



اثر نانوذرات اکسید آهن روی خواص حرارتی، دینامیکی - مکانیکی،
رئولوژیکی و میزان بازگشت شکلی آمیخته PU/PCL

نگارنده
یاسمین مصلح

استاد راهنما
دکتر نادره گلشن ابراهیمی

دی ۱۳۸۸

سلام الله على من
آمن به

تقدیم به

کسی که مثل هیچکس نیست

کسی که تبار خونی گل‌ها را به زیستن متعهد کرده است

تبار خونی گل‌ها...

او که نهایت پیوند همه نیروهاست و ریختن به شعور نور

با سپاس از یگانه پروردگار هستی

قدر می‌نهم زحمات بی‌وقفه و ۲۵ ساله مادر و پدر گرامیم از بدو وجود و همچنین راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ استاد گرامی و دلسوزم سرکار خانم دکتر نادره گلشن ابراهیمی در تمامی مراحل تحقیق و این که بسیار به من آموخت هنر زیستن را.

با سپاس از استاد گرانقدرم آقای دکتر کوبی برای استفاده از امکانات آزمایشگاهی که بی‌دریغ در اختیار ما قرار می‌دادند.

از اساتید بزرگوام آقایان، دکتر سمسارزاده، دکتر فامیلی و دکتر رزاقی برای آنچه به من آموختند، بسیار سپاسگزارم.

از آقایان دکتر علیرضا مهدویان و مهندس محسن اشجاری از پژوهشگاه پلیمر، از آقای دکتر شایگان از دانشگاه تهران، آقایان دکتر حق طلب و مهندس مرزبان که در راستای این پایان‌نامه مرا همراهی نموده‌اند، بسیار سپاسگزارم.

همچنین از دوستانم خانم‌ها مهندس خودکار، مصطفوی، کردجزی، پاشایی و خانم دکتر آجیلی. همچنین آقایان مهندس عباسی، برزگر، امیرشقایق، خبازیان و نادعلی در آزمایشگاه پلیمر متشکرم.

در خاتمه بر خود لازم می‌دانم از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران تشکر نمایم.

چکیده

پلیمرهای حافظه‌دار شکلی دسته‌ای از مواد هوشمند هستند که قادرند به محرک‌های خارجی مانند حرارت، الکتریسیته، مغناطیس، نور، رطوبت و pH از طریق تغییر در شکل ظاهری پاسخ دهند.

پلی‌یورتان (PU) مورد استفاده در این تحقیق کوپلیمری قطعه‌ای متشکل از دو فاز سخت و نرم است. فاز سخت آن را دی‌ایزوسیانات و بسط‌دهنده زنجیر و فاز نرم آن را پلی‌کاپرولاکتون با وزن مولکولی متوسط عددی 2000 g/mol تشکیل می‌دهد. از آن جا که این وزن مولکولی برای تشکیل بلور در فاز نرم کافی نیست. لذا آمیخته‌سازی پلی‌یورتان با پلی‌کاپرولاکتون به عنوان راهی برای رفع این مشکل در نظر گرفته شد (رساله دکتری خانم شادی حسن آجیلی). از آن جا که کاشتنی‌های تهیه شده از آمیخته PU/PCL در رساله مذکور در بدن قابلیت ردگیری توسط اشعه X را نداشتند، بنابراین در این تحقیق برای اولین بار از نانوذرات مگنتیت برای مرئی کردن این کاشتنی‌ها استفاده شد. به این منظور ابتدا کامپوزیت‌های شامل ۸ درصد وزنی نانومگنتیت با نسبت‌های وزنی مختلف از آمیخته‌های (۷۰/۳۰)، (۶۰/۴۰ و ۵۰/۵۰) PU/PCL تهیه گردیدند. هدف از انتخاب درصد بالایی از نانوذرات مگنتیت، ایجاد حساسیت مغناطیسی در نمونه‌ها بود. اما نتایج آزمون DSC، بیانگر از بین رفتن بلورینگی در بخش‌های سخت پلی‌یورتان بود که وجود این بلورینگی برای بروز حافظه شکلی در نمونه‌ها ضروری است. از این رو آمیخته (۷۰/۳۰) PU/PCL به دلیل قابلیت حافظه شکلی در محدوده دمای بدن به عنوان ماده زمینه در نظر گرفته شد و درصدهای وزنی مختلف از نانومگنتیت (۱، ۲، ۳ و ۵) به آن افزوده شد. سپس اثر نانوذرات مگنتیت بر خواص حرارتی، مکانیکی - دینامیکی، رئولوژیکی و میزان برگشت‌پذیری این کامپوزیت‌های سه جزئی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مشاهده یک دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) در نمودارهای DSC مربوط به کامپوزیت‌های سه جزئی، دلیلی بر امتزاج‌پذیری دو جزء پلی‌یورتان و پلی‌کاپرولاکتون در ساختار کامپوزیت‌ها بوده که این امر توسط آزمون مکانیکی - دینامیکی نیز تایید شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که میزان بلورینگی و دمای ذوب جزء PCL در حضور نانوذرات مگنتیت تغییر می‌کند. آزمون روبش بسامد روی کامپوزیت‌ها نشان‌دهنده وجود آستانه غلظت در نمونه حاوی ۲ درصد نانومگنتیت است. مطالعه بر رفتار حافظه شکلی کامپوزیت‌ها نشان‌دهنده آن است که افزودن نانوذرات مگنتیت به آمیخته (۷۰/۳۰) PU/PCL موجب کاهش میزان بازگشت شکلی می‌شود.

