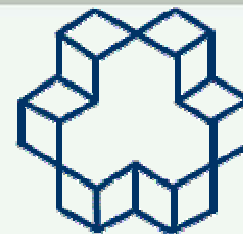




Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
دانشکده مهندسی و علم مواد



# آلیاژهای حافظه دار و مواد هوشمند

جلسه ششم  
(آلیاژهای حافظه دار - ۴)

دکتر رضا اسلامی فارسانی





## فهرست مطالب

انواع آلیاژهای حافظه دار

معرفی آلیاژهای حافظه دار خانواده نیکل - تیتانیم

کاربردهای آلیاژهای حافظه دار خانواده نیکل - تیتانیم

معرفی آلیاژهای حافظه دار پایه مس

معرفی آلیاژهای حافظه دار پایه آهن



### خانواده آلیاژهای حافظه دار

اصلی ترین آلیاژهای حافظه دار عبارتند از:

- ✓ آلیاژهای نیکل - تیتانیم
- ✓ آلیاژهای پایه مس
- ✓ آلیاژهای پایه آهن
- ✓ آلیاژهای طلا - کادمیم



### آلیاژهای حافظه دار نیکل - تیتانیم

آلیاژ حافظه دار نیکل - تیتانیم مهمترین عضو از خانواده آلیاژهای حافظه دار هستند. خواص منحصر بفرد این آلیاژها نظیر حافظه داری و فوق کشسانی موجب استفاده گسترده این آلیاژ در صنایع مختلف شده است. البته قیمت نسبتاً بالا از عوامل محدود کننده در استفاده از این آلیاژ محسوب می شود.



### نایتینول

در دهه ۱۷۶۰، بهلر و همکارانش ویژگی حافظه داری را در آلیاژ نیکل - تیتانیوم با نسبت اتمی معادل، کشف نمودند.

نام این آلیاژ از حروف اول عبارت زیر گرفته شده است. این نام به محل کشف نایتینول اشاره دارد.

**Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory**

نایتینول یک نوع آلیاژ حافظه دار است که  
۵۶٪ وزنی نیکل و ۴۴٪ وزنی تیتانیوم دارد.

