Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

آلیاژهای حافظه دار و مواد هوشمند

جلسه سوم
(آلیاژهای حافظه دار – ۱)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

Company Logo

آلیاژهای حافظه دار

فهرست مطالب

مقدمه

معرفی آلیاژهای حافظه دار

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

انواع آلیاژ حافظه دار از نظر ترکیبات شیمیایی

مزایا و معایب آلیاژهای حافظه دار

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 یا خاطره دار یا حافظه شکلی (Shape Memory Alloy=SMA) اطلاق می شود.

آلیاژهای حافظه دار

معرفی آلیاژهای حافظه دار

آلیاژهای حافظه‌دار یکی از انواع مواد هوشمند هستند که با توجه به زمان کوتاهی که از کشف خواص آن‌ها می‌گذرد، به دلیل رفتارهای خاصی که از خود نشان می‌دهند، مورد توجه قرار گرفته و در کاربردهای گوناگون به کار گرفته شده‌اند. این مواد در عملگرهای نیرویی، سنسورهای حرارتی، ربات‌ها، آنتن‌ها و کنترل سطوح در صنایع هوافضا کاربردهای فراوانی یافته‌اند. تحقیقات انجام شده بر روی کامپوزیت‌های حافظه دار، در سال‌های اخیر شتاب بیشتری گرفته است و صنایع مختلف به انجام تحقیقات پیرامون روش‌های استفاده از آن روی آورده اند.

آلیاژهای حافظه دار

معرفی مواد حافظه دار

مواد هوشمند آن دسته از موادی هستند که می توانند به تغییرات محیط به بهترین شکل ممکن پاسخ داده و رفتار خود را نسبت به تغییرات تنظیم نمایند. این تعریف با مشخصات مواد محرک (سازگاری سازه با محیط) هماهنگی دارد.

به طور کلی مواد حافظه دار موادی هستند که دارای چند عملکرد یا به عبارتی دیگر هوش ذاتی هستند که در ساختار آنها بوجود آمده است.

آلیاژهای حافظه دار

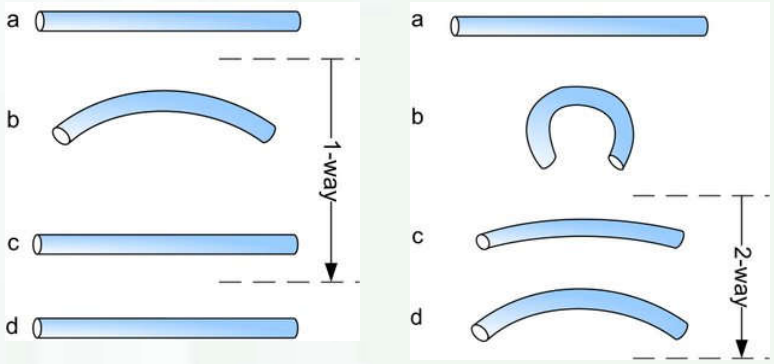
معرفی مواد حافظه دار

- ✓ مواد حافظه دار از زمره مواد هوشمند محرک می باشند.
- ✓ مواد محرک موادی هستند که باعث سازگاری سازه با محیط خود می شوند. این مواد می توانند شکل، سفتی، مکان، فرکانس طبیعی و سایر مشخصات مکانیکی را در پاسخ به دما و یا میدان های الکترومغناطیسی تغییر دهند.

