باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب هادی خسروجردی متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و فهرست منابع و مأخذ گردیده است. این پایان نامه / رساله قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

هادی خسروجردی

امضاء

دانشکده مکانیک

بررسی تاثیر نانو ذرات کربنات کلسیم بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین

نگارش:

هادی خسروجردی

استاد راهنما: دکتر امیر عابدی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

اردیبهشت ماه 1391

چکیده

یکی از محدودیت های اصلی در بکارگیری پلیمرها، بخصوص پلیمرهای گرمانرم مانند پلی اتیلن با چگالی پایین ، خواص حرارتی وخزشی ضعیف مواد می باشد. در این تحقیق تاثیر نانو ذرات تقویت کننده کربنات کلسیم بر رفتار خزشی و ریز ساختار نانو کامپوزیت زمینه پلی اتیلن با چگالی پایین مورد مطالعه قرار گرفته شده است. بنا براین ، نمونه های نانوکامپوزیتی با درصد های مختلف 0 ، 2/5 ، 5 ، 7/5 ، 10 % به روش تزریق تهیه شد. خواص نانوکامپوزیت پلی اتیلن /کربنات کلسیم با استفاده از پراش اشعه ایکس و آزمایشات خزش، ضربه و کشش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس نشان داد که با افزایش نانوذرات کربنات کلسیم به ماتریس پلی اتیلنی ، درصد بلورینگی آن کاهش می یابد. همچنین آزمون ضربه نشان داد که افزایش نانوذرات تقویت کننده کاهش انرژی واستحکام ضربه را به همراه خواهد داشت و نیز باعث افزایش استحکام نهایی و استحکام تسلیم نانو کامپوزیت می گردد. همچنین نتایج حاصل از خزش کششی نمونه های نانوکامپوزیتی نشان داد که افزایش نانو ذرات کاهش کرنش خزشی و کاهش نرخ خزشی را به همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: نانوذرات، کربنات‌کلسیم، پلی‌اتیلن، نانوکامپوزیت، خواص مکانیکی، رفتارخزشی

فهرست مطالب

فصل اول- مقدمه

1-1- مروری بر فصل‌ها.....2

1-2- مقدمه.....3

1-3- اهداف پروژه 4

فصل دوم- مروری بر منابع

2-1- مقدمه 6

2-2- نانوکامپوزیت های پلیمری 6

2-3- روش های تولید نانوکامپوزیت های پلیمری 7

2-3-1- مخلوط سازی مستقیم 7

2-3-2- فرآوری محلول 8

2-3-3- پلیمریزاسیون درجا 8

2-3-4- اختلاط در حالت مذاب 8

2-4- پلی اتیلن 9

2-4-1- پلی اتیلن با دانسیته پایین 11

2-5- کامپوزیت های پایه پلی اتیلنی 11

2-5-1- کربنات کلسیم 12

2-5-2- اصلاح سطح کربنات کلسیم 12

2-6- خزش در پلیمرها و کامپوزیت های آن 15

2-6-1- تعریف خزش 15

2-6-2- منحنی های خزشی 17

2-6-2-1- منحنی تنش (ایزومتریک) بر حسب زمان 20

2-6-2-2- منحنی مدول خزشی بر حسب زمان 21

2-6-2-3- منحنی تنش همزمان بر حسب کرنش 22

2-6-3- بازیابی خزش 23

2-6-4- آزمایش رهایی از تنش 24

2-6-5- معادلات خزش 25

2-6-6- منحنی های مستر 27

2-7- بیشینه تحقیقات 28

فصل سوم- روش پژوهش

3-1- مقدمه 38

3-2- مواد اولیه 38
3-2-1- پلی اتیلن.....38
3-2-2- نانو ذرات کربنات کلسیم 39
3-2-3- اسید استئاریک 40
3-3- روکش دهی نانوذرات 40
3-4- ساخت نانوکامپوزیت ها 42
3-5- بررسی خواص مکانیکی 45
3-6- بررسی رفتارخزشی کششی 47
3-7- آنالیزوزنی حرارتی (TGA).....48
3-8- پراش اشعه ایکس (XRD) 49
3-9- میکروسپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) 50

فصل چهارم- نتایج و بحث وبررسی

4-1- مقدمه 52
4-2- بررسی توزیع نانوذرات باروکش اولیه در ماتریس پلی اتیلنی 53
4-3- اصلاح سطح نانوذرات 55
4-4-بررسی تاثیر اصلاح سطح نانوذرات کربنات کلسیم بر خواص مکانیکی نانوکامپوزیت 57