# مواد حافظه دار



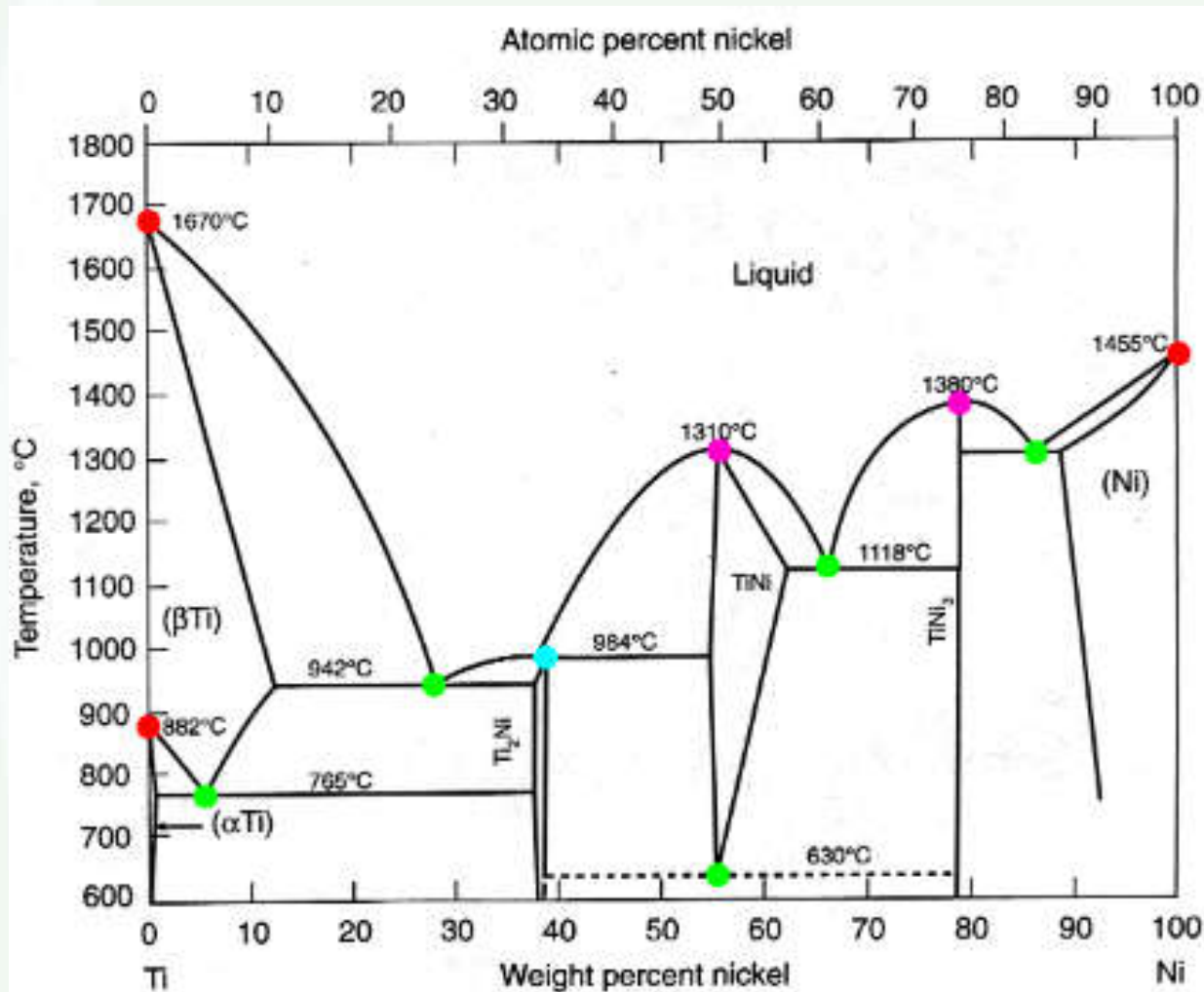
## خواص نایتینول

Property	Amount
Density	6.45 g/cm <sup>3</sup>
Thermal Conductivity	10 W/m.K
Specific Heat	322 J/kg.K
Latent Heat	24.200 J/kg
Ultimate Tensile Strength	750-960 MPa
Elongation to Failure	15.5%
Yield Strength (Austenite)	560 MPa
Young's Modulus (Austenite)	75 GPa
Yield Strength (Martensite)	100 MPa
Young's Modulus (Martensite)	28 GPa

# مواد حافظه دار



## دیاگرام فازی نایتینول







## ویژگی های نایتینول

- ✓ نایتینول شکل اصلی خود را به خاطر می آورد.
- ✓ تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد می تواند به شکل اصلی خود برگردد.
- ✓ می تواند ۸-۱۰ بار بیشتر از فولاد فنی شکل پیچانده شود، بدون آن که تغییر شکل دائمی داشته باشد.
- ✓ پیچ خوردگی پیدا نمی کند.
- ✓ به آسانی مارپیچ می شود.



### حافظه داری در نایتینول

خاصیت حافظه داری در این آلیاژ به وسیله تغییر موقعیت فاز جامد است که در آن چیدمان مجدد مولکولی رخ می دهد. به محض سرد کردن آلیاژ در نبود بارگذاری، تغییر فاز از آستنیت به مارتنزیت صورت می پذیرد که نتیجه این تغییر فاز، قابل مشاهده ماکروسکوپیکی نیست و به محض گرم کردن ماده در فاز مارتنزیت، برگشت فاز اتفاق می افتد.

چنانچه در دمای پایین تر از خاتمه تحول مارتنزیتی یک تغییر شکل پلاستیک در آلیاژ حافظه دار ایجاد شود، با افزایش دما تا دمای بالاتر از دمای خاتمه تحول آستنیتی، آلیاژ قادر به بازیابی شکل اولیه خود خواهد بود.



## حافظه داری در نایتینول





### زمینه های کاربردهای آلیاژ حافظه دار نایتینول در پزشکی

- ✓ ارتودنسی
- ✓ ارتوپدی
- ✓ نارسایی های عروق قلبی
- ✓ اندام های داخلی
- ✓ قاب عینک های طبی
- ✓ وسایل جراحی