آلیاژهای حافظه دار

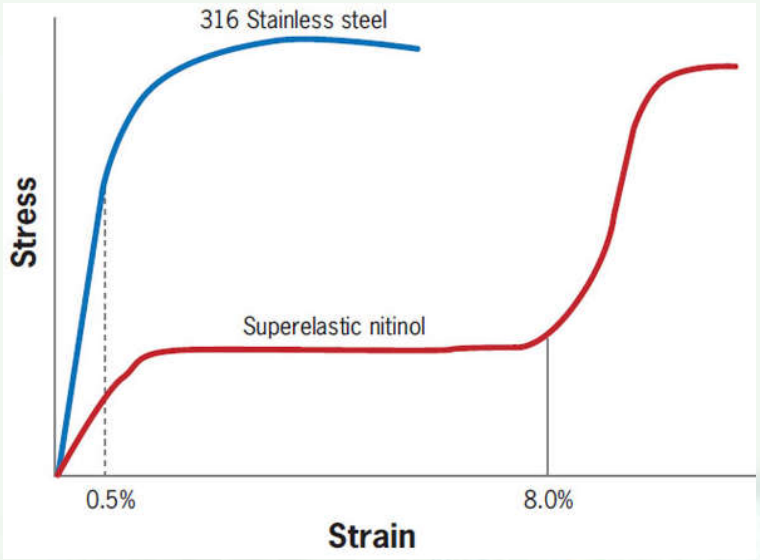
معرفی آلیاژهای حافظه دار

- ✓ دسته‌ای از مواد هوشمند با خواص منحصر بفرد ترمومکانیکی
  - رفتار حافظه‌داری
  - رفتار سوپرالاستیسیته



