بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

مواد پیشرفته

جلسه دوازدهم

(آلیاژهای حافظه دار)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

آلیاژهای حافظه دار

مقدمه

اتومبیلی تصادف می کند. راننده با خاطری آسوده پیاده می شود و مایعی را بر بدنه اتومبیل خود می ریزد. هیچ اثری از تصادف بر بدنه ماشین دیده نمی شود.

در این رویداد آن چه شگفت انگیز به نظر می رسد چیست؟

مایع معجزه گر یا بدنه استثنایی

اما این مایع معجزه گر چیزی جز آب نیست. آن چه می تواند این رویا را به واقعیت تبدیل کند، ماده ای استثنایی است که به آن ماده حافظه دار اطلاق می شود.

آلیاژهای حافظه دار

آلیاژهای حافظه دار (Shape Memory Alloys)، گروهی از مواد هستند که بیش از 5 دهه از کشف آنها نمی گذرد.

آلیاژهای حافظه دار موادی با ترکیب شیمیایی خاص می باشند که اگر تحت عملیات حرارتی مناسب قرار گیرند، می توانند در دماهای پایین تغییر شکل پلاستیک داده و هنگام رسیدن به دماهای بالا به شکل و اندازه اولیه خود بازگردند.

این گرم و سردشدن می تواند در دفعات متوالی انجام شود.

آلیاژهای حافظه دار از قدرت و توانایی یادآوری شکل اولیه خود پس از تغییرشکل زیاد برخوردار هستند.

آلیاژهای حافظه دار

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

نخستین بار آلیاژهای حافظه دار در نمایشگاه بروکسل در اوایل دهه 60 به نمایش درآمدند.

در این نمایشگاه دیوید لیبرمان میله ای از آلیاژ حافظه دار طلا - کادمیم را به نمایش گذاشت.

اما پدیده حافظه شکلی (یا خاطره شکلی) در آلیاژها که یادآوری مکانیکی نیز نام دارد، نخستین بار در سال 1932 توسط آرنه اولاندر پژوهشگر سوئدی بر روی آلیاژهای طلا - کادمیم مشاهده شد.

دلیل اصلی توجه به این آلیاژها تغییر شکل آنها و برگشت به حالت اولیه (شکل اولیه) است.

آلیاژهای حافظه دار

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

در سال 1953 آلیاژی از ایندیم - تیتانیم با خاصیت حافظه داری تهیه شد.

در سال 1962 بهلر و همکارانش در مرکز تحقیقات نیروی دریایی آمریکا موفق به کشف آلیاژهای پرکاربرد و ارزشمند نیکل - تیتانیم شدند که به نایتینول (Nitinol) معروف هستند.

نایتینول نخستین مواد حافظه داری بودند که به صورت جدی وارد عرصه محصولات صنعتی شدند.

در سال 1970 نیز مکانیزم حافظه دار شدن آلیاژهای پایه مس کشف شد.

آلیاژهای حافظه دار

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

از سال 1980 به بعد تولیدات تجاری و پژوهش درخصوص آلیاژهای حافظه دار پیشرفت قابل توجهی کرد.

این پژوهش ها همچنان ادامه دارد و هر سال به تعداد محصولاتی که با استفاده از این مواد تولید می شوند، افزوده می شود.

بدیهی است که با تحقیقات بیشتر در زمینه اثر حافظه داری تعداد بیشتری از سیستم های آلیاژی با این خاصیت کشف خواهند شد.

در سال های اخیر آلیاژهای حافظه دار بر پایه آهن نیز کشف شده اند.

