



دانشنامه مرجع مهندسی ایران

Iran Engineering Reference Encyclopedia

www.Smsm.ir

بررسی ساختار و عملکرد آلیاژهای حافظه دار در پزشکی

بررسی ساختار و عملکرد آلیاژهای حافظه دار در پزشکی:

تاریخچه :

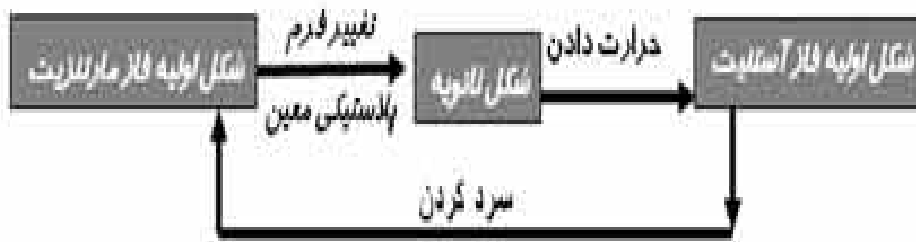
در سال ۱۹۳۲ مشاهدات ثبت شده درباره پدیده حافظه داری شکلی توسط **Read و Change** انجام شد. آنها وارون پذیری حافظه شکلی را در **AuCd** از طریق مطالعات فلز شناسی و تغییرات مقاومت آلیاژ ، بررسی کردند

در سال ۱۹۵۶ مشاهدات و نتایج تحقیقات مربوط به تز دکترای **Horbojen** در موضوع اثر حافظه دار در آلیاژ **Cu-Zn** منتشر شد. . در سال ۱۹۶۲ **Buhler** و همکارانش ، به بررسی پدیده حافظه داری شکلی در آلیاژ تیتانیم و نیکل که دارای اتمهای برابر می باشند پرداختند. در این هنگام تحقیق درباره متالورژی و کاربردهای 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 کاربردهای تجاری فراوان در صنایع ارائه دادند . از جمله کاربردهای مطرح شده ساخت کویلینگ توسط شرکت **Raychem** برای اتصال لوله های هیدرولیکی می باشد. که در صنایع هوایی و نیروی دریایی ایالات متحده و همچنین در حوزه های نفتی دریای شمال مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۸۰ میلادی **Micheal** و **Hawt** با انتشار مقاله ای از نتایج تحقیقات خودشان بر روی برنج آنرا به عنوان ماده جدید حافظه دار معرفی کردند.

مقدمه :

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 آستینی، 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.

۱- تغییر حالت های مارتنزیتی و پدیده حافظه دار شدن:

تغییر حالت متالورژیکی جامدات از دو طریق زیر امکان پذیر است .

(۱) حرکت و جابجایی اتم ها وابسته به درجه حرارت و زمان با تغییر در ترکیب شیمیایی فاز جدید نسبت به زمینه قبلی.

(۲) تغییر آرایش اتمی به صورت هماهنگ وابسته به دما و بدون وابستگی به زمان و هیچگونه تغییری در ترکیب شیمیایی فاز جدید نسبت به زمینه قبلی .

تغییر حالت های مارتنزیتی به طریق دوم مرتبط است و دارای مشخصات زیر است:

(۱) تغییر مکان به صورت شبه برشی می باشد و در آن اتم ها به صورت هماهنگ و گروهی جابجا می شود.

(۲) دیفوزیون اتمی در آن اتفاق نمی افتد.

رفتار حافظه دار شدن کاملاً به مشخصه اول مرتبط بوده و نظم اتم های آلیاژ نباید به هم بخورد.

۲- کریستالوگرافی مارتنزیتی:

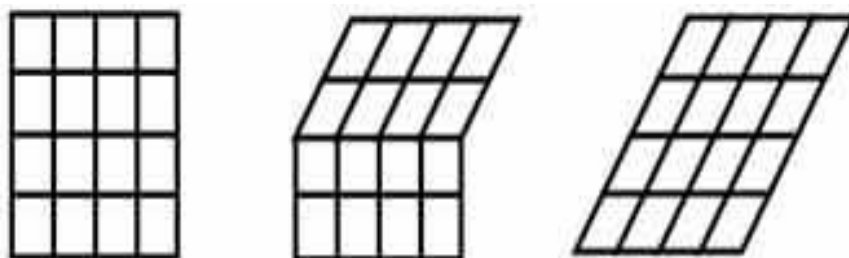
تغییر حالت تبدیل آستنیت به مارتنزیت از لحاظ کریستالوگرافی در سه مرحله قابل بررسی است .