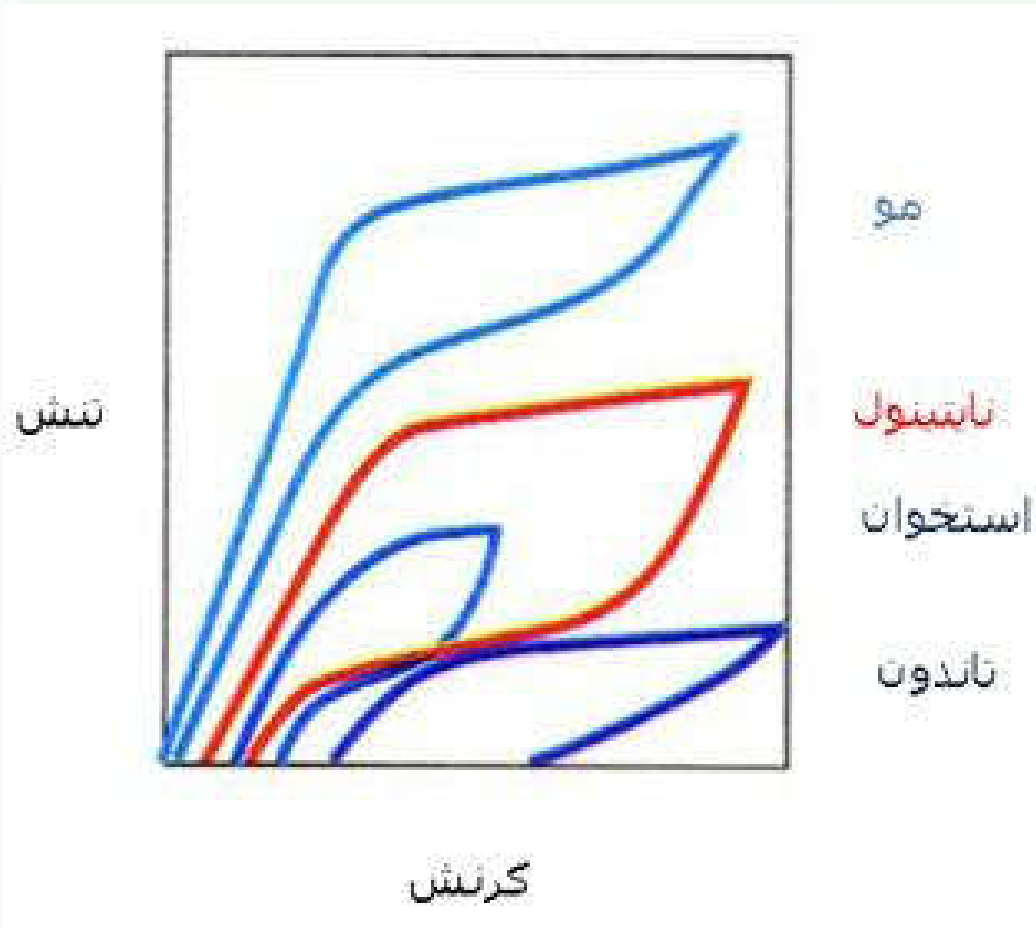


### کاربردهای آلیاژ حافظه دار نایتینول در پزشکی

- ✓ نایتینول، به دلیل ویژگی های مطلوبی که از خود به معرض نمایش گذاشت، خیلی زود کاربردهای خاص خود را در علم پزشکی پیدا کرد.
- ✓ نایتینول، رفتار مکانیکی بسیار مشابهی با اعضای بدن از خود نشان می دهد و با توجه به سازگاری خوبی که با اعصاب بدن از خود نشان می دهد در علم پزشکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است.



## کاربردهای آلیاژ حافظه دار نایتینول در پزشکی





### 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 هستند. هدف استفاده از این وسیله تصفیه خون داخل رگ می باشد و فیلتر سیمون کمک می کند لخته های بوجود آمده در خون حل شوند.