واژگان کلیدی: پلیمر حافظه‌دار شکلی، پلی‌یورتان، پلی‌کاپرولاکتون، نانومگنتیت، کامپوزیت سه جزئی

فصل اول نظری

۱-۱ مواد هوشمند.....

۱-۱-۱ مقدمه.....

۱-۱-۲ مواد حافظه‌دار شکلی.....

۱-۲-۱-۱ آلیاژهای حافظه‌دار شکلی.....

۱-۲-۲-۱-۱ سرامیک‌های حافظه‌دار شکلی.....

۱-۲-۳-۱-۱ پلیمرهای حافظه‌دار شکلی.....

۱-۳-۲-۱-۱ کاربردهای پلیمرهای حافظه‌دار شکلی.....

۱-۳-۲-۱-۲ مکانیسم مولکولی در پدیده حافظه شکلی.....

۱-۳-۳-۲-۱-۱ تحریک غیر مستقیم اثر حافظه شکلی.....

۱-۳-۴-۲-۱-۱ آزمون مکانیکی - حرارتی چرخه‌ای برای بررسی رفتار حافظه شکلی.....

۱-۳-۵-۲-۱-۱ طبقه‌بندی پلیمرهای حافظه‌دار شکلی.....

۲-۱ پلی‌یورتان‌های گرمانرم.....

۱-۲-۱ ساختار.....

۲-۲-۱ جدایی فازی در پلی‌یورتان‌ها.....

۳-۲-۱ پیوند هیدروژنی در پلی‌یورتان‌ها.....

۳-۱ پلی‌کاپرولاکتون.....

- ۴-۱ مروری بر مغناطیس و مواد مغناطیسی.....
- ۴-۱-۱ مقدمه
- ۴-۱-۲ دسته‌بندی مواد مغناطیسی
- ۴-۱-۲-۱ فرو مغناطیس
- ۴-۱-۲-۲ پارامغناطیس
- ۴-۱-۲-۳ ابرپارامغناطیس
- ۴-۱-۳ مگنتیت
- ۴-۱-۳-۱ تاریخچه
- ۴-۱-۳-۲ سنتز نانوذرات مگنتیت
- ۴-۱-۳-۳ کاربردهای نانوذرات مگنتیت
- ۵-۱ نانوکامپوزیت‌ها.....
- ۵-۱-۱ مقدمه
- ۵-۱-۲ نانوکامپوزیت‌های پلیمری
- ۵-۱-۳ تهیه نانوکامپوزیت‌های پلیمری
- ۵-۱-۴ کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌های پلیمری حافظه‌دار شکلی
- ۵-۱-۵ کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌های بر پایه پلی‌یورتان
- ۵-۱-۵-۱ کامپوزیت پلی‌یورتان - مگنتیت
- ۵-۱-۵-۲ نانوکامپوزیت پلی‌یورتان - نانوالیاف کربن
- ۵-۱-۵-۳ نانوکامپوزیت پلی‌یورتان - خاک رس
- ۵-۱-۵-۴ نانوکامپوزیت پلی‌یورتان - دوده
- ۵-۱-۶ نانوکامپوزیت‌ها بر پایه پلی‌کاپرولاکتون

