سیری در مواد هوشمند از کامپوزیت تا آلیاژ حافظه‌دار، تعیین مشخصات و کابردهای آنها

این مقاله مروری به پیشرفت‌های کامپوزیت‌ها برای شکل دادن به آلیاژهای حافظه‌دار می‌پردازد. سیر مواد هوشمند از کامپوزیت‌های معمولی به آلیاژهای حافظه‌دار پیشرفته و کاربرد آن‌ها در این مقاله توضیح داده شده است. طبقه‌بندی مواد هوشمند نظیر کامپوزیت‌های هوشمند، آلیاژهای حافظه‌دار، کامپوزیت پلیمری و انواع مختلفی از مواد هوشمند به طور خلاصه توضیح داده شده است. تکنیک‌های مختلف ساخت و توسعه برای تولید مواد هوشمند و مشخصه‌یابی کامپوزیت‌های معمولی، با آلیاژهای حافظه‌دار مدرن امروزی مقایسه شده است. اثر حافظه شکلی از قبیل یک‌طرفه و دوطرفه به تصویر کشیده شده است. با این حال، مهم‌ترین کاربردها و استفاده گسترده از مواد هوشمند در بخش مراقبت‌های سلامتی برای ایمپلنت و مصارف مختلف دیگر همراه با کاربرد در صنایع هوافضا و خودرو بررسی می‌شود.

5. کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار (SMAs)

آلیاژهای حافظه‌دار (SMAها[1]) گروه بسیار مهمی از مواد فلزی هستند که خواص غیرخطی بسیار خوبی مانند اثر حافظه شکلی، ابرکشسانی و اثر میرایی دارند که به همین دلیل SMAها به طور گسترده در بسیاری از کاربردها استفاده می‌گردند. نسبت قابل قبولی از این خواص برای مواد SMA مفید خواهد بود تا به وسیله آن‌ها مشخصه‌ها را بهبود داده و در زمینه‌های مختلف کاربردی، نتیجه گرفت [1]. الیاف‌های حافظه‌دار ابرکشسان در کامپوزیت‌ها قرار می‌گیرند تا چقرمگی و مقاومت در برابر ضربه‌ی آسیب کامپوزیت را افزایش دهند که برای کاربردهای هوافضا بهترین گزینه است [2]. عمدتاً کاربردهای SMA بر اساس عملکرد اصلی اجزای حافظه، به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از: بهبودی آزاد، بهبودی محدود، عمل‌گر یا تولید کار و ابرکشسانی [3]. با توجه به خواص استثنایی SMAها، آن‌ها کاربردهای زیادی در بسیاری از زمینه‌های کاری از جمله در خودروسازی، زیست‌پزشکی، هوانوردی، اتوماسیون و کنترل (رباتیک)، پردازش شیمیایی، بخش انرژی، بخش سلامت، دستگاه‌های الکترونیکی (ایمنی و امنیت) و بسیاری موارد دیگر دارند، اما در اینجا به طور خلاصه برخی از کاربردهای اصلی را مورد بحث قرار خواهیم داد [4].

1.5. استفاده از SMAها در بخش مراقبت‌های سلامتی

ویژگی زیست‌سازگاری آلیاژهای حافظه‌دار که به موجودات زنده کمک می‌نماید تا بی‌ضرری بیولوژیکی خود را حفظ کنند، به طور گسترده در صنعت زیست‌پزشکی استفاده می‌شود. این مواد زیست‌سازگار هیچ‌گونه عفونتی در

[1] Shape memory alloys

داخل بدن بیمار ایجاد نکرده و همچنین جریان خون را آلوده نمی‌نمایند. به جز زیست‌سازگاری SMAها، آن‌ها دارای خواص مکانیکی خوبی هستند که به سبب آن عمدتاً به صورت ارتوپدی و ارتودنسی کاشته و استفاده می‌شوند [5].