آلیاژهای حافظه دار

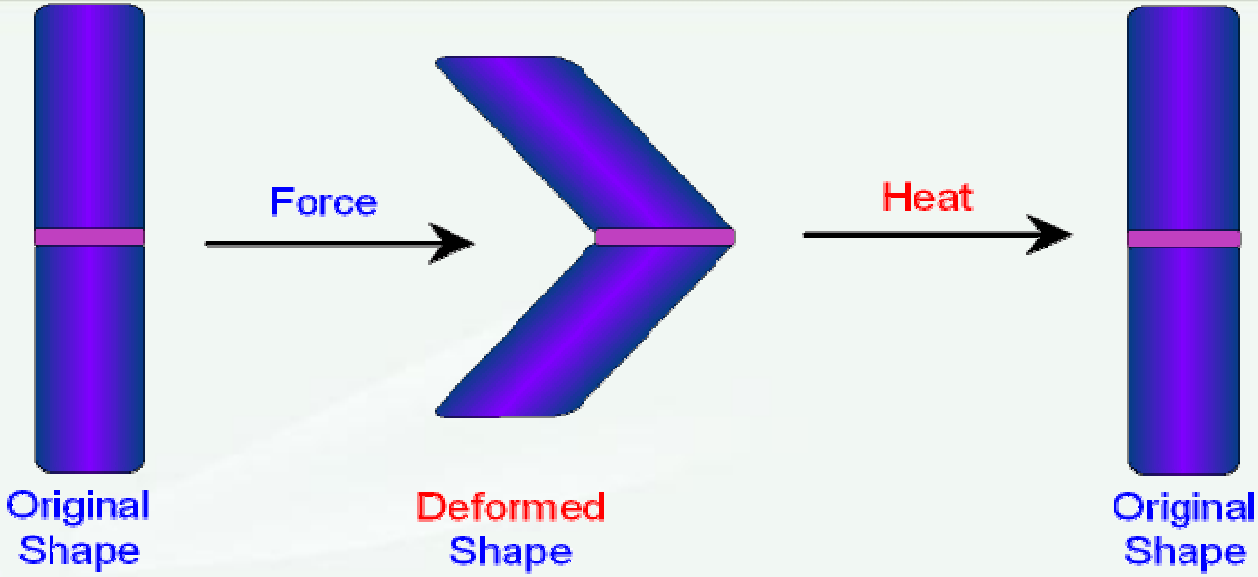
تعریف آلیاژهای حافظه دار

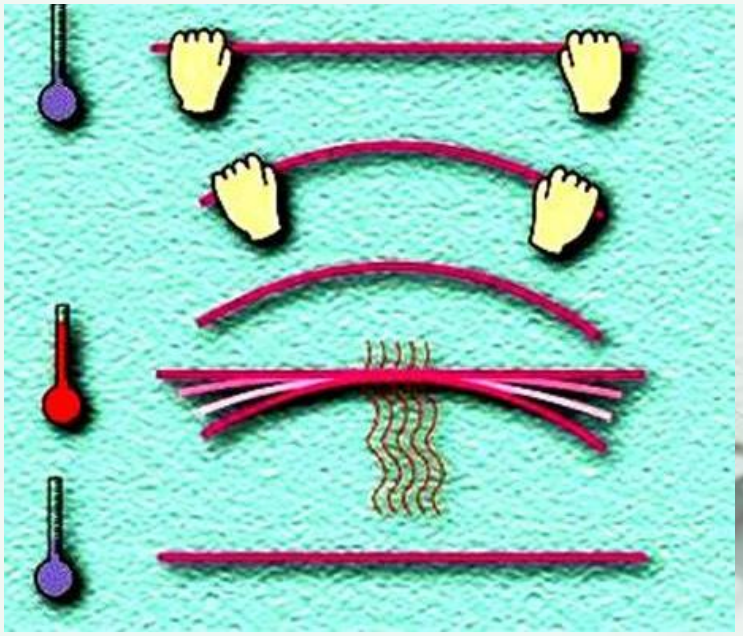
اصطلاح آلیاژهای حافظه دار به گروهی از مواد فلزی اطلاق می شود که اگر پس از تغییر شکلی که به آنها اعمال می شود، تحت فرآیند حرارت دهی یا اعمال تنش زیاد قرار گیرند، دوباره به شکل اولیه خود بازمی گردند.

منشا حافظه داری در شکل گیری و ساختار فازی به نام مارتنزیت نهفته است.

در آلیاژهای حافظه دار، تبدیل فاز مارتنزیتی دوقلویی شده به فاز آستیت روی می دهد.