- ۱-۶-۵-۱ نانوکامپوزیت‌های پلی‌کاپرولاکتون / نانوتیوب کربن
- ۱-۲ مواد شیمیایی
- ۱-۱-۲ پلی‌یورتان
- ۲-۱-۲ پلی‌کاپرولاکتون
- ۳-۱-۲ حلال تتراهیدروفوران
- ۴-۱-۲ مواد مورد نیاز در سنتز نانومگنتیت
- ۲-۲ تجهیزات، دستگاه‌های شناسایی و شرایط انجام آزمون‌ها
- ۱-۲-۲ دستگاه مولد التراسونیک
- ۲-۲-۲ دستگاه مخلوط کن داخلی
- ۳-۲-۲ شکل‌دهی توسط دستگاه پرس گرم
- ۴-۲-۲ طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه
- ۵-۲-۲ آزمون تجزیه گرما وزن‌سنجی
- ۶-۲-۲ آزمون مغناطیس‌سنجی
- ۷-۲-۲ دستگاه گرماسنجی تفاضلی پویشی
- ۸-۲-۲ دستگاه اندازه‌گیری آزمون‌های دینامیکی - مکانیکی
- ۹-۲-۲ مطالعه اثرحافظه شکلی
- ۱۰-۲-۲ دستگاه تفرق اشعه X با زاویه پهن
- ۱۱-۲-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۱۲-۲-۲ آزمون رئولوژیکی

- ۱۳-۲-۲ آزمون مقاومت سنجی
- ۳-۲ تهیه نانوذرات مگنتیت ابرپارامغناطیس
- ۴-۲ تهیه مستریج مغناطیسی
- ۵-۲ تهیه کامپوزیت سه جزئی PU/PCL/nanomagnetite

فصل سوم نتایج و بحث

- ۱-۳ مقدمه
- ۲-۳ بررسی ماهیت و مورفولوژی نانوذرات مگنتیت سنتزی
- ۱-۲-۳ نتایج طیف بینی زیر قرمز تبدیل فوریه
- ۲-۲-۳ آزمون تفرق اشعه ایکس
- ۳-۲-۳ نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۳-۳ بررسی خواص مستریج مغناطیسی
- ۱-۳-۳ پایداری حرارتی
- ۲-۳-۳ رفتار مکانیکی - دینامیکی
- ۳-۳-۳ آزمون مغناطیس سنجی
- ۴-۳-۳ بررسی مورفولوژی از طریق میکروسکوپ الکترونی
- ۴-۳ کامپوزیت‌های سه جزئی PU/PCL/nanomagnetite
- ۱-۴-۳ آزمون DSC و تحلیل حرارتی کامپوزیت‌ها
- ۱-۱-۴-۳ بررسی سازگاری اجزا در سامانه کامپوزیتی
- ۲-۱-۴-۳ بررسی بلورینگی پلی کاپرولاکتون در کامپوزیت‌ها
- ۲-۴-۳ آزمون تفرق اشعه ایکس در کامپوزیت‌ها
- ۳-۴-۳ بررسی خواص دینامیکی - مکانیکی کامپوزیت‌ها

..... ۴-۴-۳ مطالعه مورفولوژی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی