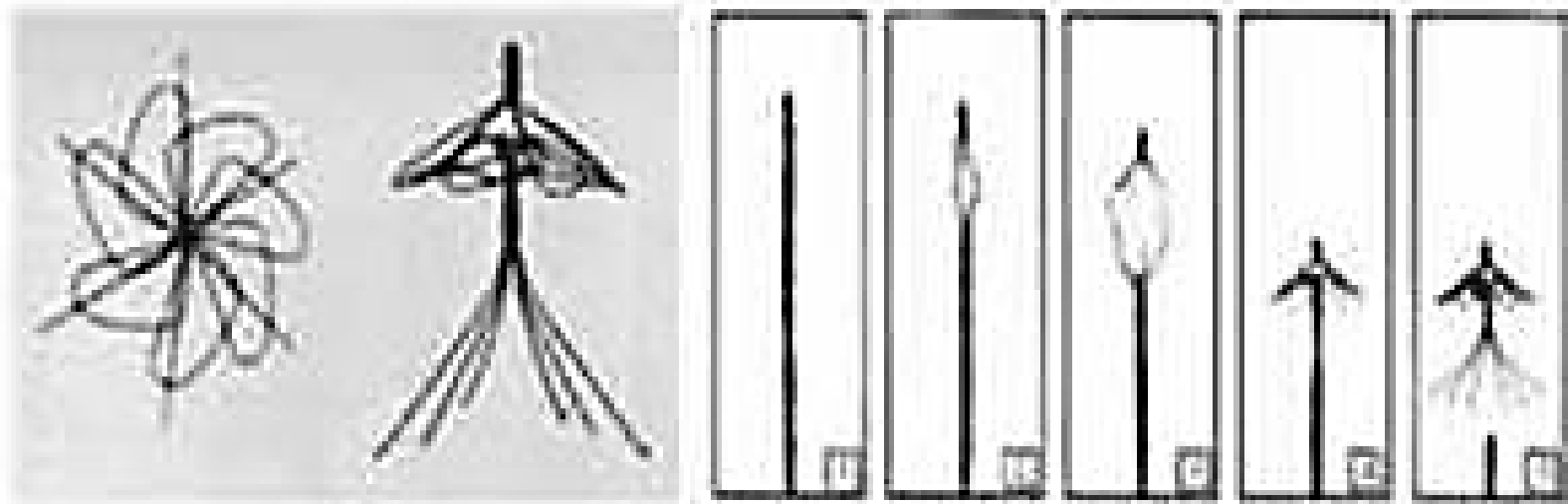
### کاربردهای مربوط به قلب و عروق

نصب فیلتر سیمون در داخل بدن اشخاص با استفاده از قابلیت 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.