آلیاژهای حافظه دار





آلیاژهای حافظه دار

اصول ایجاد آلیاژهای حافظه دار

ابتدا فاز آستنیت وجود دارد که با سرد کردن، به ساختار مارتنزیتی دوقلویی تبدیل می شود. سپس با اعمال تنش برشی بر روی صفحات دوقلویی (تغییر شکل مارتنزیت دوقلویی)، مارتنزیت دوقلویی به مارتنزیت با مکانیزم لغزشی تبدیل می شود (تغییر مکان مرزهای دوقلویی شده). در این حالت برای بازیابی شکل اولیه مارتنزیت باید به آستنیت تبدیل شود:

- افزایش دما: با افزایش دما مارتنزیت تشکیل شده به صورت پیوسته منقبض شده و ناپدید می شود.
- حذف تنش: در این حالت مشابه تغییر حالت ترموالاستیکی با حذف تنش تغییر حالت پیوسته روی داده و مارتنزیت ناپدید می شود.

آلیاژهای حافظه دار

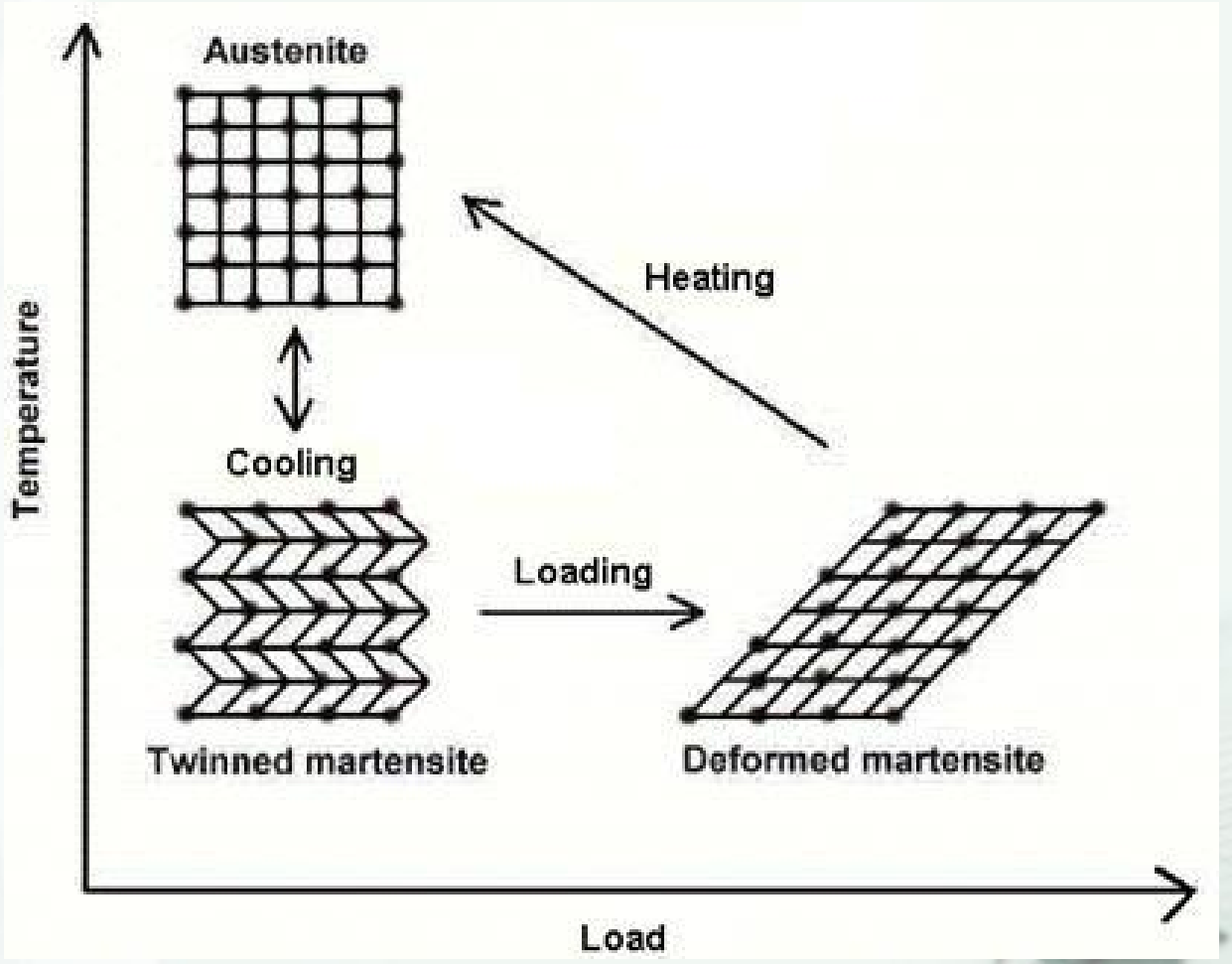
اصول ایجاد آلیاژهای حافظه دار

مکانیزم اصلی ایجاد اثر حافظه داری به تحولات مارتنزیتی در آلیاژهای خاص برمی گردد.