..... ۵-۴-۳ بررسی رفتار رئولوژیکی

..... ۶-۴-۳ بررسی مقاومت الکتریکی

..... ۷-۴-۳ بررسی میزان بازگشت پذیری شکلی در کامپوزیت‌ها

..... ۹۰-۱-۷-۴-۳ بررسی میزان بازگشت پذیری شکلی به روش دستی

..... فصل چهارم نتیجه‌گیری

..... فصل پنجم پیشنهادها برای تحقیقات آینده

..... مراجع

..... واژه نامه فارسی به انگلیسی

..... واژه نامه انگلیسی به فارسی

- شکل ۱-۱ ساختارهای بلوری آستنیت و مارتنزیت
- شکل ۲-۱ نمایی از نحوه برنامه‌دهی به پلیمرهای حافظه‌دار شکلی
- شکل ۳-۱ نمایی از اثر حافظه شکلی با تحریک حرارتی
- شکل ۴-۱ اثر حافظه شکلی با تحریک حرارتی نمونه (الف) کوپلیمر بلوکی با $T_{trans}=T_m$ ، نمونه (ب) پلیمر شبکه‌ای با اتصالات عرضی کوولانسی و نمونه (ج)، پلیمر شبکه‌ای با $T_{trans}=T_g$
- شکل ۵-۱ نتایج آزمونهای چرخه‌ای در حالت دو بعدی
- شکل ۶-۱ نتایج آزمونهای چرخه‌ای در حالت سه بعدی
- شکل ۷-۱ نمایی از یک کوپلیمر قطعه‌ای
- شکل ۸-۱ ساختار کوپلیمر پیوندی
- شکل ۹-۱ ساختار یک کوپلیمر تصادفی
- شکل ۱۰-۱ ساختار میکروفازی PU
- شکل ۱۱-۱ مواد مورد استفاده در سنتز پلی یورتان
- شکل ۱۲-۱ نمایی از ساختار دامنه پلی یورتان بخش‌دار
- شکل ۱۳-۱ پیوندهای هیدروژنی موجود بین گروه‌های مختلف پلی یورتان
- شکل ۱۴-۱ نمایی از نحوه سنتز پلی کاپرولاکتون
- شکل ۱۵-۱ نمونه‌ای از منحنی مغناطش
- شکل ۱۶-۱ الگویی از قرارگیری اسپین‌ها و نحوه پاسخ گویی به میدان خارجی
- شکل ۱۷-۱ رفتار منحنی مغناطش نمونه ابرپارامغناطیسی
- شکل ۱۸-۱ تاثیر میدان مغناطیسی بر آرایش نانوذرات مغناطیسی
- شکل ۱۹-۱ منحنی‌های DSC برای کامپوزیت‌های پلی یورتان
- شکل ۲۰-۱ منحنی‌های گرما وزن سنجی مربوط به کامپوزیت‌های پلی یورتان
- شکل ۲۱-۱ منحنی‌های تانژانت دلتا مربوط به کامپوزیت‌های پلی یورتان
- شکل ۲۲-۱ مقادیر مقاومت حجمی ویژه مربوط به کامپوزیت‌های
- شکل ۲۳-۱ درصد بلورینگی فاز نرم در نانو کامپوزیت‌های پلی یورتان حافظه‌دار پر شده با CNF
- شکل ۲۴-۱ میزان تثبیت شکلی در نانو کامپوزیت‌های پلی یورتان حافظه‌دار پر شده با CNF
- ۲۹.....

