نیتینول؛ آلیاژی حافظه‌دار

مطهره‌سادات اشرفی
وحید امانی عضو هیئت علمی دانشگاه فرهنگیان، تهران

چکیده

نیتینول نمونه‌ای از آلیاژهای حافظه‌دار اســـت که در اثر اعمال تنش یا فشار، تغییر شکل می‌دهد اما با ایجاد شرایط گرمایی مناسب، می‌تواند شکل اولیه خود را باز یابد. این آلیاژ از ۵۵/۷ درصد نیکل و ۴۳/۹ درصد تیتانیم تشکیل شده است و کاربردهای سودمندی در زمینه‌های پزشکی، دندان‌پزشکی و صنعت دارد. در ادامه، برخی از کاربردها و عملکرد این آلیاژ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

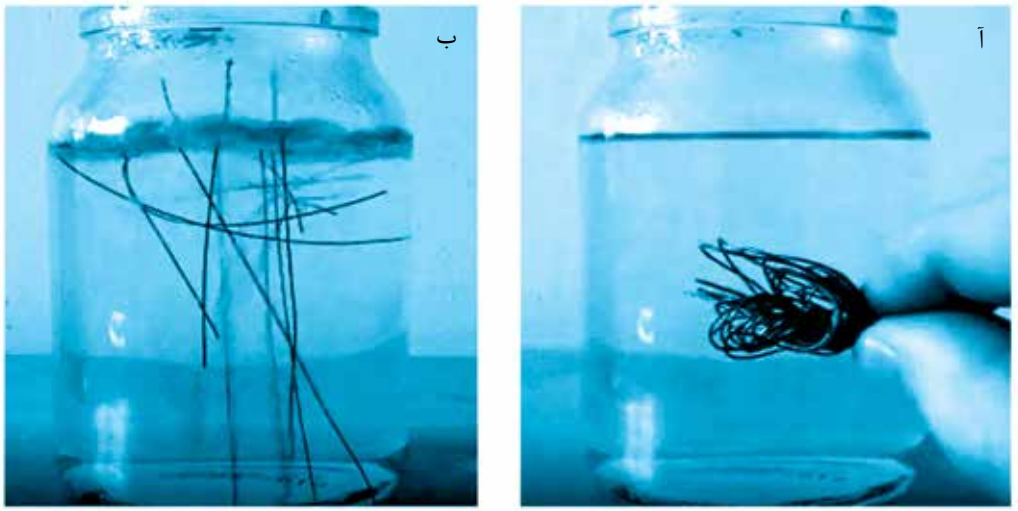
کلیدواژه‌ها: نیتینول، آلیاژ حافظه‌دار، آرتنزیت، آستنیت

مقدمه

آلیاژهای حافظه‌دار، گروهی از مواد فلزی هستند که می‌توانند پس از تغییر شـــکل، به کمک یک عامل خارجی مانند گرما یا جریان برق، خود را بازیابی کنند و به شکل اولیه خود بازگردند [۱]. یکی از مهم‌ترین آلیاژهای حافظه‌دار، ترکیبی به نام نیتینول است که نخستین بار در سال ۱۹۶۳ توسط بوهلر و همکارانش در آزمایشـــگاه مهمات نیروی دریایی ایالات متحده کشف شد [۲]. نام این آلیاژ از حروف اول عنصرهای تشـــکیل‌دهنده آن، یعنی نیکل و تیتانیم و محل کشـــف این آلیاژ، یعنی آزمایشگاه مهمات نیروی دریایی، گرفته شده است[۱].

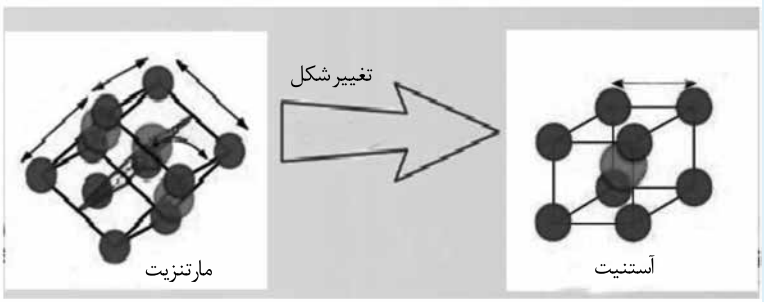
ویژگی‌ها و چگونگی عمل نیتینول

حافظه‌داری و فراکشسانی، دو ویژگی مهم آلیاژ نیتینول هستند [۱و۳]. در نتیجه ویژگی حافظه‌داری، می‌توان این آلیاژ را به هر شـــکلی در آورد؛ برای نمونه، می‌توان آن را مانند شکل ۱ کاملا مچاله کرد و سپس با گرم کردن، آن را به حالت اولیه برگرداند.