ابتدا فاز آستنیت وجود دارد که با سردکردن، به ساختار مارتنزیتی دوقلویی تبدیل می شود. سپس با اعمال تنش برشی بر روی صفحات دوقلویی، مارتنزیت دوقلویی به مارتنزیت با مکانیزم لغزشی تبدیل می شود. این ماده در اثر گرم کردن بعدی به ساختار اولیه یا فاز آستنیت تبدیل می شود.

آلیاژهای حافظه دار

اصول ایجاد آلیاژهای حافظه دار



آلیاژهای حافظه دار

اصول ایجاد آلیاژهای حافظه دار

در مجموع مبنای وقوع پدیده حافظه داری، انجام استحاله مارتنزیتی است، به طوری که این آلیاژها پس از اعمال فرآیندهای حرارتی یا مکانیکی با طی یک استحاله مارتنزیتی و برگشت به ساختار اولیه می توانند حافظه اصلی خود را که در ساختار آستنیتی بوده است، کسب نمایند.

آلیاژهای حافظه دار

مزایای آلیاژهای حافظه دار

- کرنش قابل برگشت زیاد
- سادگی نحوه عملکرد
- قابلیت اعتماد زیاد
- پایداری و قابلیت جذب بالای ارتعاشات مکانیکی
- شرایط کار ساده و کنترل دقیق
- زمان پاسخگویی سریع

آلیاژهای حافظه دار

معایب آلیاژهای حافظه دار

- پیری و خستگی حرارتی در آلیاژهای حافظه دار دوطرفه (حرارتی) سبب واماندگی آنها می شود.
- محدودیت دمای کاری آلیاژهای حافظه دار پایه مس

آلیاژهای حافظه دار

طبقه بندی آلیاژهای حافظه دار براساس ترکیب شیمیایی

- آلیاژهای حافظه دار تجاری
  - خانواده آهنی (نظیر فولاد زنگ نزن حاوی Ni-Cr-Mn-Si)
  - خانواده غیرآهنی شامل آلیاژهای Ni-Ti و آلیاژهای پایه مس

- کامپوزیت های حافظه دار (نظیر کامپوزیت های زمینه اپوکسی با الیاف حافظه دار و کامپوزیت های زمینه فلزی با تقویت کننده حافظه دار)

آلیاژهای حافظه دار

ترکیب شیمیایی برخی از مهمترین آلیاژهای حافظه دار پایه آهنی و غیرآهنی

آلیاژ	ترکیب شیمیایی (٪)	آلیاژ	ترکیب شیمیایی (٪)
Cu-Zn	۳۸/۵-۴۱/۵	Fe-Pt	≈۲۵Pt
Cu-Zn-X	X=Si,Sn,Al,Ga	Fe-Pt	≈۳۰Pt
Cu-Al-Ni	۳-۴/۵Ni و ۲۸-۲۹Al	Fe-Ni-Co-Ti	۳۳Ni-۱۰Co-۴Ti
Cu-Au-Zn	۴۵-۴۷/۵Zn و ۲۳-۲۸Au	Fe-Ni-C	۳۱Ni-۰/۴C
Ni-Al	۳۶-۳۸/۵ Al	Fe-Mn-Si	۳۰Mn-۵Si
Ti-Ni	۴۹-۵۱/۵ Ni	Fe-Cr-Ni-Mn-Si-Co	≈۱۰Cr ،<۱۰Ni ،<۱۵Mn ،<۷Si ،<۱۵Co