- شکل ۱-۲۵ درصد بازگشت شکلی برای پلی یورتان و نانوکامپوزیت‌های آن.....
- شکل ۱-۲۶ نمودارهای مدول ذخیره و تانژانت دلتا برای کامپوزیت‌های پلی کاپرولاکتون.....۴۰
- شکل ۱-۲۷ گرانی کامپلکس مربوط به کامپوزیت‌های پلی کاپرولاکتون.....
- شکل ۱-۲ ساختار پلی یورتان بر پایه پلی کاپرولاکتون.....
- شکل ۲-۲ واحد ساختاری پلی کاپرولاکتون.....
- شکل ۲-۳ ساختار تتراهیدروفوران.....
- شکل ۲-۴ سامانه طراحی شده برای اختلاط محلولی کارآمد.....
- شکل ۳-۱ رفتار حرارتی پلی یورتان خالص بر پایه پلی کاپرولاکتون.....
- شکل ۳-۲ طیف مادون قرمز (FT-IR) نانوذرات مگنتیت اصلاح شده با الیک اسید.....
- شکل ۳-۳ طیف XRD نانوذرات مگنتیت اصلاح شد.....
- شکل ۳-۴ میکروگراف‌های SEM از نانوذرات مگنتیت سنتزی.....
- شکل ۳-۵ منحنی‌های حرارتی (TGA: a) نانومگنتیت، (b) مستریج مغناطیسی و (c) نمونه PU.....
- شکل ۳-۶ مقایسه منحنی‌های DMA برای نمونه‌های PU و مستریج مغناطیسی (M-PU).....
- شکل ۳-۷ شمایی از گروه‌های عاملی تشکیل شده بر سطح نانوذرات مگنتیت در اثر اصلاح سطحی.....
- شکل ۳-۸ منحنی‌های رفت و برگشتی مغناطش نانوذرات مگنتیت اصلاح شده با الیک اسید.....
- شکل ۳-۹ منحنی‌های رفت و برگشتی مغناطش مستریج مغناطیسی.....
- شکل ۳-۱۰ میکروگراف‌های SEM مستریج مغناطیسی.....
- شکل ۳-۱۱ طیف‌های DSC از PU، PCL و آمیخته‌های PU/PCL محتوی ۸ درصد وزنی نانومگنتیت در ناحیه انتقال شیشه‌ای.....
- شکل ۳-۱۲ طیف‌های DSC از PU، PCL و آمیخته‌های PU/PCL محتوی ۸ درصد وزنی نانومگنتیت در ناحیه تبلور.....
- شکل ۳-۱۳ طیف‌های DSC از PU، PCL و آمیخته‌های PU/PCL محتوی ۸ درصد وزنی نانومگنتیت در ناحیه ذوب.....
- شکل ۳-۱۴ طیف‌های DSC از آمیخته ۷۰/۳۰ در ناحیه تبلور.....
- شکل ۳-۱۵ طیف‌های DSC آمیخته (۷۰/۳۰) PU/PCL در ناحیه ذوب.....
- شکل ۳-۱۶ درصد بلورینگی فاز نرم برای آمیخته (۷۰/۳۰) PU/PCL و کامپوزیت‌ها.....
- شکل ۳-۱۷ طیف‌های XRD آمیخته (۷۰/۳۰) PU/PCL با درصدهای مختلف نانومگنتیت.....
- شکل ۳-۱۸ تغییرات مدول ذخیره بر حسب دما برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن.....۷۹
- شکل ۳-۱۹ تغییرات مدول اتلاف بر حسب دما برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن.....۸۰
- شکل ۳-۲۰ تصویر SEM از سطح شکست نمونه ۷۰/۳۰/۸.....

شکل ۳-۲۱ تصاویر SEM از سطح شکست الف- نمونه ۷۰/۳۰/۸ با بزرگنمایی ۲۵۰۰ ب- نمونه ۶۰/۴۰/۸ با بزرگنمایی ۲۵۰۰ ج- نمونه ۶۰/۴۰/۸ با بزرگنمایی ۸۰۰۰ د- نمونه ۵۰/۵۰/۸ با بزرگنمایی ۸۰۰۰

شکل ۳-۲۲ تصاویر SEM از سطح شکست نمونه‌های ۷۰/۳۰/۰ (الف) و ۷۰/۳۰/۵

شکل ۳-۲۳ منحنی‌های مدول ذخیره بر حسب بسامد برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن ..

شکل ۳-۲۴ منحنی‌های مدول اتلاف بر حسب بسامد برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن ..

شکل ۳-۲۵ منحنی‌های گرانشی کمپلکس بر حسب بسامد برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌ها.....

شکل ۳-۲۶ مقاومت ویژه آمیخته (۷۰/۳۰) PU/PCL و کامپوزیت‌های آن ..

شکل ۳-۲۷ الف- گرمایش آمیزه PU/PCL تا بالای دمای ذوب PCL و پایداری ابعادی نمونه.....