▲ شکل ۱ آ. نمایی از سیم‌های حافظه‌دار مچاله‌شده و ب. بازیابی شکل اولیه سیم‌های حافظه‌دار با فرو بردن آن‌ها در آب گرم.

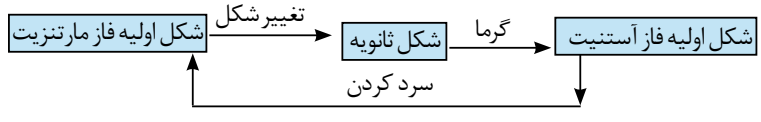
عاملی که سبب تغییر شکل آلیاژ و سپس بازگشت به شکل اولیه آن می‌شود، به تفاوت ساختار این ترکیب در دماهای پایین و بالا مربوط است [۴]. در واقع، این آلیاژ همانند دیگر آلیاژهای حافظه‌دار، از دو فاز بلوری برخوردار است: بنابه شکل ۲، در دمای کم، شکل مارتنزیت[۲] را دارد که از نظر ساختاری، مونوکلینیک و نرم است و به آسانی خم می‌شود و در دمای زیاد، شکل آستنیت[۳] را دارد و دارای ساختار مکعبی و خاصیت کشسانی است [۱]. اگر زمانی که آلیاژ در حالت مارتنزیتی است، به آن فشار اعمال شود، آلیاژ تغییر شکل می‌دهد که این حالت آن را ساختار مارتنزیتی تغییر شکل‌یافته[۴] می‌نامند. با برداشته شدن تنش و اعمال کمی گرما، اتم‌ها انرژی دریافت می‌کنند در نتیجه، آلیاژ از ساختار مارتنزیتی تغییر شکل‌یافته به ساختار آستنیتی، تغییر حالت می‌دهد. گفتنی است که از دیدگاه ماکروسکوپی هیچ تفاوتی میان این دو ساختار وجود ندارد.



▲ شکل ۲ نمایش ساختارهای آلیاژ نیتینول در دماهای کم و زیاد

ویژگی حافظه‌داری در نیتینول، برگشت‌پذیر است یعنی اگر بنابه شکل ۳، حالت آستنیتی به‌دست‌آمده را سرد کنیم، دوباره حالت مارتنزیتی به دست می‌آید [۵ و۶].

منظور از ویژگی فراکشسانی این است که اگر نیتینول در دمای بالاتر از دمای آستنیتی تغییر شکل داده شود، رفتار ارتجاعی از خود نشان می‌دهد و با برداشتن فشار به حالت اولیه خود برمی‌گردد. برای ایجاد این تغییر برخلاف آنچه در مورد حافظه‌داری دیده می‌شود، نیازی به عامل خارجی، همچون گرما نیست [۵ و۷].

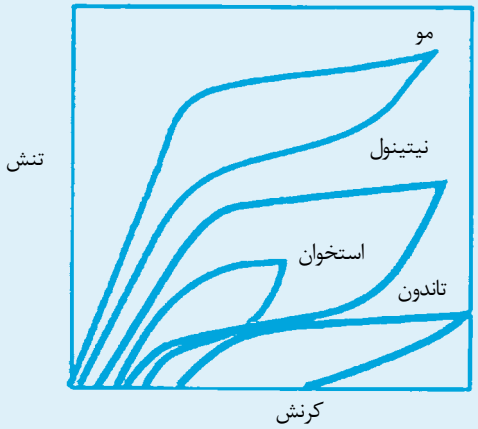


▲ شکل ۳ حافظه‌داری برگشت‌پذیر در آلیاژ نیتینول

روش تهیه

آلیاژهای حافظه‌دار همچون آلیاژ نیتینول به‌طور عمده با استفاده از دو روش، به این قرار تهیه می‌شوند:

- ذوب و ریخته‌گری با استفاده از کوره‌های القایی و کوره‌های مقاومتی
- روش متالورژی گَردی [۴].



▲ شکل ۴ مقایسه رفتار مکانیکی نیتینول و برخی از اعضای بدن. در این شکل، تنش را می‌توان نیروی وارده بر یک جسم در واحد سطح دانست و کرنش را می‌توان به صورت نسبت طول تغییر شکل بر طول اولیه تعریف کرد.

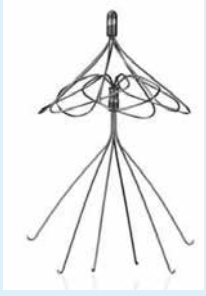
کاربردها

آلیاژ نیتینول گذشته از دو ویژگی حافظه مکانیکی یا تغییر شکل کشسانی محض و حافظه گرمایی، از مقاومت در برابر خوردگی و سازگاری با محیط بدن نیز برخوردار است.