رفتار حافظه‌داری

قابلیت بازگشت به شکل اولیه در اثر تغییرات دمایی

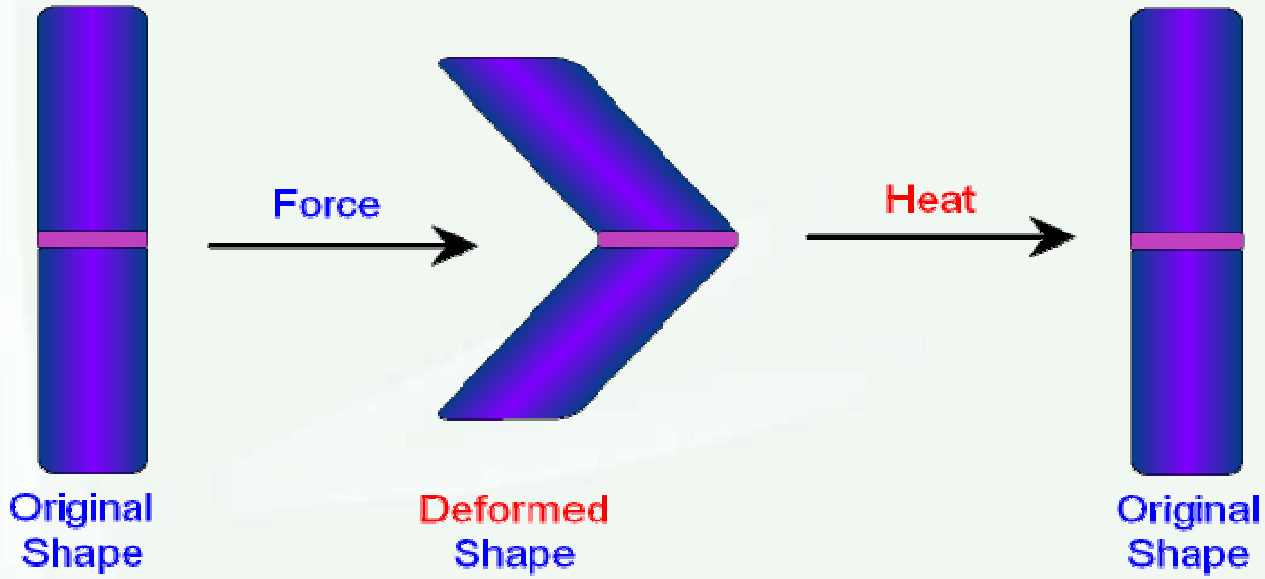


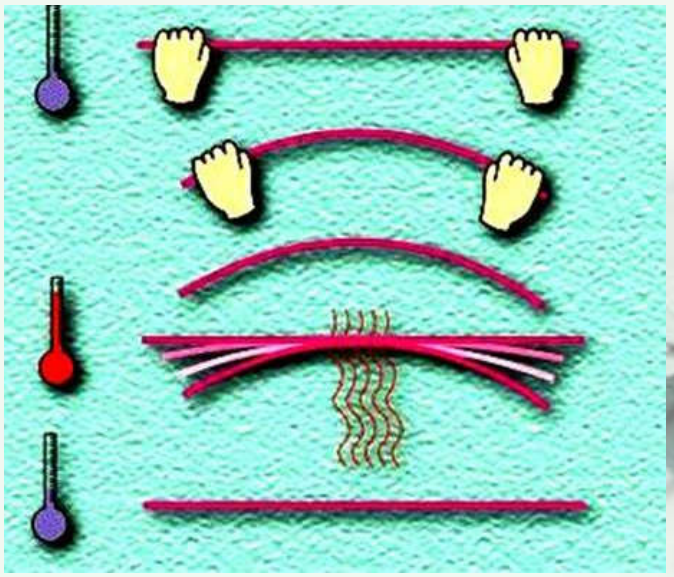
رفتار سوپرالاستیسیته

قابلیت تحمل کرنش‌های بازگشت پذیر بسیار بزرگ
(تا حدود ۸٪)