1.1.5. کاربردهای قلبی عروقی

فیلتر سایمون اولین دستگاهی بود که از آلیاژهای حافظه‌دار که معیار فناوری برای دستگاه‌های نسل جدید است، ساخته شد. از این فیلتر برای مقاومت در برابر آمبولی ریه استفاده گردید. این دستگاه به فیلتر کردن لخته‌ها کمک نموده و لخته‌های حل شده در جریان خون را به دام می‌اندازد. آلیاژهای حافظه‌دار برای بسیاری از کاربردهای قلبی عروقی مانند استنت[۲]، اندوپروتز[۳]، فیلترهای کاوا[۴]، بخیه‌های درون جمجمه‌ای[۵] و فعال‌سازی آزمایشگاهی قلب مصنوعی استفاده می‌شوند. فیلتر از حالت مارتنزیتی خود تغییر شکل داده و توسط کاتتر[۶] آزاد می‌شود که منجر به گرم شدن فیلتر شده و به حفظ شکل اولیه خود کمک می‌کند. نوع دیگر، دستگاه سپتوم[۷] دهلیزی است که به پوشاندن سوراخ دهلیزی کمک می‌نماید.

به دلیل خطرات جراحی سنتی که ممکن است مشکلات زیادی پیش آورد، از این دستگاه برای جایگزینی جراحی سنتی استفاده می‌گردد که عمدتاً از سیم‌های SMA و پوشش مقاوم در برابر آب پلی‌یورتان تشکیل شده است. یکی دیگر از نویدبخش‌ترین اختراعات این دهه، پایه‌های خود منبسط‌شونده است که برای حفظ قطر داخلی رگ خونی استفاده می‌گردد. این مواد برای پشتیبانی از بسیاری از مسیرهای داخلی به عنوان مری و مجرای صفراوی استفاده می‌شوند. همچنین از این مواد برای درمان یک آنوریسم[۸] جدید جهت پشتیبانی از عروق ضعیف شده استفاده می‌شود [6] (شکل 16).

2.1.5. تغییر موقعیت ارتوپدی

پلاک استخوان که عمدتاً برای کاشت استخوان‌های شکسته شده استفاده می‌شود از آلیاژهای حافظه‌دار تشکیل گردیده‌اند که به بهبود سریع استخوان‌های آسیب‌دیده کمک می‌نمایند. انقباض پلاک‌های استخوانی SMA که به

---

[2] م. استنت(stent) یا فنر لوله توری ازکی از جنس فلز است که با کمک ابزارهای خاص در رگ‌های گرفته شده قرار می‌گیرد و از انقباض و جسبندگی دیواره رگ‌ها جلوگیری می‌کند.

[3] م. روشی برگرفته از ایمپلنت‌های دندان‌پزشکی است و با استفاده از پیوند پروتز و استخوان باعث می‌شود احساس کنید عضو شما بازگشته است.

[4] م. فیلترهای کاوا دستگاه‌های آلیاژی فلزی هستند که آمبولی تکه‌تکه شده را از رگ‌های عمقی پا در مسیر گردش ریوی به دام می‌اندازند. این فیلترها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که راه پوست وارد و خارج می‌شوند.

[5] Intracranial staples

[6] م. کاتتر (catheter) لوله نازک و بلند و قابل انعطافی است که از مواد دارای کاربرد در پزشکی ساخته شده است.

[7] م. باز ماندن دیواره بین دو دهلیز راست و چپ پس از تولد نوزاد.

[8] م. بزرگ شدن یا بیرون زدگی دیواره سرخرگ در اثر ضعف دیواره.

دلیل انتقال دما رخ می‌دهد، تناسب راحت بین قسمت‌های استخوان را ایجاد کرده و حالت فشرده‌سازی پایدار را فراهم می‌نماید. پلاک‌های SMA عمدتاً در ناحیه صورت، فک، بینی و چشم‌ها استفاده می‌شود، زیرا در این نواحی نمی‌توان از حالت قالب‌گیری استفاده نمود. یکی از کاربردهای SMA، قرار دادن فاصله‌دهنده در بین دو مهره است که در برابر حرکت ضربه‌ای مقاومت نموده و تقویت مهره‌های نخاعی را در طول فرآیند بهبودی تضمین می‌کند. از این فاصله‌دهنده برای درمان اسکولیوز[9] نیز استفاده می‌شود [7]. در این مورد، موقعیت نسبی مهره‌ها را می‌توان به دلیل بهبودی محدود میله‌های SMA که در دستگاه‌ها وارد می‌شود، تقویت نمود. آلیاژهای حافظه‌دار در فیزیوتراپی عضلات نیمه‌ساکن نیز استفاده می‌شوند. دمای بدن باعث ایجاد اثر حافظه شکلی در SMAها می‌گردد، زیرا به دلیل بهبودی مهار شده، پلاک یک تنش یکنواخت ایجاد می‌کند که توسط آن دو بخش آسیب‌دیده متعاقباً به هم می‌پیوندند [8].