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 ۲ 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 2) الف) فاز کاملاً آستنیتی ، ب) عبور فصل مشترک از

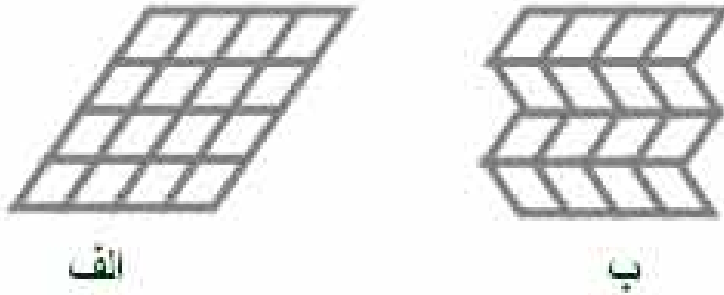
هر لایه اتمی ، ج) نمایش جابجایی جزئی اتمها.

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 :

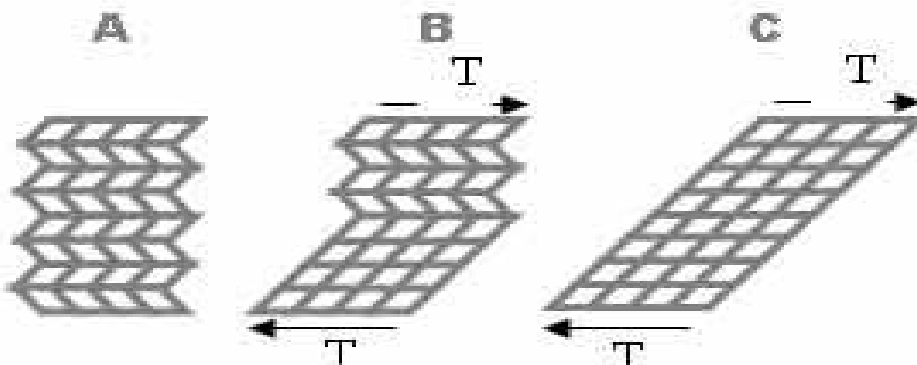
۱) مکانیزیم لغزش یافتن صفحات اتمی

۲) مکانیزیم تشکیل دوقلویی ها



شکل 3- الف) مکانیزم افزایش یافتن صفحات اتمی
ب) مکانیزم تشکیل دوقلویی

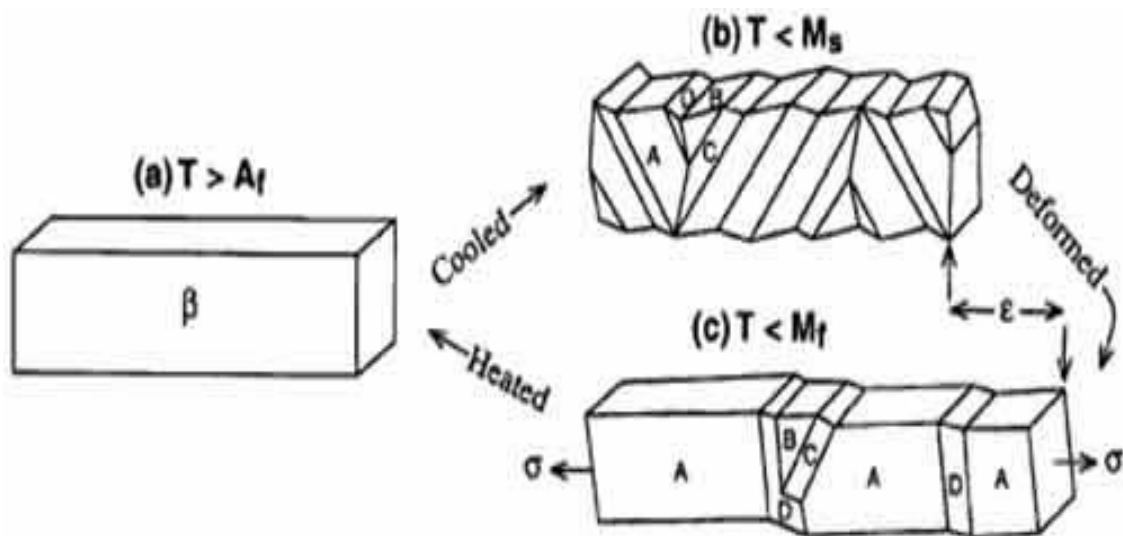
تصاویر نشان داده شده چگونگی انطباق فاز مارتنزیت بر فاز آستنیت را در هنگام جابجایی جزئی و گروهی آنها با حفظ شبکه کریستالی نشان می دهد. باید توجه داشت که لغزش صفحات اتمی به علت شکسته شدن باند های اتمی بعنوان مکانیزم تغییر فرم پلاستیک دائم محسوب می شود، در صورتی که در مکانیزم دوقلویی به علت انرژی پایین 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 4 - A) تشکیل دوقلویی B) حرکت و اریانت ها
و حذف و اریانت های مقابل با اضافه شدن تنش C)
حذف و تبدیل تمامی و اریانت ها به یک و اریانت و ذخیره
شکل کامل