4-5- تاثیر نانو ذرات در مقاومت ضربه نانو کامپوزیت پلی اتیلن/کربنات کلسیم 59

4-6- تاثیر نانو ذرات در استحکام کششی نانو کامپوزیت پلی اتیلن/کربنات کلسیم 63

4-7- تاثیر نانو ذرات کربنات کلسیم در مورفولوژی ومیزان کریستالی بودن پلی اتیلن.....65

4-8- تاثیر نانو ذرات در رفتارخزشی نانو کامپوزیت پلی اتیلن/کربنات کلسیم 69

فصل پنجم- نتیجه گیری

5-1- مقدمه 77

5-2- بحث ونتیجه گیری نهایی 77

5-3- پیشنهاد برای ادامه کار 80

منابع 81

فهرست اشکال

شکل 2-1- واکنش تهیه ی پلی اتیلن 10

شکل2-2- تاثیر پوشش نانوذرات کربنات کلسیم (الف) برمیزان بهم چسبیدگی نانوذرات (ب) بر چقرمگی شکست ذرات کربنات کلسیم کامپوزیت پلی اتیلن با چگالی بالا تقویت شده با 10درصد نانوذرات کربنات کلسیم 14

شکل2-3 - شماتیکی از منحنی های خزش 16

شکل2-4- شماتیکی از بخش های مختلف منحنی های خزش 17

شکل 2-5- تاثیر تنش را بر رفتار خزشی مواد پلیمری 18

شکل 2-6- اثر دما را بر منحنی خزش 19

شکل 2-7- منحنی تنش (ایزومتریک) برحسب زمان در مقدار ثابت کرنش،$\varepsilon_1<\varepsilon_2<\varepsilon_3$.....21

شکل 2-8- منحنی تغییرات مدول خزشی بر حسب زمان ،$\sigma_3<\sigma_2<\sigma_1$ 22

شکل 2-9- تغییرات تنش همزمان برحسب کرنش در زمانهای مختلف ، $t_3 > t_2 > t_1$ 23

شکل 2-10- شماتیکی از نمودارهای خزشی و بازیابی خزشی 24

شکل 2-11 - شماتیکی از نمودارهای رهایی از تنش 24

شکل 2-12 - نمونه ای از منحنی های مستر برای پیش بینی رفتار خزشی کامپوزیت های پلیمری 28

شکل 2-13 - شماتیکی از دستگاه طراحی شده برای تست خزش در تنش ثابت 29

شکل 2-14 - رفتار خزش پلی اتیلن با درصد کریستالی مختلف در دماهای مختلف و تنش ثابت 30

شکل 2-15 - تاثیر دما بر رفتار خزشی پلی اتیلن تقویت شده با 50% الیاف پلی اتیلنی 31

شکل 2-16 - تاثیر تنش اعمالی مختلف بر رفتار خزشی پلی اتیلن تقویت شده با 50% الیاف پلی اتیلنی.31

شکل 2-17 - بررسی تجربی و تئوری رفتار خزشی پلی اتیلن تقویت شده با درصدهای مختلف الیاف پلی اتیلنی 32

شکل 2-18- تاثیر نانوذرات TiO_2 بر رفتار خزشی پلی آمید66 33

شکل 2-19 - تاثیر درصدهای حجمی مختلف نانوclay بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین در دمای 25 درجه سانتیگراد 34

شکل 2-20 - تاثیر تاثیر درصدهای حجمی مختلف نانوclay بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین در دمای 50 درجه سانتیگراد 34

شکل 2-21 - تاثیر درصدهای حجمی مختلف نانوclay بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین در دمای 75 درجه سانتیگراد.....35

شکل 2-22- تاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر کرنش خزشی پلی اتیلن با چگالی متوسط 36

شکل 2-23 - دتاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر نرخ خزشی پلی اتیلن با چگالی متوسط 36

شکل3-1 - الف) پودر نانو ذرات کربنات کلسیم ب) تصویر گرفته شده توسط FESEM در بزرگنمایی 30000 برابر 39

