



مواد حافظه‌دار

مهندس فرانک فرهادی‌نیا

دکتر آرمان صدقی

سرشناسه	: فرهادی‌نیا، فرانک، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: مواد حافظه‌دار / فرانک فرهادی‌نیا، آرمان صدقی.
مشخصات نشر	: تهران: آرنا، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۰ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۲۶-۳۳-۵
وضعیت فهرست	: فیا
نویسی	
موضوع	: مواد هوشمند
موضوع	: آلیاژهای حافظه‌دار
شناسه افزوده	: صدقی، آرمان، ۱۳۴۳ -
رده بندی کنگره	: ۸۹۴/۷۲۱ ۱۳۹۲۹/۲ ۱۸TA
رده بندی دیویی	: ۴۴/۷۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۶۳۲۲۵



نشر آرنا

عنوان	: مواد حافظه دار
نویسنده	: فرانک فرهادی نیا - آرمان صدقی
ناشر	: آرنا
طرح جلد	: مرتضی هانی
چاپ	: اول ۱۳۹۲
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۲۶-۳۳-۵
	قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان

www.arnapub.com

نگارندگان این کتاب را به پدران و مادران خود تقدیم می‌کنند.

ای پدر از تو هر چه می‌گویم باز هم کم می‌آورم

خورشیدی شدی و از روشنایی‌ات جان گرفتم و در ناامیدی‌ها نازم را

کشیدی و لبریزم کردی از شوق،

اکنون حاصل دستان خسته‌ات رمز موفقیت‌م شد،

و تو ای مادر، ای شوق زیبایی نفس کشیدن

ای روح مهربان هستی‌ام

تو رنگ شادی‌هایم شدی و غم‌ها را با تمام وجود از من دور کردی و

عمری خستگی‌ها را به جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش

پیروزی را بر من بچشایی.

فهرست

فصل اول: مقدمه	۹
۱-۱ تحول در مواد مرسوم	۹
۲-۱ مواد حافظه دار چیستند	۱۰
۳-۱ کریستالوگرافی استحاله مارتنزیتی	۱۵
۱-۳-۱ بیان تغییر شکل با جبر خطی (پیش بینی ریاضی)	۱۵
۲-۳-۱ تغییر ساختار بدون نفوذ: ساختارهای منطق و تغییر شکل شبکه	۱۷
۳-۳-۱ ضرورت برش نامتغیر شبکه ای	۲۰
۴-۳-۱ دوقلویی تغییر شکل	۲۱
۵-۳-۱ نظریه های کریستالوگرافی مارتنزیت	۲۴
۴-۱ مارتنزیت خود انطباق ده	۲۵
۵-۱ مدل ریاضی استحاله مارتنزیتی	۲۸
۶-۱ تاثیر تنش بر روی دماهای تغییر فاز	۳۱
۷-۱ ترمودینامیک استحاله مارتنزیتی	۳۴
فصل دوم: اثر حافظه داری و پدیده سوپر الاستیسیته	۴۰
۱-۲ استحاله مارتنزیتی ایجاد شده با تنش و پدیده سوپر الاستیسیته	۴۰
۲-۲ اثر حافظه داری یک طرفه	۴۲
۱-۲-۲ تغییرات ماکروسکوپی	۴۲
۲-۲-۲ تغییرات میکروسکوپی	۴۳
۳-۲-۲ رشد جهات مارتنزیتی	۴۴
۳-۲ شرایط مورد نیاز برای حافظه داری و سوپر الاستیسیته	۴۶
۴-۲ اثر حافظه داری دو طرفه	۴۹
۵-۲ رفتار لاستیک مانند	۵۰
۶-۲ استحاله فاز R -	۵۱