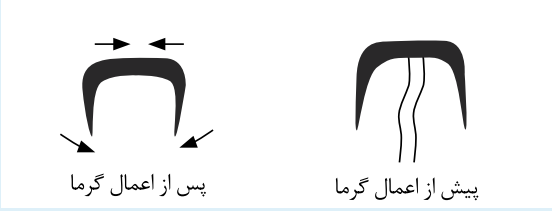
چنان که از شکل ۴ برمی‌آید، این آلیاژ رفتار مکانیکی بسیار مشابه با اعضای بدن از خود نشان می‌دهد [۸]. وجود این ویژگی‌ها در نیتینول باعث شده است که این ماده به طور گسترده در صنعت، به ویژه در مهندسی پزشکی مورد استفاده قرار گیرد.

- صافی‌های سایمونی

یکی از کاربردهای نیتینول در صافی‌های سایمونی است، شکل ۵. این صافی‌ها برای افرادی که در استفاده از داروهای ضد انعقاد خون دارای محدودیت هستند، بسیار مناسب است. به این منظور، صافی را در حالت مارتنزیتی و به شکل جمع شده، روی کاتتر (شبیه سوند) قرار می‌دهند. جریان محلول نمکی در کاتتر موجب ثابت ماندن دمای صافی در حد دمای معمولی می‌شود. زمانی که صافی در محل تعیین شده قرار گرفت با توقف جریان محلول نمکی در سوند، دمای آن در نتیجه دمای بدن بالا می‌رود و صافی به حالت آستنیتی درمی‌آید و عمل صاف کردن لخته‌های خون توسط پایه‌ها و گل‌های صافی انجام می‌شود. به این ترتیب از ورود لخته‌های خون به درون اندام‌هایی همچون قلب جلوگیری می‌شود [۸].



▲ شکل ۵ صافی سایمونی



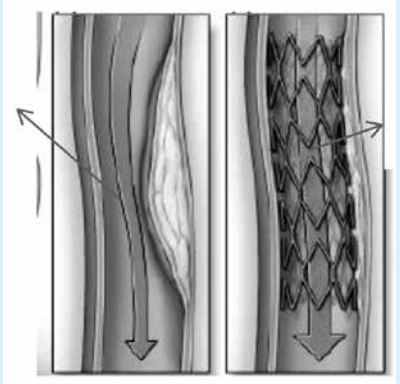
▲ شکل ۶ چگونگی اعمال فشار بست در محل شکستگی

– بست

بست‌های U شکل ساخته‌شـــده از آلیاژ نیتینول می‌تواند در بی‌حرکت نگه داشتن و جااندازی استخوان‌های مچ، جمجمه و فک که معمولاً قابل گچ گرفتن نیست مورد استفاده قرارگیرد. پس از نصب این بست‌ها در محل شکستگی، افزایش دما به طور الکتریکی، گرم کردن با اســـتفاده از آب گرم یا حتی دمای بدن، ســـبب تغییر حالت آلیاژ از مارتنزیت به آستنیت می‌شود. فشار ناشـــی از این تبدیل، دو قطعه شکسته شـــده را به هم نزدیک می‌کند. بـــه این ترتیب نیروی لازم برای کنار هم نگه‌داشـــتن قطعه‌ها ایجاد و سبب می‌شود استخوان در کمترین زمان و به طور صحیح ترمیم شود. شکل ۶، نحوه عملکرد بست را به طور خلاصه نشان می‌دهد [۹].

آ

ب



▲ شکل ۷ آ. استنت‌های تهیه‌شده از نیتینول در قطرهای متفاوت و ب. استنت به‌کار رفته در رگ که سبب جریان یافتن خون، به‌طور طبیعی می‌شود.

آلیاژهای حافظه‌دار، گروهی از مواد فلزی هستند که می‌توانند پس از تغییر شکل، به کمک یک عامل خارجی مانند گرما یا جریان برق، خود را بازیابی کنند و به شکل اولیه خود بازگردند

– استنت

اســـتنت از جمله وسایل پزشکی اســـت که برای جلوگیری از کاهش قطر و بسته شدن رگ‌های تنگ‌شده به کار می‌رود. چنان که شـــکل ۷-آ نشان می‌دهد، اســـتنت‌ها به شکل استوانه‌های توری ساخته می‌شوند و متناســـب با نوع و محل کاربرد دارای قطرهای متفاوتی هستند. برای نصب این وسیله در بدن، استنت ساخته‌شده از آلیاژ Ni-Ti را در دمای پایین قرار می‌دهند تا به حالت مارتنزیتی در آید و جمع شود. پس از قرار گرفتن در رگ و هم‌دما شـــدن با بدن، استنت باز می‌شود و به حالت آستنیتی در می‌آید و سبب گشاد شدن رگ می‌شود، شکل ۷-ب.[۸ و۹]

▲شکل ۸ مفصل ران مصنوعی ساخته‌شده از نیتینول

– مفصل ران

آلیاژهـــای حافظه‌دار به جای مفصل ران هم کاربرد دارند. این کاربرد از فرا کشسان بودن آن‌ها نتیجه می‌شود، شکل۸.