آلیاژهای حافظه دار

رفتار حافظه‌داری





Company Logo

آلیاژهای حافظه دار

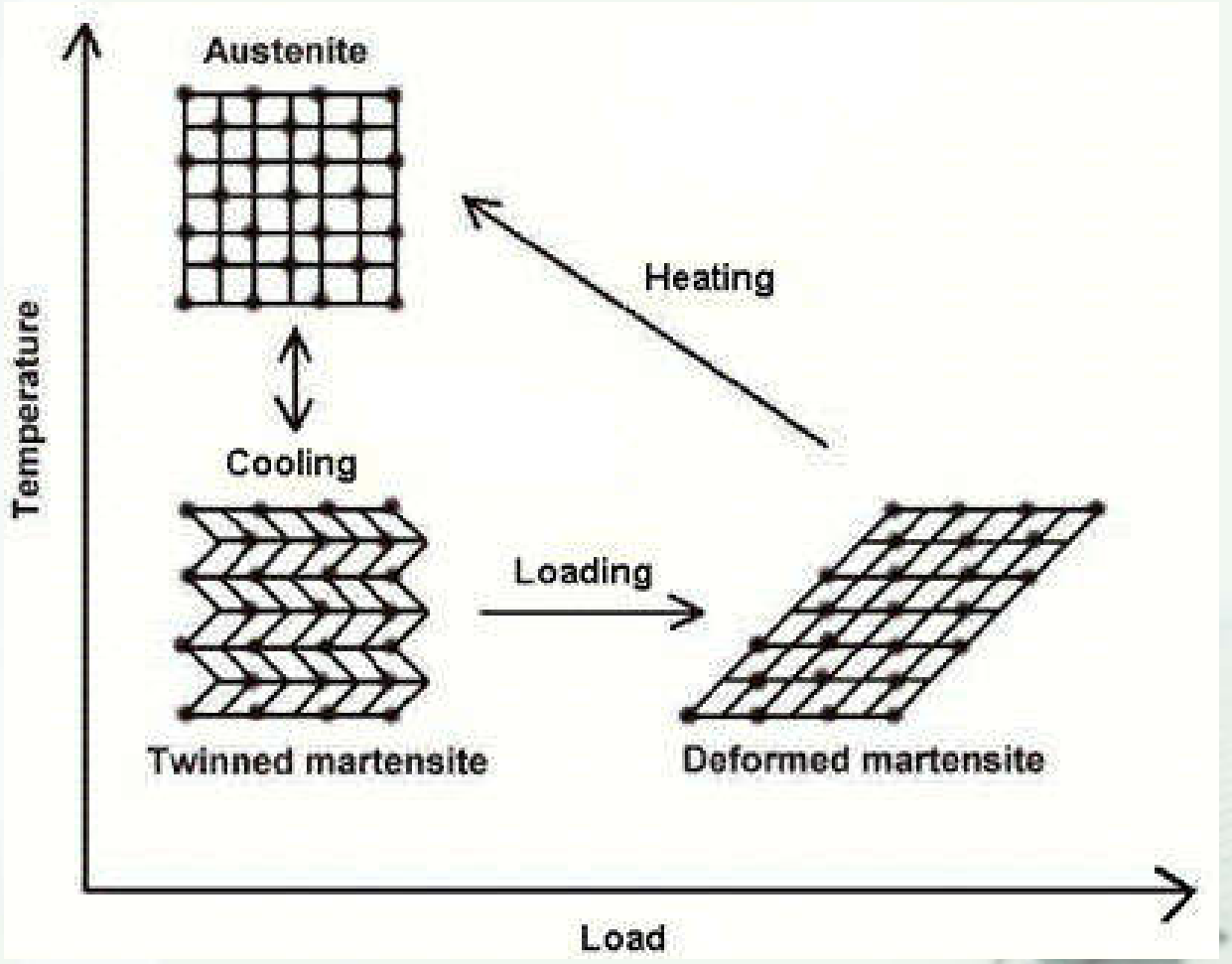
اصول ایجاد آلیاژهای حافظه دار

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 (تغییرشکل 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.

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

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

نخستین بار آلیاژهای حافظه دار در نمایشگاه بروکسل در اوایل دهه ۶۰ به نمایش درآمدند.

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

اما پدیده حافظه شکلی در آلیاژها که یادآوری مکانیکی نیز نام دارد، نخستین بار در سال ۱۹۳۲ توسط آرنه اولاندر پژوهشگر سوئدی بر روی آلیاژهای طلا-کادمیم مشاهده شد.

دلیل اصلی توجه به این آلیاژها تغییرشکل آنها و برگشت به حالت اولیه است.

آلیاژهای حافظه دار

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

در سال ۱۹۵۳، آلیاژی از ایندیم- تیتانیم (In-Ti) با خاصیت حافظه داری ساخته شد.

در سال ۱۹۶۲، بهلر و همکارانش در مرکز تحقیقات نیروی دریایی آمریکا موفق به کشف آلیاژهای پرکاربرد و ارزشمند نیکل- تیتانیم (Ni-Ti) شدند که به نایتینول (Nitinol) معروف هستند.

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

در سال ۱۹۷۰ نیز مکانیزم حافظه دار شدن آلیاژهای پایه مس کشف شد.

آلیاژهای حافظه دار

تاریخچه آلیاژهای حافظه دار

از سال ۱۹۸۰ به بعد تولیدات تجاری و پژوهش در این خصوص پیشرفت قابل توجهی پیدا 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 چند دهه اخیر آلیاژهای حافظه دار بر پایه آهن نیز کشف شده اند.

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)

مواد حافظه دار

طبقه بندی آلیاژهای حافظه دار براساس ترکیب شیمیایی

اصلی ترین آلیاژها با خاصیت حافظه داری به شرح زیر هستند:

Ni–Ti, Cu–Zn, Cu–Zn–Al,
Cu–Zn–Ga, Cu–Zn–Sn, Cu–Zn–Si,
Cu–Al–Ni, Cu–Au–Zn, Cu–Sn,
Au–Cd, Ni–Al, Fe–Pt

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

مزایای آلیاژهای حافظه دار

- ✓ خرنش 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 دو طرفه (حرارتی) سبب واماندگی آنها می شود.
- ✓ محدودیت دمای کاری آلیاژهای حافظه دار پایه مس

آلیاژهای حافظه دار

ویژگی های آلیاژهای حافظه دار

- ✓ مقاومت به خوردگی بالا
- ✓ مقاومت ویژه الکتریکی نسبتاً بالا
- ✓ خواص مکانیکی نسبتاً خوب
- ✓ شکل پذیری بالا
- ✓ قابلیت انطباق با بدن