شکل ۳-۲۸ نتایج بازگشت‌پذیری بر حسب زمان الف- نمونه ۷۰/۳۰/۱ ب- نمونه ۷۰/۳۰/۲.....۸۹

شکل ۳-۲۹ طول بازگشتی (جمع شدگی) بر حسب زمان را برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌ها.....۹۰

شکل ۳-۳۰ درصد بازگشت شکلی بر حسب دما برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
	جدول ۱-۱ نسبت سطح زیر منحنی کربونیل پیوندی به کل کربونیل (آزاد و پیوندی) در نانوکامپوزیت‌های پلی‌یورتان حافظه‌دار با درصدهای مختلف خاک‌رس
	جدول ۱-۲ مشخصات فیزیکی- مکانیکی پلی‌یورتان
	جدول ۲-۲ خواص فیزیکی پلی‌کاپرولاکتون
	جدول ۳-۲ خواص حلال THF
	جدول ۴-۲ دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق و محل آن‌ها
۷۱	جدول ۱-۳ آنتالپی مذاب آمیخته‌های PU/PCL محتوی ۸ درصد نانومگنتیت، PCL و PU خالص
	جدول ۳-۲ آنتالپی مذاب آمیخته ۷۰/۳۰ با درصدهای مختلف نانومگنتیت
	جدول ۳-۳ دمای تبلور بخش‌های سخت و نرم در آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن
	جدول ۳-۴ دمای ذوب جزء PCL در آمیخته ۷۰/۳۰ با درصدهای مختلف نانومگنتیت
۷	جدول ۳-۵ نتایج محاسبه شده از آزمون XRD برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن
	جدول ۳-۶ مقادیر دمای انتقال شیشه‌ای برای آمیخته ۷۰/۳۰ و کامپوزیت‌های آن

فصل اول

نظری

در این فصل ابتدا مقدمه‌ای راجع به مواد حافظه‌دار شکلی بیان می‌شود. پس از مروری بر ساختار، خواص و کاربردهای پلی‌یورتان‌ها و پلی‌کاپرولاکتون، در ادامه به معرفی مغناطیس، انواع رفتار مغناطیسی، مگنتیت و نحوه سنتز نانوذرات آن پرداخته می‌شود و در آخر مروری اجمالی بر رفتار و خواص نانوکامپوزیت‌ها بر پایه پلی‌یورتان و پلی‌کاپرولاکتون صورت می‌گیرد.

۱-۱ مواد هوشمند^۱

۱-۱-۱ مقدمه

هوشمندی به معنای درک سریع، سرعت پاسخگویی بالا و توانایی محاسبات آگاهانه در سامانه^۲ است. عبارت پاسخ در این جا به صورت تغییر در شکل ظاهری، میزان حلالیت، مشخصات سطحی و یا انتقال از حالت محلول به ژل تعریف می‌شود. از جمله مواد هوشمند می‌توان موارد ذیل را برشمرد.

- مواد پیزو الکتریک^۳

مواد هوشمندی هستند که با اعمال تنش، ولتاژ الکتریکی^۴ تولید می‌کنند. این اثر دو سویه است، به این معنا که با اعمال ولتاژ الکتریکی به نمونه می‌توان تنش تولید کرد.

- پلیمرهای حساس به pH

موادی هستند که با تغییر pH محیط اطراف، متورم می‌شوند.

- مواد هالوکرومیک^۵

دسته‌ای از مواد هوشمند هستند که با تغییر اسیدیته^۶ محیط، تغییر رنگ می‌دهند.

- سامانه‌های کروموژنیک^۷

سامانه‌هایی هستند که به تغییرات حرارتی، نوری و یا الکتریکی از طریق تغییر رنگ پاسخ می‌دهند.

¹ Smart Mterials

² System

³ Piezoelectric

⁴ Electrical Voltage

⁵ Halochromic

⁶ Acidity

⁷ Chromogenic Systems

- سیالات غیر نیوتنی^۱

سیالاتی هستند که گرانیروی^۲ آن‌ها در پاسخ به نیرو یا فشار خارجی تغییر می‌کند [۱].

- مواد حافظه‌دار شکلی^۳

این مواد در ادامه به تفصیل بررسی می‌شوند.