فصل سوم: آلیاژهای حافظه دار نیکل - تیتانیوم	۵۴
۱-۳ استحاله مارتنزیتی در آلیاژهای Ti-Ni	۵۴
۲-۳ خواص مکانیکی آلیاژهای Ti-Ni	۵۸
۳-۳ فاکتورهای تأثیرگذار بر M^s آلیاژهای حافظه دار	۶۱
۱-۳-۳ تعادل بین رسوبات Ti_3Ni_4 و زمینه Ti Ni	۶۲
۲-۳-۳ تأثیر عنصر آلیاژی سوم بر M^s	۶۷
۴-۳ تأثیر عملیات تیمومکانیکی بر خواص حافظه داری و سوپرالاستیسیته آلیاژهای نیکل-تیتانیوم	۷۰
۵-۳ تولید و شکل دهی آلیاژ Ti-Ni	۷۱
فصل چهارم: آلیاژهای حافظه دار پایه مس	۷۵
۱-۴ دیاکرام فاز آلیاژهای پایه مس	۷۶
۲-۴ خواص مکانیکی	۷۹
۱-۲-۴ اثر حافظه داری و سوپرالاستیسیته	۷۹
۲-۲-۴ اثر حافظه داری معکوس	۸۰
۳-۲-۴ رفتار لاستیک مانند	۸۱
۴-۲-۴ عوامل تأثیرگذار بر خواص حافظه داری آلیاژهای پایه مس	۸۱
۳-۴ تأثیر پایداری مکانیکی و حرارتی بر ویژگی حافظه داری	۸۲
۱-۳-۴ تأثیر چرخه های حرارتی	۸۲
۲-۳-۴ تغییر شکل های متوالی و خستگی	۸۵
۳-۳-۴ تأثیر پیرسازی	۸۶
۴-۴ آلیاژهای حافظه دار دما بالای پایه مس	۹۰
۵-۴ تولید آلیاژهای حافظه دار پایه مس	۹۲
فصل پنجم: آلیاژهای حافظه دار آهنی	۹۶
۱-۵ ساختار کریستالی مارتنزیت در آلیاژهای حافظه دار آهنی	۹۷
۲-۵ خواص حافظه داری در آلیاژهای با مارتنزیت E	۱۰۱

- ۱-۲-۵ شرایط مورد نیاز برای خواص حافظه‌داری خوب ۱۰۱
- ۲-۲-۵ تأثیر عناصر آلیاژی ۱۰۱
- ۳-۲-۵ تأثیر انرژی نقص در چیده شدن ۱۰۳
- ۴-۲-۵ محاسبه انرژی نقص در چیده شدن ۱۰۳
- ۵-۲-۵ تعیین ترکیب ۱۰۴
- ۳-۵ آلیاژهای حافظه‌دار Fe-Mn-Si ۱۰۶
- ۱-۳-۵ رفتار تغییر شکل آلیاژهای حافظه‌دار پایه Fe-Mn-Si ۱۰۸
- ۲-۳-۵ تأثیر ریزساختار بر اثر حافظه‌داری آلیاژهای حافظه‌دار Fe-Mn-Si ۱۱۳
- ۴-۵ اثر حافظه‌داری در آلیاژهای با مارتنزیت FCT ۱۱۷
- ۱-۴-۵ آلیاژهای آهن-پلاتین ۱۱۷
- ۵-۵ حافظه‌داری در آلیاژهای با ساختار مارتنزیتی ۱۲۰
- ۱-۵-۵ ویژگی‌های مارتنزیت ورقه‌ای نازک ۱۲۰
- ۲-۵-۵ آلیاژهای Fe-Ni-Co-Ti ۱۲۲
- ۳-۵-۵ اثر حافظه‌داری همراه با مارتنزیت ورقه‌ای با هیترزین حرارتی بزرگ ۱۲۳
- ۴-۵-۵ اثر حافظه‌داری همراه با مارتنزیت ورقه‌ای با هیستریزین حرارتی کوچک ۱۲۴
- ۵-۵ تولید آلیاژهای حافظه‌دار آهنی ۱۲۶
- فصل ششم: پلیمرهای حافظه‌دار ۱۳۰
- ۱-۶ مقایسه بین آلیاژهای حافظه‌دار و پلیمرهای حافظه‌دار ۱۳۱
- ۲-۶ اثر حافظه‌داری در پلیمرهای حافظه‌دار ۱۳۳
- ۱-۲-۶ پیشگویی رفتار حافظه‌داری ۱۳۵
- ۳-۶ طبقه بندی پلیمرهای حافظه‌دار ۱۳۶
- ۱-۳-۶ ترموست شیشه‌ای با اتصالات عرضی شیمیایی (گروه I) ۱۳۷
- ۲-۳-۶ الاستومرهای نیمه کریستالی با اتصالات عرضی شیمیایی (گروه II) ۱۴۰
- ۳-۳-۶ ترموپلاستیک‌های با اتصالات عرضی فیزیکی (گروه III) ۱۴۱