آلیاژهای حافظه دار

مقایسه خواص آلیاژهای حافظه دار پایه نیکل - تیتانیم، پایه مس و پایه فولاد زنگ نزن

خواص	واحد	آلیاژ نیکل-تیتانیم	آلیاژ پایه مس	فولاد زنگ نزن
استحکام تسلیم	MPa	۸۰۰	۳۰۰	۱۱۰۰
استحکام کششی	MPa	۱۱۰۰	۱۲۰۰	۱۶۰۰
ازدیاد طول نسبی	%	۵۰	۱۵	۳۰
خاصیت حافظه داری	%	۸	۶	۳
تنش قابل بازگشت	MPa	۴۰۰	۲۰۰	۳۰۰
قابلیت ماشین‌کاری	---	ضعیف	ضعیف	خوب
مقاومت به خوردگی	---	خوب	ضعیف	عالی
قیمت	---	بالا	متوسط	کم
سازگاری با بدن	---	عالی	ضعیف	متوسط

آلیاژهای حافظه دار

طبقه بندی آلیاژهای حافظه دار براساس نوع حافظه داری

- آلیاژهای حافظه دار یک طرفه (مکانیکی - حرارتی)
- آلیاژهای حافظه دار دو طرفه (حرارتی)
- آلیاژهای حافظه دار دو طرفه سوپرالاستیک (مکانیکی)

آلیاژهای حافظه دار

طبقه بندی آلیاژهای حافظه دار براساس نوع حافظه داری

حافظه داری یک طرفه پس از طی چرخه ای شامل سرد کردن و تغییر شکل مکانیکی آلیاژ در حالت مارتنزیتی و سپس با گرم کردن آن جهت تبدیل به حالت آستنیتی رخ می دهد.

در حافظه داری دوطرفه با گرم کردن و سردکردن یا اعمال نیروی مکانیکی فرآیند تغییر شکل صورت می گیرد.

آلیاژهای حافظه دار

کاربردهای آلیاژهای حافظه دار

اگرچه تعداد زیادی از آلیاژها، اثر حافظه داری از خود نشان می دهند ولی در حال حاضر آلیاژهای با کاربرد گسترده تجاری شامل آلیاژهای نیکل-تیتانیم و آلیاژهای پایه مس نظیر Cu-Zn-Al و Cu-Al-Ni می باشند.

این آلیاژها از کاربردهای متعددی در لوازم خانگی، صنایع الکترونیک، تجهیزات پزشکی، هوانوردی، صنایع خودرو، روبوت ها و صنایع نظامی برخوردار هستند.

آلیاژهای حافظه دار

تقسیم بندی کاربردهای آلیاژهای حافظه دار

دسته اول

نوع کاربرد: بازیابی آزاد شکل اولیه

عملکرد آلیاژ حافظه دار: ایجاد حرکت (یا کرنش)

نمونه های کاربرد: قاب عینک، آنتن های خودبرافرانده، فیلتر سیاهرگ، اسباب بازی و اشکال و مجسمه های فانتزی

آلیاژهای حافظه دار

تقسیم بندی کاربردهای آلیاژهای حافظه دار

دسته دوم

نوع کاربرد: بازیابی شکل اولیه تحت شرایط مقید شده

عملکرد آلیاژ حافظه دار: ایجاد تنش

نمونه های کاربرد: انواع کوپلینگ ها، گیره ها، پرچ های اتصال و بست ها، حلقه های فلزی جدار نازک جهت اتصال اجزای موشک ها و کلیپس مورد استفاده در جراحی

آلیاژهای حافظه دار

تقسیم بندی کاربردهای آلیاژهای حافظه دار

دسته سوم

نوع کاربرد: محرک های حرارتی و الکتریکی

عملکرد آلیاژ حافظه دار: ایجاد کار

نمونه های کاربرد: شیر قطع و وصل روغن در اتومبیل، موتورهای حالت جامد، بازوی روبات ها، بازوی بازکننده دریچه چراغ مه شکن، ترموستات شیر رادیاتورها، انواع محرک های لوله ای و پیچشی، بازوی هواکش گلخانه، میکروپمپ کلیه مصنوعی، کمک فنرهای ماشین، لولای پنجره

آلیاژهای حافظه دار

تقسیم بندی کاربردهای آلیاژهای حافظه دار

دسته چهارم

نوع کاربرد: رفتار سوپرپلاستیک

عملکرد آلیاژ حافظه دار: ایجاد کرنش زیاد

نمونه های کاربرد: شیرفنرهای ذخیره انرژی سینیتیکی، سیم های ارتودونسی در دندانپزشکی