شکل ۴) مرز دوقلویی را نمایش می دهد و هر یک از دوقلویی های دو طرف مرز دوقلویی یک و اریانت را شامل می شود. در صورت وارد کردن تنش برشی به مرز دوقلویی باعث حرکت یکی از واریانت ها شده و واریانت دیگری حذف می شود. (شکل ۴، B) این روند می تواند تا تبدیل تمامی

واریانت به یک واریانت واحد ادامه یابد (شکل ۴، C).
 بررسی پدیده حافظه داری در تک کریستال آستنیت در شکل ۵ نمایش داده شده است.



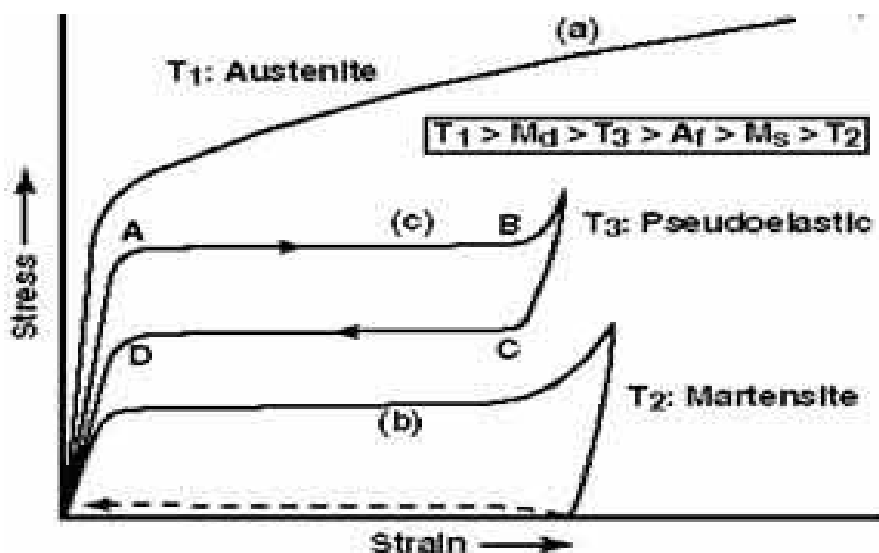
شکل ۵ - (a) تک کریستال آستنیت (b) تشکیل واریانت های A، B، C، D در اثر سرد شدن نمونه زیر دمای M_f (c) رشد واریانت A در اثر حذف واریانت های دیگر

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.

۳- رفتار ترمومکانیکی:

آلیاژ های حافظه دار در درجه حرارت های مختلف دارای خصوصیات مکانیکی بسیاری می باشند در شکل ۶ 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 ۶ - منحنی تنش - کرنش در دماهای متفاوت
(a) آستنیت ، (b) مارتنزیت ، (c) رفتار الاستیکی کاذب

۴- 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 آستنیت 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.