## کاربردهای مربوط به قلب و عروق

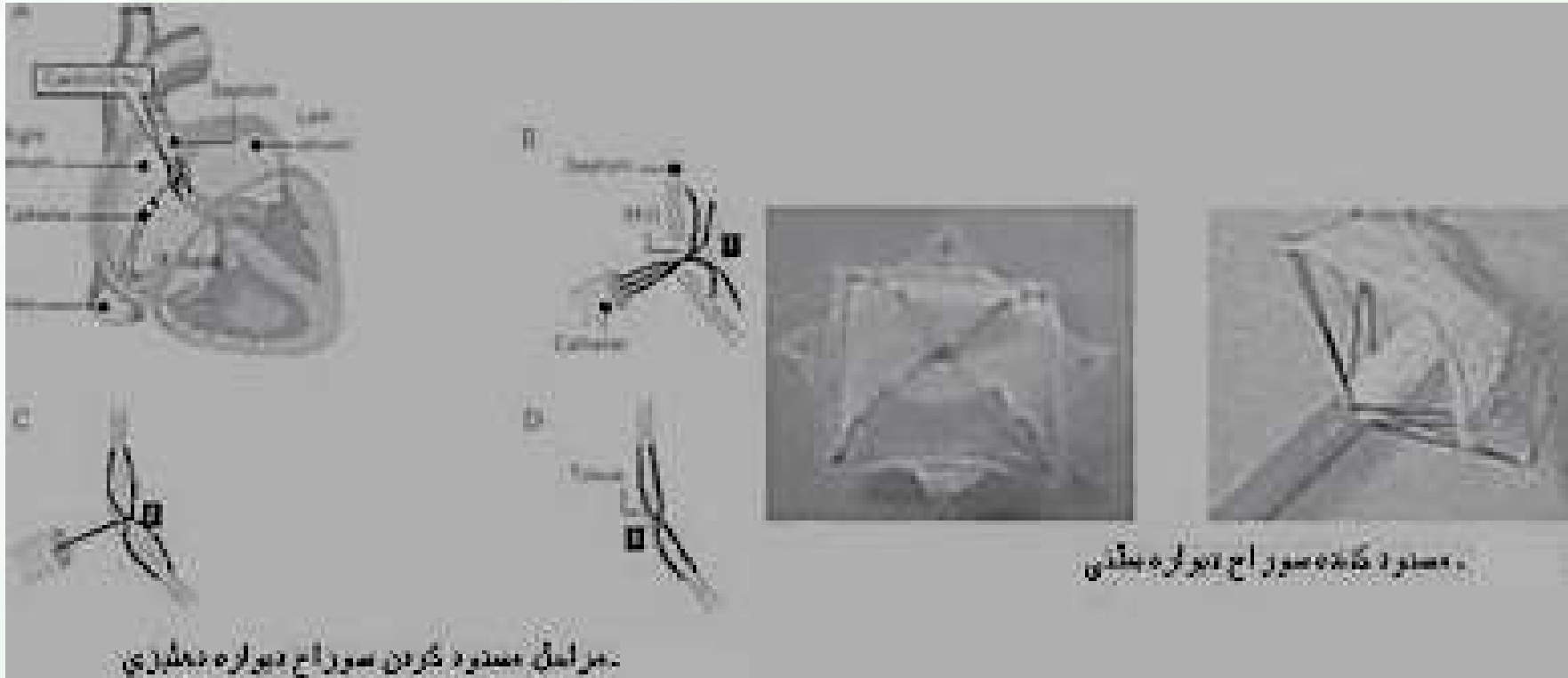


الف) شکل اصلی فیلاتر  
جدایی از Catheter

ب) مراحل بازداشت شکل اولیه و

## کاربردهای مربوط به قلب و عروق

مسدودکننده سوراخ دیواره دهلیزی: برای مسدود کردن سوراخ دیواره دهلیزی که بین دو دهلیز چپ و راست ایجاد می شود، استفاده می شود.