3.1.5. کاربردهای ارتودنسی

اولین دستگاه ارتودنسی در سال 1915 به کار برده شد که از خاصیت شبه‌کشسان آلیاژهای حافظه‌دار استفاده می‌نماید. سیم‌های آلیاژ نیکل-تیتانیوم از سال‌ها قبل در درمان دائمی ارتودنسی با چندین‌براکت[10] به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماده در حالی که سعی می‌کند با پیروی از منحنی نیرو-جابجایی در حالت آستنیتی شکل اولیه خود را به دست آورد، در دمای حفره باکال[11] پایدار است. آلیاژهای حافظه‌دار برای بسیاری از کاربردهای ارتودنسی مانند قرار دادن بریس[12]، کاشت دندان و غیره استفاده می‌شوند.

مقدار نیرو باید در فاصله کوتاهی باشد تا نتایج دقیق در مشکلات دندانی به دست آید، اگر مقدار نیرو زیاد باشد، امکان بازسازی کاهش می‌یابد. بریس‌های آلیاژ نیکل-تیتانیوم برای بیماران در طول کاشت و کل درمان مناسب‌تر هستند. SMAها همچنین برای ایمپلنت‌های دندانی استفاده می‌شوند که در آن فرآیند تثبیت بهتر SMA کاشته‌شده در فک را به دلیل اثر حافظه شکلی تضمین می‌نماید. پلی‌یورتان با حافظه شکلی که از بخش‌های سخت و نرم تشکیل شده است، توجه زیادی را برای بسیاری از کاربردهای صنعتی و همچنین بیوپزشکی به خود

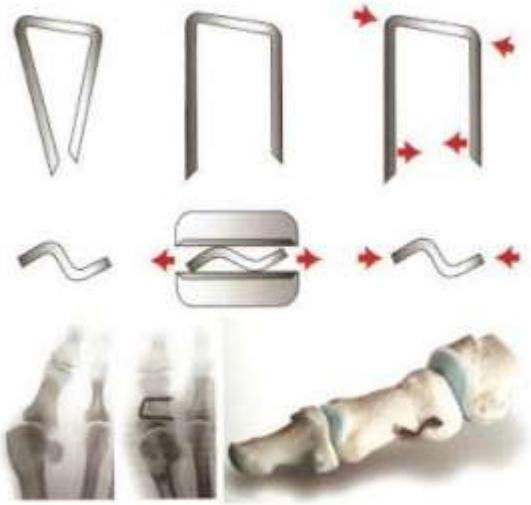
9 م. انحراف جانبی ستون مهره‌ها

10م. قطعات فلزی که روی دندان‌ها نصب می‌شوند.

11 م. دهانی

12 م. به اجزایی که جهت اعمال تغییرات در جهت‌گیری دندان‌ها در فضای دهان در طی فرآیند ارتودنسی قرار می‌گیرد.

جلب کرده است و از نظر ترمودینامیکی غیر قابل امتزاج[13] است که به دلیل این ویژگی، دارای ساختارهای فازی جدا شده در بین بخش‌های نرم و سخت است[8] (شکل 1).