۱-۱-۲ مواد حافظه‌دار شکلی

مواد حافظه‌دار شکلی دسته‌ای از مواد هوشمند هستند که قادرند به محرک‌های^۴ خارجی مانند حرارت [۲]، الکتریسیته [۳]، مغناطیس [۴]، نور [۵]، رطوبت [۶] و pH از طریق تغییر در شکل ظاهری پاسخ دهند [۷]. از جمله مواد حافظه‌دار شکلی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

۱-۲-۱-۱ آلیاژهای حافظه‌دار شکلی^۵

واژه آلیاژ حافظه‌دار شکلی بیانگر گروهی از آلیاژهاست که قابلیت به خاطر آوردن شکل قبلی خود را در اثر اعمال حرارت دارند. پدیده حافظه‌شکلی در آلیاژها برای اولین بار در سال ۱۹۳۸ در آلیاژ مس و روی مشاهده شد. تحقیقات بعدی انجام شده در دانشگاه Illinois نشان داد که این خاصیت در آلیاژهای گوناگون نظیر AuCd، FePt، FeNi و NiAl و فولاد ضد زنگ نیز وجود دارد. با این وجود، اهمیت واقعی حافظه‌شکلی زمانی آشکار گردید که این پدیده توسط W. J. Buehler (سال ۱۹۶۳-۱۹۶۲) در آمریکا و بر روی آلیاژ نیکل و تیتانیوم که در اصطلاح به آن نیتینول (آلیاژی از نیکل و تیتانیوم با تعداد اتم‌های مساوی) گفته می‌شود، ملاحظه شد [۸]. در نیتینول اثر حافظه شکلی براساس انتقال فازی رخ می‌دهد. این آلیاژ از یک دمای بالا یا از حالتی که تقارن مکعبی (آستنیت^۶) دارد تا دمایی که تقارن کمتری (مارتنزیت^۷) ایجاد می‌کند، سرد می‌شود. به طور کلی آستنیت در دماهای بالا و مارتنزیت در دماهای پایین پایدار است.

¹ Non-Newtonian

² Viscosity

³ Shape Memory Material

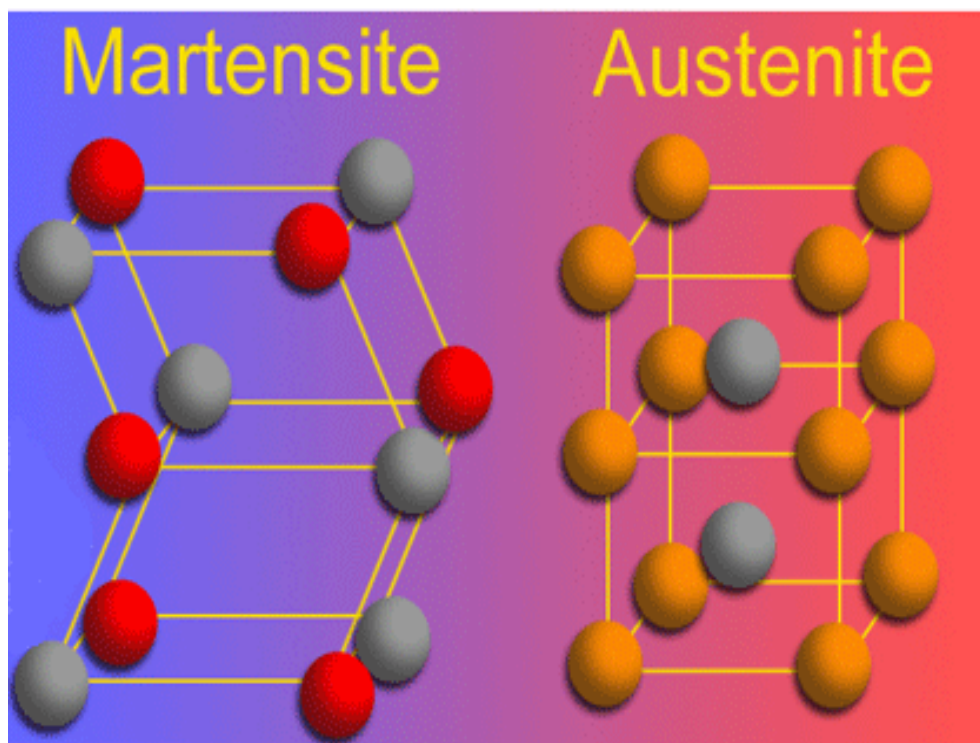
⁴ Stimuli

⁵ Shape Memory Alloy (SMA)

⁶ Austenite

⁷ Martensite

در شکل ۱-۱، ساختار این دو فاز مشاهده می‌شود. فاز متقارن با برنامه‌ریزی دمایی که شامل گرم کردن تا حدود 450°C است، کنترل می‌شود و شکل موقت^۱، با تغییر شکل ماده در این فاز به وجود می‌آید. فاز غیرمتقارن به کمک گرم کردن نمونه تا دمایی بالاتر از دمای انتقال حاصل می‌گردد و بازگشت به شکل دائمی^۲ ماده تا تغییر شکل‌های حداکثر ۸ درصد امکان‌پذیر است [۹].