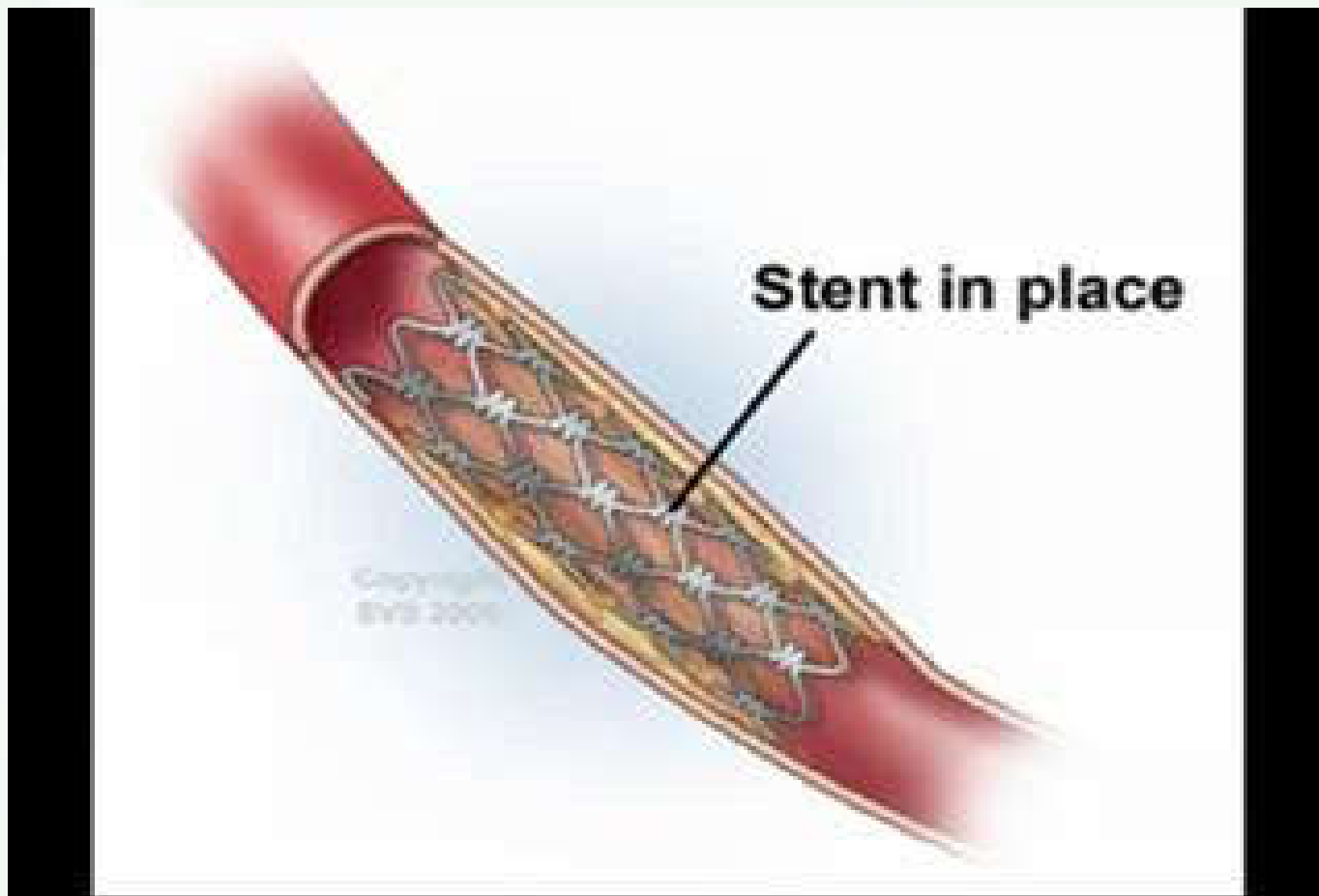


### کاربردهای مربوط به قلب و عروق

✓ استنت های باز شونده خودکار نیز از جمله وسایل مهمی است که در حفظ قطر داخلی رگ های تنگ شده و جلوگیری از کاهش قطر و بسته شدن آنها کاربرد دارند.

✓ استنت ها به شکل استوانه های توری ساخته می شوند و متناسب با نوع و محل کاربرد دارای قطرهای متفاوتی هستند.

