اين نمونه ها مخصوصاً نمونه آنیل شده در دمای 300°C پايين آمده است. شكل ۷ منحنی تنش-کرنش نمونه آنیل شده در دمای 450°C و زمان 3h را نشان می دهد. در اين شكل سطح تنش ناحیه تنش ثابت به شدت افت کرده است و نمونه پس از باربرداري رفتار سوپراالاستيك را نشان نمی دهد. همان طور که در شكل نشان داده شده است پس از گرمایش نمونه تا دمای بالاتر از A_f تمام کرنش باقیمانده بازيابی شده است. با توجه به اينکه اين نمونه ها پس از اعمال حرارت در کوره تا دمای اتاق سرد شده اند، در اين نمونه استحاله $A \rightarrow R$ کامل شده است و نمونه در دمای اتاق در فاز R قرار دارد. با توجه به اين مطلب می توان منحنی تنش-کرنش اين نمونه را به سه ناحیه تقسيم کرد. در ناحیه I تغيير شکل الاستيکی فاز R رخ می دهد. هنگامی که تنش به يک حد بحرانی می رسد، استحاله متأثر از تنش $R \rightarrow M$ شروع می شود و در حين رشد فاز مارتنزيت يک ناحیه تنش ثابت (ناحیه II) تشكيل می شود. در پايان استحاله مارتنزيتی $R \rightarrow M$ ، نمونه در فاز مارتنزيتی قرار دارد و در ناحیه III تغيير شکل الاستيکی مارتنزيت و سپس حذف دوقلوبی ها^۱ انجام می شود [۸]. از آنجا که فاز R نسبت به آستينيت نرم تر است، ناحیه تنش ثابت به سطح تنش پايين تری نسبت به ناحیه تنش ثابت در استحاله $A \rightarrow R$ جابجا می شود. پايين آمدن سطح تنش می تواند به دليل کاهش بيشتري نابعایی ها در اثر بالا رفتن دمای آنیل نیز باشد.



شکل ۵. منحنی های تنش- کرنش نمونه های آنیل شده در دماهای ۳۰۰°C تا ۴۵۰°C و زمان ۰.۵h.



شکل ۶. منحنی های تنش- کرنش نمونه های آنیل شده در دماهای ۳۰۰°C تا ۴۰۰°C و زمان ۳h



شکل ۷. منحنی تنش-کرنش نمونه آنیل شده در دمای ۴۵۰°C و زمان ۳h.

نتیجه گیری

- ۱- استحاله‌های حرارتی نمونه اولیه به صورت دو مرحله‌ای $A \leftrightarrow R \leftrightarrow M$ رخ می‌دهد و استحاله‌های متأثر از تنش به صورت ناهمگن و در سطوح تنش بالا انجام می‌شود.
- ۲- به دلیل تولید نابجایی ناشی از کشش سیم‌ها در مرحله تولید، آنیل در دماهای ۳۰۰°C تا ۴۵۰°C موجب شد که نمونه در مرحله بازیابی قرار گیرد و دانسیته نابجایی‌ها کاهش یابد.
- ۳- آنیل در دماهای ۳۰۰°C تا ۴۵۰°C موجب افزایش دانسیته رسوبات Ni_4Ti_3 می‌شود.
- ۴- آنیل در دمای ۳۰۰°C و زمان ۰/۵h موجب بهبود خواص سوپراالاستیک شد.
- ۵- آنیل در دمای ۴۵۰°C و زمان ۳h موجب به وجود آمدن رفتار حافظه‌داری گردید.

مراجع

1. S. Miyazaki, T. Imai, K. Otsuka, Y. Suzuki, Scripta Metall, 15, 1981.
2. K. Otsuka, X. Ren, "Physical metallurgy of Ti-Ni-based shape memory alloys", Prog. Mater. Sci, 50, 2005, 511-678.
3. S. Miyazaki, K. Otsuka, Y. Suzuki, "Transformation pseudoelasticity and deformation behavior in a Ti-50.6at%Ni alloy", Scripta Metall, 15, 1981, 287-292.
4. J.A. Shaw, S. Kyriakides, Acta Mater, 45, 1997.
5. K. Otsuka, X. Ren, "Physical metallurgy of Ti-Ni-based shape memory alloys", Prog. Mater. Sci. 50, 2005, 511-678.
6. J. I. Kim, Y. Liu, S. Miyazaki, "Ageing-induced two-stage R-phase transformation in Ti-50.9 at.% Ni", Acta Mater, 52, 2004, 487-499.
7. J. Khalil Allafi, X. Ren, G. Eggeler, "The mechanism of multistage martensitic transformations in aged Ni-rich NiTi shape memory alloys", Acta Materialia, 50, 2002, 793-803.
8. K.L. Ng, Q.P. Sun, "Stress-induced phase transformation and detwinning in NiTi polycrystalline shape memory alloy tubes", Mechanics of Materials, 38, 2006, 41-56.

Investigation the effect of annealing temperature and time on transformation behavior of NiTi shape memory alloy

S. Nourmohammadzadeh*, S.M. Zebarjad. S.A. Sajjadi, S.M. Seyyed Aghamiri

** Materials and metallurgical Engineering Department, Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Box 91775-1111, Mashhad, Iran.*

nourmohammadzadeh@gmail.com

Abstract

Annealing treatment causes change of martensitic transformation behavior. In this research, the effect of annealing temperature and time on Stress Induced Martensitic (SIM) and thermal induced martensitic transformation behavior of NiTi shape memory alloys was investigated. The samples were annealed between 300 and 450°C. Thermal transformation behavior was studied using Differential Scanning Calorimetry (DSC) and SIM transformation behavior was investigated with tensile test. The results revealed that annealing at 300°C for 0.5h raises thermal transformation temperatures and improves superelastic behavior. Also increase in annealing temperature and time caused three stage transformations on heating. These transformations are due to increase in composition inhomogeneity and stress inhomogeneity around Ni₄Ti₃ particles. Increase in annealing temperature and time decreased superelasticity too. Annealing at 450°C for 3h changed stable phase from austenite to martensite, and caused appearance of shape memory effect.

Keywords: Martensitic transformation, Differential scanning calorimetry, Superelastic behavior, Shape memory effect