– ارتودنسی

استفاده از سیم‌های ارتودنسی از جنس Ni-Ti در ارتودنسی دندان، شکل دیگری از قابلیت‌های آن است، شکل ۹. فراکشسانی

▲ شکل ۹ سیم ارتودنسی تهیه‌شده از آلیاژ نیتینول

پس از نصب این بست‌ها در محل شکستگی، افزایش دما به طور الکتریکی، گرم کردن با استفاده از آب گرم یا حتی دمای بدن، سبب تغییر حالت آلیاژ از مارتنزیت به آستنیت می‌شود

این فلز باعث می‌شـــود که بر اثر فشار ناشی از برگشت سیم به حالـــت اولیه، به دندان‌های خارج از موضع، نیرو وارد شـــود تا با گذشت زمان در مکان مناسب قرار گیرند[۷].

- قاب عینک

امروزه آلیاژ نیتینول در ســـاخت قاب عینک استفاده می‌شود. قاب عینک تهیه‌شـــده از این آلیاژ می‌تواند خم و کج شود و به دلیل فراکشســـان بودن، به حالت اول خود بازگردد، شکل ۱۰. [۱۱]

▲ شـــکل ۱۰ نمایش قابلیت بازیابی شـــکل اولیـــه در قاب عینک خم‌شده که از آلیاژ حافظه‌دار نیتینول ساخته‌شده است.

نتیجه‌گیری

آلیاژ Ni-Ti به دلیل داشـــتن ویژگی‌های مناســـب همچون حافظـــه‌داری و فرا کشســـانی، دارای کاربردهـــای متعددی در پزشـــکی، دندان‌پزشکی و صنعت اســـت. فراکشسان بودن این ترکیب باعث شده است که از آن در ارتودنسی، مفصل ران و قاب عینک استفاده شود. ویژگی حافظه‌داری این آلیاژ نیز سبب شده است که در تهیه ابزارهای پزشکی همچون استنت، صافی‌های لخته خونی و بست از آن استفاده شود. این آلیاژ نسبت به دیگر آلیاژهای حافظه‌دار دارای بیشترین کاربرد در مهندسی پزشکی است که از سازگاری آن با محیط بدن نتیجه می‌شود.

*** پی‌نوشت‌ها**

1.Nickel Titanum Naval Ordnance Laboratory
2.martensite
3.austenite
4.deformed

*** منابع**

1.Tarniță, D. A. N. I. E. L. A., Tarniță, D. N., Bîzdoacă, N., Mîndrilă, I., & Vasilescu, M. I. R. E. L. A. Properties and medical applications of shape memory alloys. Rom J. Morphol Embryol,2009, 50(1), 15.
2.Song, C. , History and current situation of shape memory alloys devices for minimally invasive surgery. *The Open Medical Devices Journal*,2010, 2(1).
3. Bansiddhi, A., Sargeant, T. D., Stupp, S. I., & Dunand, D. C. ,Porous NiTi for bone implants: a review. *Acta biomaterialia*, 2008,4(4), 773.
4. www.chemistrylearner.com/nitinol.html
5.Stöckel, D. ,The shape memory effect-phenomenon, alloys and applications. California, 1995,94539, 1-13.
6.embp.blogfa.com/post/93
7.Wadood, A. ,Brief overview on nitinol as biomaterial. Advances in Materials Science and Engineering, 2016.
8.Duerig, T. ; Pelton, A.;Stöckel, D. , An overview of nitinol medical applications. *Materials Science and Engineering:* A, 1999,273, 149.
۹. شـــرقی، ر. ؛ نوری، ع. «ســـاخت و کاربرد بســـت‌های حافظه‌دار نیتینول برای اتصال اســـتخوان مچ و قوزک پا» نهمین کنفراس مهندســـی پزشکی دانشـــگاه علم و صنعت، ۱۳۷۸.
10. Kapoor, D. , Nitinol for medical applications: A brief introduction to the propertiesand processing of Nickel Titanium shape memory alloys and their use in stents. *Johnson Matthey Technology Review*,2017, *61*(1), 66.
11.Kauffman, G. B. ; Mayo, I. ,The story of nitinol: the serendipitous discovery of the memory metal and its applications. *The chemical educator,1997*, 2(2), 1-21.