شکل 1

4.1.5. کاربردهای جراحی مغز و اعصاب

به طور عمده سه نوع دستگاه از آلیاژهای نیکل-تیتانیوم ساخته شده‌اند که عبارتند از کویل، استنت و میکروسیم-های راهنما. کویل‌ها اساساً برای درمان آنوریسم‌های مغزی[14] استفاده می‌شوند که گشاد شدن شریان‌های داخل جمجمه را محدود می‌نمایند. اینها سیم‌هایی هستند که به عنوان یک توپ در آنوریسم قرار گرفته و وادار به لخته شدن یا واکنش ترومبوتیک[15] می‌کنند که اگر با موفقیت انجام شود، خطر پارگی رفع می‌گردد. کویل‌ها عمدتاً از ترکیب آلیاژهای پلاتین و نیکل-تیتانیوم ساخته شده‌اند که در آن آلیاژ نیکل-تیتانیوم در مقایسه با سیم‌پیچ‌های پلاتین کشش کمتر و مقاومت بیشتری در برابر فشردگی دارد. در حالی که استنت‌ها اساساً برای درمان بیماری تصلب شرایین داخل جمجمه استفاده می‌شوند. عملکرد اصلی درمان استنت، بازیابی جریان اولیه خون از مجرای تنگ شده است. در نیکل-تیتانیوم، منحنی هیسترزیس مکانیکی، کفه‌ی وسیعی را برای کنترل نیروهای اعمال شده توسط استنت بر روی دیواره رگ می‌پذیرد. علاوه‌براین، میکروسیم‌های راهنما عمدتاً برای قرار دادن استنت

13 م. اختلاط یک‌دست دو سیال با هر نسبت دلخواه است به طوری که هیچ‌گونه مرز مشخصی بین دو سیال مشاهده نشود. چنانچه دو سیال در تمام نسبت‌های اختلاطی یکسان نباشند، آنها را غیر امتزاجی می‌نامند.

14 م. بیرون زدگی به صورت حباب در جدار شریان‌های مغزی به دلیل ضعف در جدار شریان مغزی.

15 م. زمانی رخ می دهد که یک لخته خون در داخل عروق خونی ایجاد می‌شود و می‌تواند جریان خون را کاهش دهد.

استفاده می‌شوند. سندرم‌های عصبی عضلانی، دسته‌ای از بیماری‌ها هستند که معمولاً به سیستم عصبی مرکزی حمله می‌نمایند. بنابراین، SMAها با بازگرداندن ویژگی‌های اولیه مفاصل و ماهیچه‌ها، عملکرد بخش‌های مختلف و مهم‌تر از همه عدم وابستگی برای درمان این بیماری‌ها استفاده می‌شوند [9].

5.1.5. کاربرد ابزار جراحی

ابزار آلیاژهای حافظه‌داری که مبتنی بر روش‌های جراحی کمتر فرورونده است، برای جراحی استفاده می‌شود. این مواد به دلیل انعطاف‌پذیری و اثر حافظه‌دار شکلی خود به کار گرفته می‌شوند. بسکت SMA که در بدن بیمار قرار داده می‌شود، برای خارج نمودن سنگ‌های مثانه، کلیه و مجرای صفراوی استفاده می‌گردد. هم‌چنین یکی از دستگاه‌های اصلی در آنژیوپلاستی که به پمپ بالون داخل آئورت معروف است، برای رفع انسداد عروق خونی استفاده می‌شود [10]. سیستمی با کمک SMAها طراحی شده است تا از موقعیت و جداسازی تومور در زمان جراحی سرطان سینه اطمینان حاصل گردد. یک سوزن نازکِ SMA در دمای طبیعی وارد تومور شده تا یک انکور مناسب ایجاد نماید. SMAهای نیکل-تیتانیوم موادی هستند که عمدتاً برای پیچش‌های زیاد و فنرهای نیروی یکنواخت، استفاده می‌شوند و همچنین تمایل به بازیابی کرنش‌ها تا ٪10 در شرایط مناسب دارند. بنابراین، در جراحی‌ها با حداقل دسترسی (MAS)، ابزارهای مبتنی بر SMAهایی که قابلیت استفاده مجدد دارند، برای مقاومت در برابر وقوع تغییر شکل دائمی، دارای سطوح کرنش محدودی حدود ٪5 هستند. SMAهای ابرکشسان عمدتاً در سیم‌های راهنما برای رادیولوژی و مداخلات آندوسکوپی انعطاف‌پذیر و نیز در عضوهای مصنوعی داخلی در حال گسترش که برای درمان تنگیِ ناشی از بیماری‌های بدخیم و خوش‌خیم به کار برده می‌شوند، استفاده می‌گردند [11].