۵- 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 ۷ نمایش داده شده است.

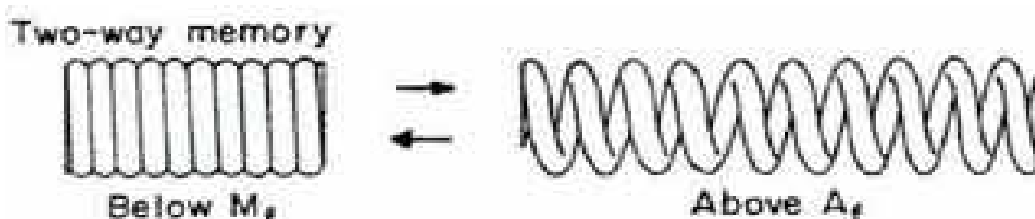


شکل ۷ - اثر حافظه دار یک طرفه

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 آلیاژهای حافظه دار دو طرفه در بازه معینی از دما امکان پذیر است . در شکل ۸ 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 ۸ - 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 آلیاژهای حافظه دار برای اینکه اثر حافظه دار دو طرفه از خود نشان دهند نیاز به انجام عملیات ترمومکانیکی خاصی بر روی آنها می باشد.

۶- ساخت آلیاژهای حافظه دار :

روش های اصلی ساخت آلیاژهای حافظه دار در دو گروه عمده قابل بررسی است:

(الف) ساخت آلیاژ به طریقه ذوب و ریخته گری با استفاده از کوره های القایی و کوره های مقاومتی

(ب) ساخت آلیاژ به طریقه متالورژی پودر

برای تولید آلیاژهای حافظه دار در تناژهای بالا و تجارتي ، از روش ذوب و ریخته گری استفاده می شود.

۷- کاربرد آلیاژهای حافظه دار در مهندسی پزشکی:

کاربرد پزشکی آلیاژهای 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 بکار گرفته 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 تیتانیم 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 $8.9/3 \text{ Kg/dm}^3$ 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

آبکاری فلزات ، تولید فولادهای آلیاژی و غیره می باشد.

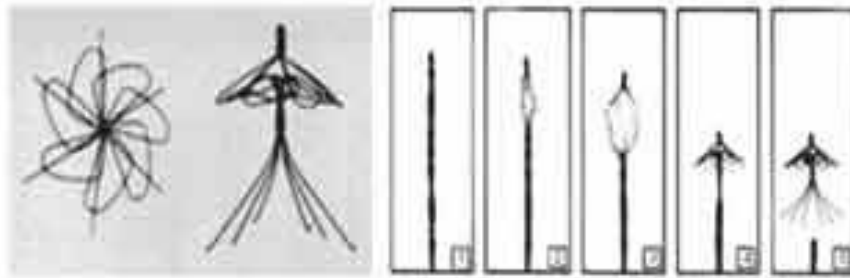
تیتانیوم فلزی است نقره فام مایل به خاکستری و جزء فلزات غیر آهنی سبک است و جرم مخصوص آن $4/5 \text{ Kg/dm}^3$ و نقطه ذوب آن 1670 می باشد. مقاومت در مقابل خوردگی و سایش و استحکام زیاد آن موجب کاربرد در ساخت قطعات هواپیما ، سفینه فضایی ، لوازم نظامی و جراحی شده است. آلیاژهای تیتانیوم دار فلز اصلی ساختمان 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.

۸-موارد استفاده پزشکی از آلیاژ Ni-Ti:

الف) کاربردهای مربوط به قلب و عروق

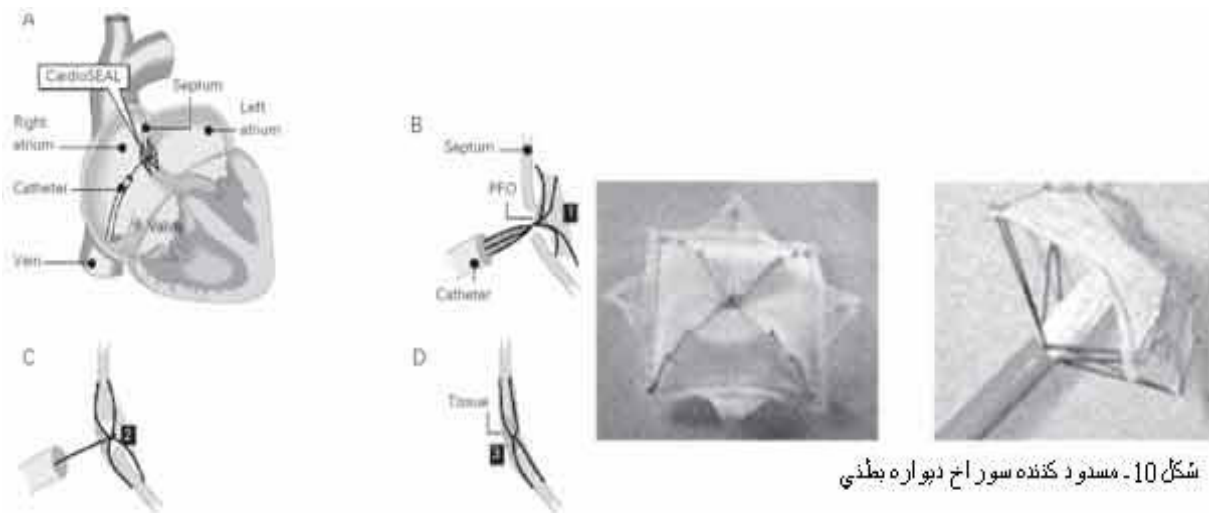
فیلتر سیمون نسل جدیدی از وسایل استفاده شده برای جلوگیری از انسداد جریان خون می باشد افرادی که قادر به استفاده از داروهای ضد انعقاد خون نمی باشند، استفاده کننده های اصلی این فیلتر می باشند. هدف استفاده از این وسیله تصفیه خون داخل رگ می باشد و فیلتر سیمون کمک می کند لخته های بوجود آمده در خون حل شود.

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 9 الف) شکل اصلی فیلاتر ب) مراحل بازبافت شکل اولیه و جدایی از Catheter

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 10 - مسدود کننده سوراخ دیواره بطنی

شکل 11 - مراحل مسدود کردن سوراخ دیواره دهلیزی

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 بیمار و سپس 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 ۱۲).

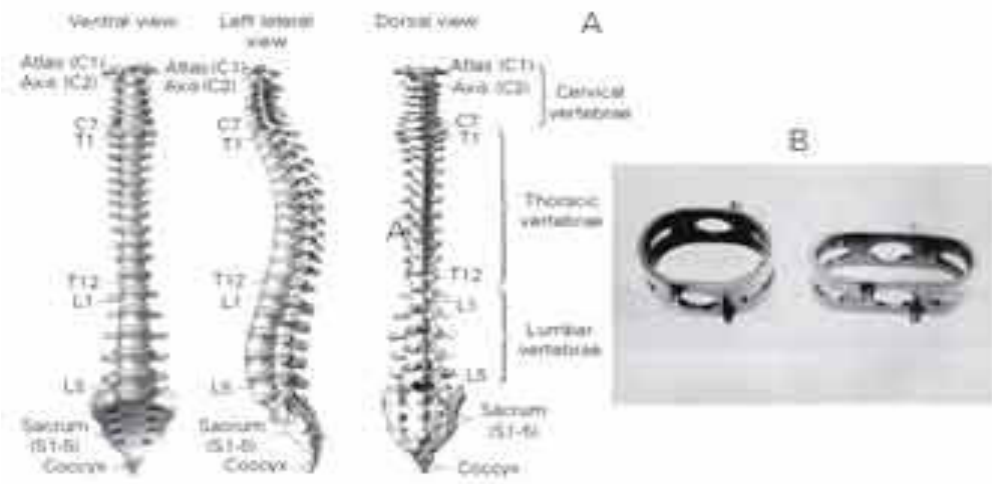


شکل ۱۲ - استنت های با اندازه های متفاوت

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.