## کاربردهای مربوط به قلب و عروق

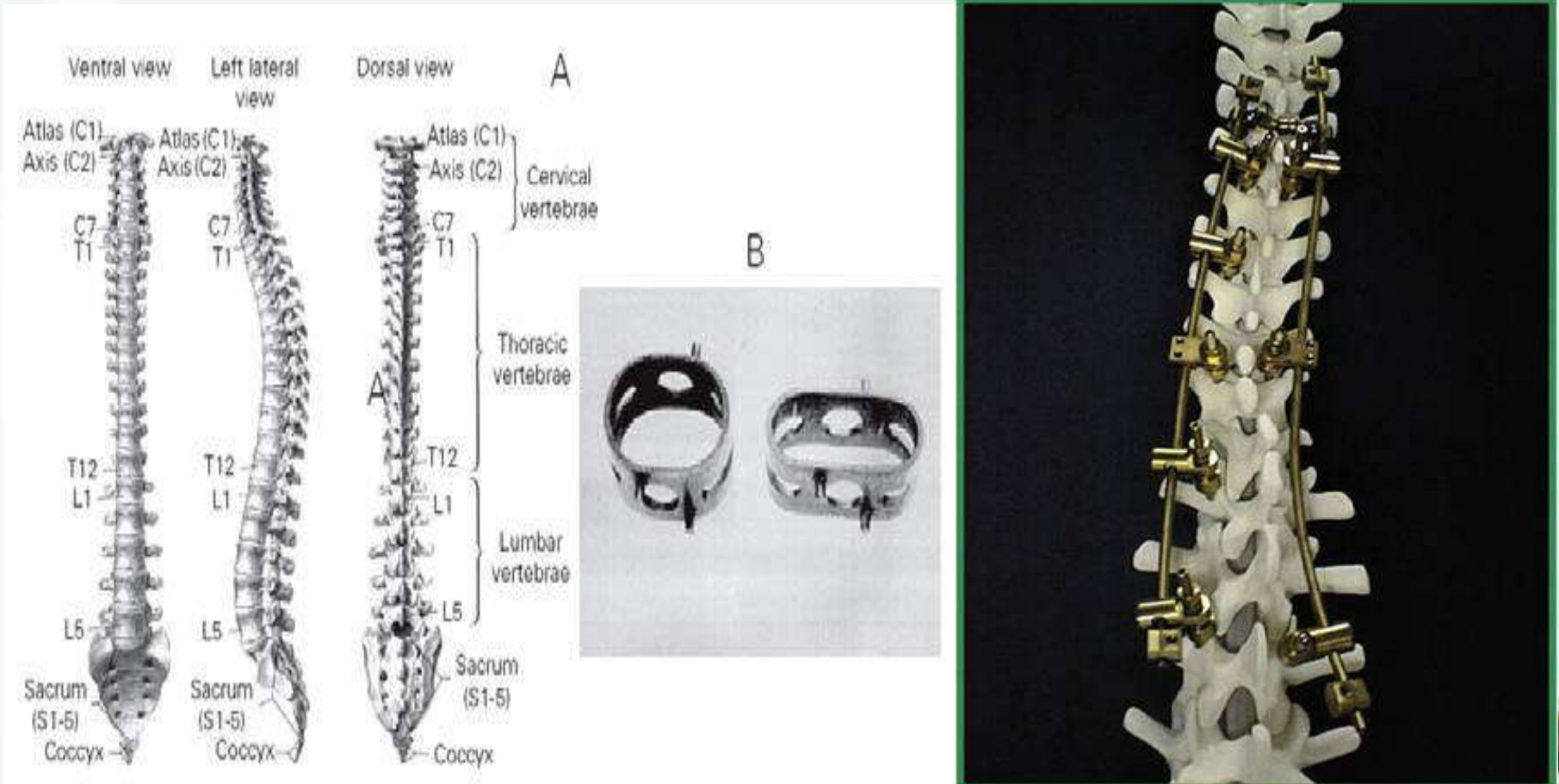




### کاربردهای ارتوپدی

از آلیاژهای حافظه دار به عنوان فضاگیر یا spacer بین مهره های ستون فقرات در حین عمل جراحی استفاده می شود که موجب استحکام مابین دو مهره در حین بهبودی بعد از تغییر شکل ایجاد شده در جراحی می شود.

## کاربردهای ارتوپدی





### کاربردهای ارتوپدی

ترمیم و بهبود شکستگی استخوان از دیگر کاربردهای ارتوپدی آلیاژهای حافظه دار می باشد.

انواع مختلفی از بست ها 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.



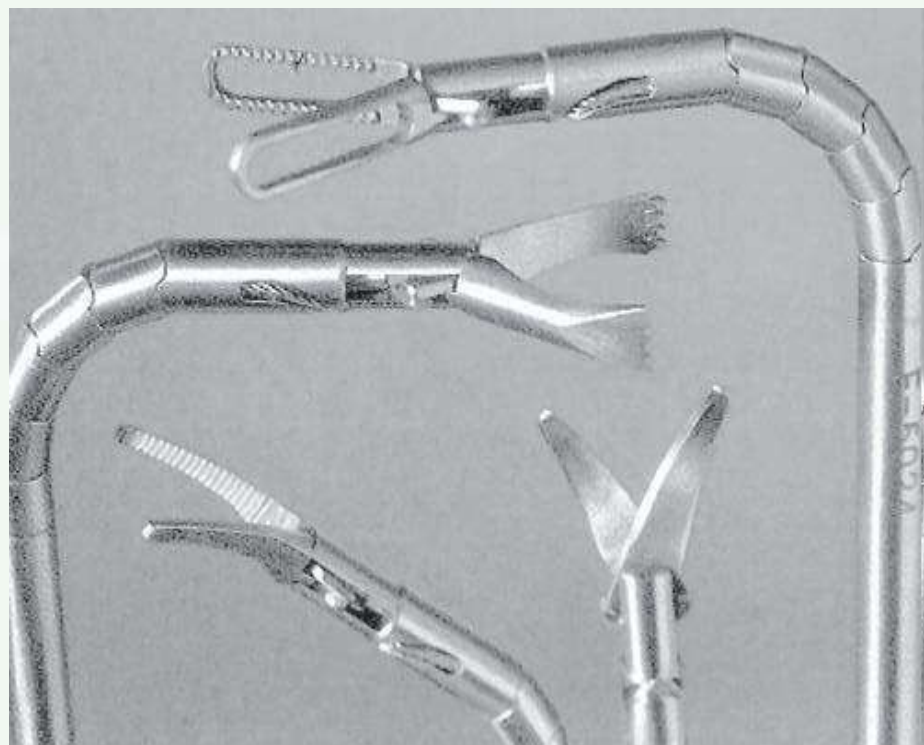
### کاربرد در وسایل جراحی

انواع انبرک ها شامل انبرک های قیچی دار و پنس مورد استفاده در لاپاراسکوپی از جمله ابزار حافظه دار می باشند.





## کاربرد در وسایل جراحی





### کاربرد نایتینول در صنایع هوا فضا

✓ کاربرد افشانک خروجی موتورهای توربینی گازی

✓ کاربرد در اتصال لوله ها و چفت ها

✓ کاربرد در سپرهای محافظ



### سایر کاربردها

سایر کاربردهای آلیاژ نایتینول عبارتند از:

✓ اتصالات لوله ها و تیپ ها (کوپلینگ حافظه دار)

✓ ربات جهنده

✓ ترموستات

✓ تشخیص دهنده برای سیستم آب پاش ضد آتش سوزی

✓ و ...



### روش های تولید نایتینول

تولید آلیاژ نایتینول پیچیده بوده و شامل مراحل زیر است:

✓ ذوب / ریخته گری در خلاء

✓ آهنگری

✓ نورد کردن (سیم سازی و ...)