6. نتیجه‌گیری

توسعه مواد کامپوزیتی برای قالب‌گیری آلیاژهای حافظه‌دار موضوع این مقاله مروری است. این مقاله توسعه مواد هوشمند از کامپوزیت‌های سنتی تا آلیاژهای حافظه‌دار پیشرفته و مورد استفاده آن‌ها را توصیف می‌نماید. به طور خلاصه چندین دسته از مواد هوشمند، از جمله کامپوزیت‌های هوشمند، آلیاژهای حافظه‌دار، کامپوزیت‌های پلیمری و غیره توضیح داده شده است. آلیاژهای حافظه‌دار پیشرفته امروزی با استراتژی‌های مختلفِ تولید و توسعه برای ساخت مواد هوشمند مغایرت دارد. کامپوزیت‌های معمولی نیز مشخصه‌یابی شدند. اثرات حافظه شکلی یک‌طرفه و دوطرفه نمونه‌هایی از اثرات حافظه شکلی هستند. با این حال، مهم‌ترین موارد استفاده از مواد هوشمند و کاربرد گسترده آن‌ها در بخش مراقبت‌های سلامتی برای ایمپلنت‌ها و سایر کاربردها، از جمله مواردی در هوافضا است.

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

کلیدواژه‌ها

مواد هوشمند، آلیاژهای حافظه‌دار، کامپوزیت‌های هوشمند، تعیین مشخصات، کامپوزیت پلیمری.

Smar materials, Shape memory alloys, Smart composites, Characterization, Polymer composite.

مرجع

U. Shukla, K. Garg, “Journey of smart material from composite to shape memory alloy (SMA), characterization and their applications-A review”, 2023, Smart Materials in Medicine, Vol. 4, pp. 227-242.

Doi: 10.1016/j.smaim.2022.10.002

مراجع داخل متن

[1] S. Pittaccio, L. Garavaglia, C. Ceriotti, F. Passaretti, Applications of shape memory alloys for neurology and neuromuscular rehabilitation, J. Funct. Biomater., 2015, pp. 328–344.
[2] M. Meo, F. Marulo, M. Guida, S. Russo, Shape memory alloy hybrid composites for improved impact properties for aeronautical applications, Composite Structure, 2013, Vol. 95, pp. 756–766.
[3] L. Luo, F. Zhang, J. Leng, Shape memory epoxy resin and its composites: from materials to applications, Research, 2022, pp. 1–25.
[4]
[5]] L.G. Machado, M.A. Savi, Medical applications of shape memory alloys, Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2003, Vol. 26, pp. 683–691.
[6]] F.J. Gil, J.A. Planell, Shape memory alloys for medical applications, Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part H: Journal Engineering in Medicine, 1998, Vol. 212, pp. 473–488.
[7]] T. Kim, C.W. See, X. Li, D. Zhu, “Orthopedic implants and devices for bone fractures and defects: past, present and perspective”, Engineering Regeneration, 2020, Vol. 1, pp. 6–18.
[8] L. Petrini, F. Migliavacca, “Biomedical applications of shape memory alloys”, Journal of Metallurgy, 2011, pp. 1–15.
[9] M. Ho, J.P. Desai, “Characterization of SMA actuator for applications in robotic neurosurgery”, *2009 Annual* International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Minneapolis, MN, USA, 2009, pp. 6856-6859.
[10] S.-J. Liu, “Injection molding in polymer matrix composites”, Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites, 2012.

POLYM PART
مرجع پلیمر در بازار ایران

[11] T.G. Frank, W. Xu, A. Cuschieri, “Instruments based a shape-memory alloy properties for minimal access surgery”, interventional radiology and flexible endoscopy, Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies, 2000, Vol. 9, pp. 89–98.

شکل 2 عکس شاخص