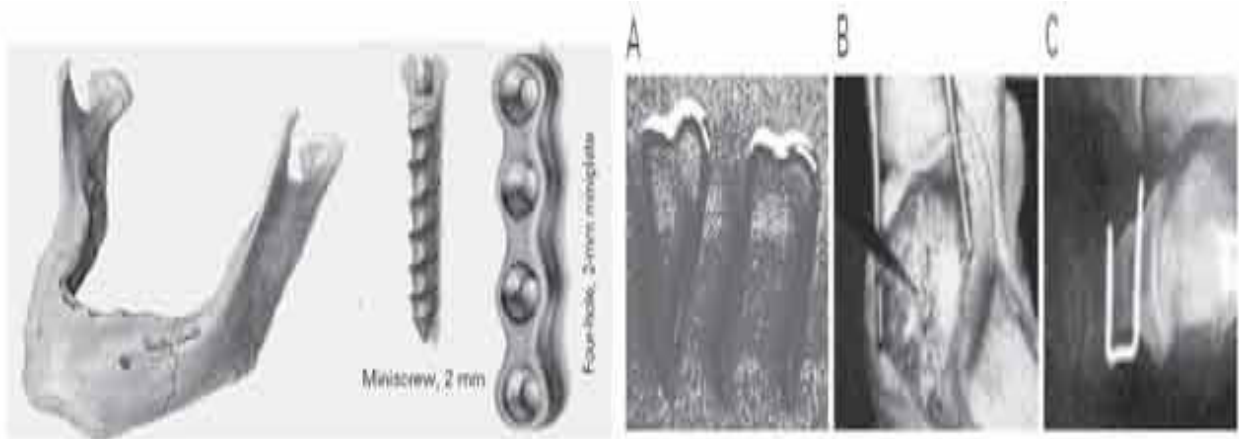
(ب) کاربردهای ارتوپدی

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 B۱۳- سمت چپ مهره تغییر شکل یافته در فاز مارتنزیتی است که پس از جایگزینی در محل مورد نظر به حالت سمت راستی (شکل اولیه) بر می گردد.



شکل 13- A) ستون فقرات B) سمت چپ مهره فشرده شده و سمت راست شکل اولیه مهره

ترمیم و بهبود شکستگی استخوان از دیگر کاربردهای ارتوپدی آلیاژهای 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 ۱۴ و ۱۵).



شکل 14- A) بست SMA بر روی استخوان آرواره (B) جزئیات مربوط به بست و پیچ ثابت کننده

شکل 15- A) بستهای ارتوپدی B) نصب بست روی استخوان پا C) عکسبرداری با اشعه X از استخوان پا 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 ۱۶ 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.



A



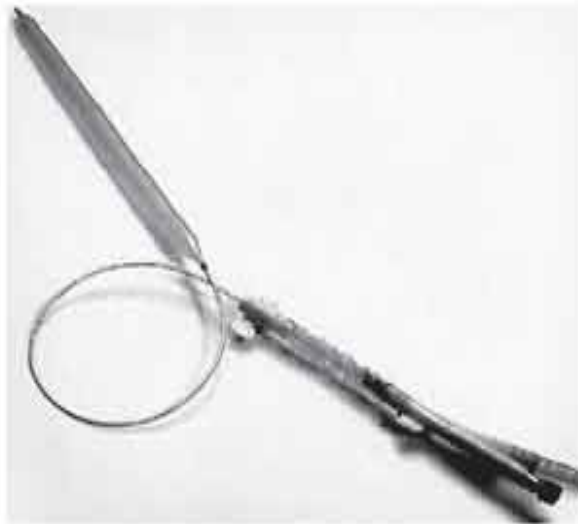
B

شکل ۱۶ 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 انگشتان

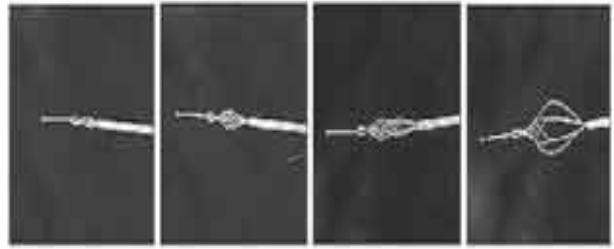
ج) کاربرد آلیاژ های حافظه دار در وسایل جراحی

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 ۱۷ آورده شده است.