شکل 3-2- مشخصات فنی اسید استاریک مورد استفاده 40

شکل 3-3 - تصویر مراحل مختلف روکش دهی نانو ذرات (الف)وزن کردن نانوذرات (ب) مگنت استفاده شده جهت همزدن (ج) اضافه کردن آب و الکل و نانوذرات وهم زدن آنها (د) حل کردن اسیداستئاریک در الکل جهت اضافه کردن به نانوذرات (ه) خشک کردن نانو ذرات 41

شکل 3-4 - شماتیک دستگاه اکسترود دوپیچه همسوگرد مورد استفاده 43

شکل 3-5- دستگاه اکسترود دوپیچه مورد استفاده درساخت نانو کامپوزیت (الف) تصویر دستگاه اکسترود (ب) موادخروجی اکسترود (ج)ورود مواد به آسیاب (د) خروجی مواد از آسیاب 43

شکل 3-6 - شماتیکی از نمونه های الف)خزش ب) کشش ج) ضربه.....44

شکل 3-7 - تصویری از نمونه های خروجی از دستگاه تزریق.....44

شکل 3-8 - دستگاه تزریق مورد استفاده برای تهیه ی نمونه های آزمایش 45

شکل 3-9 - دستگاه کشش Zwick/Roell مدل 46

شکل 3-10 - الف)دستگاه ضربه آیزود ب) دستگاه ضربه شارپی.....47

شکل 3-11 - دستگاه مورد استفاده جهت آزمون خزش کششی 48

شکل 3-12- تصویر دستگاه TGA 49

شکل 3-13 - تصویر دستگاه XRD.....49

شکل 3-14 - تصویر میکروسکپ الکترونی روبشی گسیل میدانی 50

شکل 3-15 تصویر نمونه های کامپوزیتی با سطح روکش داده شده توسط طلابرای بررسی ریزساختار.....51

شکل 3-16 - دستگاه مورد استفاده جهت روکش دهی سطحی نمونه ها با طلا.....51

شکل 4-1- تصویرمیکروسکپ الکترونی(FESEM) از نمونه نانوکامپوزیتی تقویت شده با 5% نانوذرات کربنات کلسیم بدون اصلاح سطح 54

شکل 4-2-نمودارحاصل از TGA و DTG برای نانوذرات کربنات کلسیم با روکش اولیه 2/5 % اسید استئاریک.....55

شکل 4-3 - نتیجه TGA و DTG برای نانوذرات کربنات کلسیم اصلاح سطحی شده حدود 5-4/5 % اسید استئاریک.....56

شکل 4-4-تصویرمیکروسکپ الکترونی(FESEM) از نمونه نانوکامپوزیتی تقویت شده با 5% نانوذرات کربنات کلسیم اصلاح سطحی شده با 5% وزنی اسید استئاریک.....57

شکل 4-5- تاثیر درصد وزنی روکش نانوذرات کربنات کلسیم بر انرژی ضربه شارپی نانوکامپوزیت پلی اتیلن تقویت شده با 5 % نانوذرات کربنات کلسیم.....58

شکل 4-6- تاثیر درصد وزنی روکش نانوذرات کربنات کلسیم بر خواص کششی نانوکامپوزیت پلی اتیلن تقویت شده با 5 % نانوذرات کربنات کلسیم.....59

شکل 4-7- تاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر انرژی ضربه پلی اتیلن ونانوکامپوزیت های آن.....61

شکل 4-8 - تصاویرریز ساختار میکروسکوپ FESEM (الف) پلی لاتیلن با چگالی پایین (ب) L/C 2.5 (ج) L/C 7.5 (د) L/C 10 (و) L/C 15.....62

شکل 4-9- نمودار تنش – کرنش برای پلی اتیلن با دانسیته کم و نانوکامپوزیت های آن 63

شکل 4-10- تاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر استحکام کششی نهایی پلی اتیلن با دانسیته کم و نانوکامپوزیت های آن 64

شکل 4-11- تاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر کرنش شکست پلی اتیلن با دانسیته کم و نانوکامپوزیت های آن

64.....