- ۴-۳-۶ کوپلیمر بلوکی با اتصالات عرضی فیزیکی (گروه IV) ۱۴۲
- ۴-۶ عوامل تأثیر گذار بر اثر حافظه‌داری در پلیمرهای حافظه‌دار ۱۴۵
- ۴-۶-۱ تأثیر برنامه‌ریزی: (ترتیب در روش تغییر شکل) ۱۴۵
- ۴-۶-۲ تأثیر شرایط اعمال فرآیند ساخت ۱۴۵
- ۴-۶-۵ اثر حافظه‌داری فعال شونده با گرما ۱۴۶
- ۴-۶-۵-۱ پلی نوریون ۱۴۷
- ۴-۶-۵-۲ پلی ایزوپرن ۱۴۸
- ۴-۶-۳ استایرن-بوتادین کوپلیمر ۱۵۰
- ۴-۶-۴ پلی اتیلن ۱۵۱
- ۴-۶-۵ پلی اورتان ۱۵۲
- ۴-۶-۶ اثر حافظه‌داری فعال شونده با نور ۱۵۳
- ۴-۶-۷ اثر حافظه‌داری ایجاد شده با خاصیت مغناطیسی ۱۵۷
- ۴-۶-۸ اثر حافظه‌داری ایجاد شده با مواد شیمیایی ۱۵۷
- ۴-۶-۹ ژل‌های حافظه‌دار ۱۶۰
- فصل هفتم: کاربردهای مواد حافظه‌دار ۱۶۳
- ۷-۱ کاربردهای سوپرالاستیک ۱۶۴
- ۷-۲ کاربردهای بازیابی مقید ۱۶۶
- ۷-۳ بازیابی آزادانه ۱۷۰
- ۷-۴ کاربرد آلیاژهای حافظه‌دار به عنوان عملگر ۱۷۱
- ۷-۴-۱ فواید و مضرات آلیاژهای حافظه‌دار به عنوان عملگر ۱۷۱
- ۷-۴-۲ طراحی عملگرهای حافظه‌دار ۱۷۵
- ۷-۵ کاربردهای پزشکی آلیاژهای حافظه‌دار ۱۸۰
- ۷-۶ کاربردهای رو به گسترش آینده ۱۸۷
- پوست ۱۹۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تحول در مواد مرسوم

امروزه رشد شتابان تکنولوژی سبب شده که مواد مرسوم دیگر توانایی پاسخگویی به نیازهای تکنولوژیک بشر را نداشته باشند. پدیده‌هایی از قبیل سیستم‌های خودکار، حسگرها و عملگرها^۱ از نیازهای اصلی در این راستا است. این سیستم‌ها نیازمند موادی هستند که بتوانند بصورت مستقل متغیرهای ورودی، از قبیل دما، تنش و یا کرنش را حس کرده و از سوی دیگر بتوانند در برابر این تغییرات از خود عکس‌العمل نشان داده و خصوصیات خود را در برابر این شرایط همیشه نمایند. به این مواد و ساختارها، هوشمند گفته می‌شود. یکی از اجزای اصلی این مواد و ساختارها، مواد حافظه‌دار هستند که قابلیت عملکرد مستقل را به ساختار خواهند داد.

¹activator

۲-۱ مواد حافظه دارچیستند

مواد حافظه دار گروه منحصر به فردی از مواد هوشمند هستند که می‌توانند کرنش‌های مشخص ایجاد شده در آن‌ها را در اثر گرم شدن تادمای مشخصی بازیابی کنند. این مواد می‌توانند بارها و بارها پس از اعمال تغییر شکل در آن‌ها، شکل اولیه خود را بازیابی کنند. همچنین این مواد در دماهای بالا دارای ویژگی منحصر به فرد دیگری به نام سوپراالاستیسیته هستند، که در اثر آن این مواد توانایی بازیابی کرنش‌های بزرگی (تا حدود ۱۸٪) که در اثر اعمال بار در آنها ایجاد شده را پس از باربرداری دارند [۱]. آلیاژهای حافظه‌دار یکی از بهترین انواع مواد حافظه‌دار هستند که در اغلب موارد مورد بررسی دقیقی قرار گرفته‌اند. آلیاژهای حافظه‌دار دو فاز پایدار دارند. فاز دما بالا، که فاز سخت است و آستنیت نامیده می‌شود (که از نام یک متالورژیست انگلیسی به نام ویلیام چندلو آستن گرفته شده است) و فاز دما پایین که فاز نرم‌تر بوده و مارتنزیت نامیده می‌شود (که از نام یک متالوگرافر قدیمی آلمانی به نام آدلف مارتنز گرفته شده است). شکل ۱-۱ و شکل ۲-۱ برخی رفتارهای این آلیاژها را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود، از این آلیاژ آنتن فضایی ساخته شده است که پس از استقرار ماهواره بصورت خودکار باز می‌شود و به شکل مورد نظر در می‌آید. در شکل (۲-۱) نیز تبدیل فازی این ساختار مشاهده می‌شود.