### روش های تولید نایتینول

ذوب تحت خلاء به جهت کاهش گازهای محلول، جلوگیری از اکسیداسیون و کاهش آخال ها از صرفه اقتصادی و توان تولیدی بالایی برخوردار است.

با دو بار انجام فرآیند ذوب خلاء، خلوص، کیفیت و خصوصیات مکانیکی آلیاژ تضمین می شود. بدین ترتیب خصوصیات شیمیایی، همگنی آلیاژ و ساختار آن ارتقاء پیدا می کند.

سپس شمش های بدست آمده به منظور بهبود دانه بندی و اصلاح خواص مورد شده و در نهایت تحت عملیات مورد گرم و سرد قرار گرفته و به شکل های مختلف در می آیند.



### آلیاژهای حافظه دار پایه مس

✓ گروهی دیگر از آلیاژهای حافظه دار، آلیاژهای حافظه دار پایه مس هستند.

✓ آلیاژهای حافظه دار پایه مس، از جمله آلیاژهای حافظه دار تجاری متداول می باشند. این آلیاژها، با توجه به خواص منحصر بفرد خود، در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار می گیرند.

✓ مهم ترین کاربرد آلیاژهای حافظه دار پایه مس، در حسگرها و محرک ها می باشد.



### آلیاژهای حافظه دار پایه مس

✓ از جمله مزایای آلیاژهای حافظه دار پایه مس، می توان به دمای کاری بالا، قیمت پایین تر و راحت تر بودن فرآیند تولید در مقایسه با آلیاژهای حافظه دار نایتینول اشاره کرد.

✓ برخی از آلیاژهای پایه مس عبارتند از:  $\text{Cu-Sn}$ ،  $\text{Cu-Zn-Al}$ ،  $\text{Cu-Zn}$

✓  $\text{Cu-Au-Zn}$  و  $\text{Cu-Al-Ni}$ ،  $\text{Cu-Zn-Si}$ ،  $\text{Cu-Zn-Sn}$ ،  $\text{Cu-Zn-Ga}$

✓ از میان آلیاژهای حافظه دار تجاری پایه مس، آلیاژ  $\text{Cu-Al-Ni}$ ، یکی از پرکاربردترین آنهاست.



### روش های تولید آلیاژهای حافظه دار پایه مس

✓ دو روش برای تولید آلیاژهای حافظه دار پایه مس متداول تر هستند: روش ریخته گری و روش متالورژی پودر.

✓ در روش ریخته گری، به دلیل حساسیت بالای این آلیاژها به تردی، کنترل ترکیب شیمیایی آنها از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.





### روش های تولید آلیاژهای حافظه دار پایه مس

✓ درشت شدن دانه ها و به وجود آمدن رسوبات ترد، مهم ترین مشکلات تولید به روش ریخته گری است که می توانند باعث کاهش خواص حافظه داری، خواص مکانیکی و خصوصاً افت شدید داکتیلیته شوند.

✓ هر چند که ریخته گری این دسته از آلیاژها، مزایایی مانند کاهش هزینه ها و قابلیت تولید قطعاتی با شکل های پیچیده تر را دارد، اما معایب روش ریخته گری، باعث مورد توجه قرارگرفتن روش متالورژی پودر در سال های اخیر شده است.



### آلیاژهای حافظه دار پایه آهنی

آلیاژهای حافظه دار پایه آهن، عموماً ارزان هستند و به عنوان یک گزینه برای جانشینی آلیاژهای حافظه دار پایه Ti-Ni، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. بطور کلی، آلیاژهای پایه آهن دارای ۴ خصوصیت مهم ذیل هستند:

- قیمت پایین
- کارپذیری خوب
- ماشینکاری خوب
- جوش پذیری خوب



پدیده حافظه داری در سایر آلیاژها با ترکیبات زیر نیز قابل مشاهده است:

- Ag-Cd 44/49 at.% Cd
- Au-Cd 46.5/50 at.% Cd
- Cu-Al-Ni 14/14.5 wt% Al and 3/4.5 wt% Ni
- Cu-Sn approx. 15 at% Sn
- Cu-Zn 38.5/41.5 wt.% Zn
- Cu-Zn-X (X = Si, Al, Sn)
- Fe-Pt approx. 25 at.% Pt
- Mn-Cu 5/35 at% Cu
- Fe-Mn-Si
- Co-Ni-Al
- Co-Ni-Ga
- Ni-Fe-Ga
- Ti-Nb