شکل ۱-۱ ساختارهای بلوری آستنیت و مارتنزیت [۹]

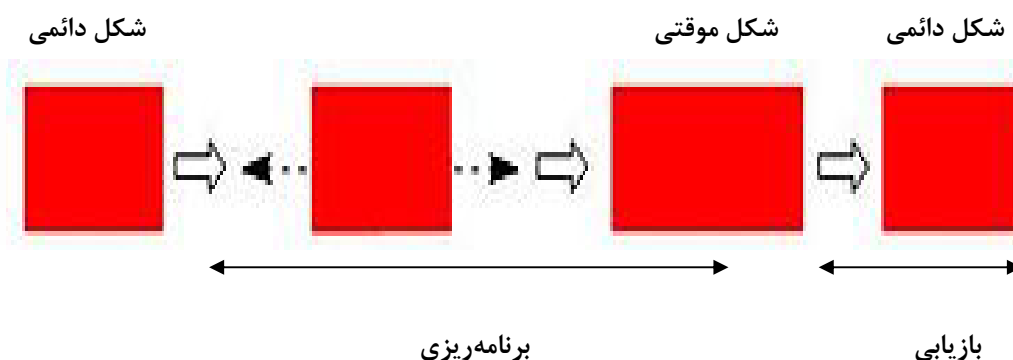
از جمله کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی می‌توان به مواردی مانند سیم‌های اصلاح ناهنجاری-های دندان و قاب‌های انعطاف پذیر عینک، جراحی ارتوپدی^۳، رباتیک^۴ و موتور هواپیما اشاره کرد [۱۰].

¹ Temporary Shape
² Permanent Shape
³ Orthopaedic Surgery
⁴ Robotics

شیشه‌ای آن است) دارند. از جمله این مزایا، بازگشت شکلی^۱ کاملتر در دامنه دمایی باریکتر و همچنین چقرمگی^۲ بالاتر به علت حضور بلور در ساختار پلیمر را می‌توان نام برد [۱۱].

از نقطه نظر تاریخچه، پلیمر حافظه‌دار شکلی اولین بار توسط یک کمپانی شیمیایی فرانسوی در سال ۱۹۸۴ تحت نام تجاری پلی نوبورن^۳ ارائه شد. اولین پلیمر حافظه‌دار شکلی با قابلیت تحریک حرارتی، پلی اتیلن شبکه‌ای شده^۴ با اعمال اشعه یونی بود که کاربردهای وسیعی در ساخت فیلم‌ها و لوله‌های با قابلیت چروکیدگی حرارتی^۵ برای عایق‌بندی سیم‌های الکتریکی و یا حفاظت از خطوط انتقال در برابر خوردگی دارد. به تدریج گونه‌های مختلفی از پلیمرها که در بیشتر آن‌ها شبکه کشسانی^۶ از اتصالات عرضی فیزیکی تشکیل شده بود، سنتز^۷ شدند که در میان آن‌ها الاستومرهای گرمانرم^۸، به خصوص پلی‌یورتان‌ها^۹ از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۱۷].

همان طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود، پلیمر حافظه‌دار شکلی تحت فرآیندی به نام برنامه‌ریزی^{۱۰}، از شکل دائمی به شکل موقت تغییر می‌نماید. سپس با به کارگیری تحریک خارجی، به شکل اولیه خود بازمی‌گردد.



شکل ۱-۲ نمایی از نحوه برنامه‌دهی به پلیمرهای حافظه‌دار شکلی [۱۲]

- 1 Shape Recovery
- 2 Toughness
- 3 Polynorbornene
- 4 Crosslinked Polyethylene
- 5 Heat Shrinkable
- 6 Elastic Network
- 7 Synthesis
- 8 Thermoplastic Elastomers
- 9 Polyurethanes
- 10 Programming