شکل ۱۸ - بمب بالونی برای جلوگیری از انسداد رگ حین آنژیوگرافی



شکل ۱۷ - مراحل بازبندی شکل اولیه سبده ساخته شده با آلیاژ حافظه دار برای جمع آوری سنگ مثانه

کاربرد پمپ بالونی داخل آئورت شکل ۱۸ 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 ۱۹ 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 ۱۹ - انواع انبرکهای گیره ای و پنس، مورد استفاده در لاپاراسکوپی

۹- نتیجه گیری:

۱- تغییر حالت مارتنزیتی به طریقه دوم تغییر حالت متالورژیکی جامدات مربوط بوده و در آن تغییر آرایش اتمی بدون هیچ وابستگی به زمان و تغییری در ترکیب شیمیایی فاز جدید، به صورت هماهنگ و وابسته به دما انجام می گیرد.

۲- رفتار حافظه دار شدن با تغییر مکان به صورت شبه برشی امکان پذیر می باشد که در آن اتم ها به صورت هماهنگ و گروهی جابجا می شوند.

۳- مکانیزم دوقلویی در برش ناهمگن توجیه کننده چگونگی حافظه دار شدن آلیاژنمونه بدون تغییر در حجم نمونه اولیه است.

۴- در رفتار ارتجاعی کاذب، آلیاژ خاصیت کشسانی نامحدودی پیدا می کند.

۵- اثر حافظه داری به دو صورت یک طرفه و دو طرفه در آلیاژهای حافظه دار قابل بررسی است.

۶- آلیاژهای حافظه دار به دو روش ۱- روش ذوب و ریخته گری ۲- متالورژی پودر ساخته می شوند.

۷- آلیاژهای NiTi به دلیل داشتن ویژگی هایی همچون مقاومت در مقابل خوردگی، سازگاری زیستی بالا، قابلیت تولید در اندازه های خیلی کوچک، خاصیت ارتجاعی بالا و تولید نیرو در تجهیزات مهندسی پزشکی کاربرد فراوان دارند.

منابع:

- ۱- Shape Memory ,SHAPE MEMORY ALLOYS, Darel E. Hodgson- Applications, Inc., Ming H. Wu, Memry Technologies, and Robert J Biermann, Harrison Alloys, Inc
- ۲- ALLOYS, L.G. Medical applications of SHAPE MEMORY .Machado1and M.A. Savi2 (SMA/MEMS Research Group (2001 -۳
[/http://database.cs.ualberta.ca/MEMS](http://database.cs.ualberta.ca/MEMS)
- ۴- <http://www.nmtmedical.com> .(NMT Medical, Inc. (2001 -۴
- ۵- Stöckel D (1999). An overview of nitinol medical & Pelton A ,Duerig TM applications .Materials Science and Engineering A, 273-275:149-160 .
- ۶- <http://smet.tomsk.ru/eng/prod.htm> .(SMET (2001 -۶
- ۷- aspects of TiNi alloys surfaces Shabalovskaya SA (1995). Biological ..Journal de Physique IV, 5: 1199-1204
- ۸- تحقیقات انجام شده بر آلیاژهای حافظه دار ،دانشگاه سهند تبریز مهندس برانی
- ۹- مجموعه مقالات اولین همایش سیستم های دفاعی هوشمند آلیاژهای حافظه دار و کاربردهای آنها در ساختارهای هوشمند ،صادق بدخشان راز- سید خطیب الاسلام صدر نژاد
- ۱۰- مجله فنی و مهندسی ساخت و تولید، آلیاژهای حافظه دار
- ۱۱- پینوشت
- ۱- Martensite
- ۲- Austenite
- ۳- Diffusion
- ۴- Bain Distortion
- ۵- homogenous shear In
- ۶- Lattice rotation
- ۷- Denotes the temperature at which the Martensite phases finishes forming

.the Martensite phase finishes forming Denotes the temperature at which -۸

One - way memory -۹

memory Tow - way -۱۰

Simon filter -۱۱

.Atrial septal occlusion divice -۱۲

.memory self - expanding stents Shape -۱۳

Shape memory basket -۱۴

pump Balloon -۱۵

Laparoscopy -۱۶

www.Smsm.ir