شکل 4-12- نمودار حاصل از آزمون XRD برای پلی اتیلن با چگالی پایین 66

شکل 4-13 - نمودار حاصل از آزمون XRD برای پلی اتیلن تقویت شده با 5% نانو کربنات کلسیم.....66

شکل 4-14 - تطبیق نمودارهای حاصل از آزمون XRD برای پلی اتیلن باچگالی پایین و پلی اتیلن تقویت شده با 5% نانو کربنات کلسیم 67

شکل 4-15- ساختار اسفرولیت. نواحی کریستالی در اسفرولیت بصورت شعاعی جهت گیری می کنند، از یک نقطه شروع به شکل گیری می کنند ودر ان شاخه ها ی مولکولی بصورت شیب دار جهت گیری کرده وبین نواحی کریستالی را نواحب آمورف در بر می گیرد (الف) نمایش شماتیک (ب) تصویر SEM 68

شکل 4-16- تطبیق پیک های حاصل از XRD نانوکامپوزیت با PDF کارت استاندارد با شماره ی 86-2339 برای شناسایی ماهیت کربنات کلسیم 69

شکل 4-17- بررسی ثاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین در بار ثابت 5 مگاپاسگال ودمای محیط (25^oc) 70

شکل 4-18- بررسی ثاثیردرصد وزنی نانوذرات کربنات کلسیم بر نرخ خزش در مرحله دوم خزشی تحت تنش ثابت 5 مگاپاسکال و دمای 25درجه سانتیگراد 70

شکل 4-19- بررسی ثاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین در بار ثابت 8 مگاپاسگال ودمای محیط (25^oc) 71

شکل 4-20- بررسی ثاثیردرصد وزنی نانوذرات کربنات کلسیم بر نرخ خزش در مرحله دوم خزشی تحت تنش ثابت 8 مگاپاسکال و دمای 25درجه سانتیگراد.....72

شکل 4-21- بررسی ثاثیر نانوذرات کربنات کلسیم بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین در بار ثابت 11 مگاپاسگال ودمای محیط (25^oc) 73

شکل 4-22- بررسی ثاثیر تنش های مختلف بر رفتار خزشی پلی اتیلن با چگالی پایین تقویت شده با 7/5 % نانوذرات در دمای محیط (25^oc) 75

فهرست جداول

جدول 3-1- مشخصات پلی اتیلن با دانسیته پایین LF0200 38

جدول 3-2- اطلاعات فنی نانو کربنات کلسیم گزارش شده توسط شرکت تولید کننده.....39

جدول 3-3 - ترکیب مختلف نانوکامپوزیت های پلی اتیلنی با درصد های مختلف نانوذرات کربنات کلسیم ساخته شده.....42

جدول 4-1- تاثیر میزان روکش نانوذرات با اسید استئاریک برانرژی ضربه شارپی نانوکامپوزیت پلی اتیلنی تقویت شده با 5 % نانوذرات کربنات کلسیم.....58

جدول 4-2- انرژی ضربه شارپی برای پلی اتیلن با دانسیته کم و نانوکامپوزیت های آن.....60

جدول 4-3- انرژی ضربه آیزود برای پلی اتیلن با دانسیته کم و نانوکامپوزیت های آن.....60

جدول 4-4 - نرخ خزشی در مرحله دوم خزشی برای پلی اتیلن با دانسیته کم و نانوکامپوزیت های آن در تنش های مختلف 74

فصل اول:

مقدمه

1-1- مروری بر فصل‌ها

این پایان نامه مشتمل بر پنج فصل است که بترتیب زیر در پایان نامه گردآوری شده‌اند:

- فصل1 تحت عنوان "مقدمه"
- فصل2 تحت عنوان "مروری بر منابع"
- فصل3 تحت عنوان "روش پژوهش"
- فصل4 تحت عنوان " بحث و نتیجه گیری"
- فصل5 تحت عنوان " نتیجه‌گیری"

در **فصل اول** مختصری درباره تاریخچه وکاربرد کامپوزیت ها توضیح داده شده است ودرپایان فصل اهداف پروژه و زمینه کاری آن بیان شده است

در **فصل دوم** مباحثی درمورد نانوکامپوزیت ها ، بخصوص کامپوزیت های زمینه پلیمری و خزش در کامپوزیت ها بیان شده است و مروری بر مهمترین تحقیقات انجام شده در بررسی رفتار خزشی کامپوزیتهای پایه پلیمری شده است.

در **فصل سوم** به معرفی مواد مورد استفاده در این پژوهش وهمچنین نحوه ی ساخت نانو کامپوزیتها و نحوه ی تهیه ی نمونه های آزمایش پرداخته شده است. وهمچنین تجهیزات وابزار بکار گرفته شده در این پژوهش بطور کامل توضیح داده شده است.

در **فصل چهارم** بطور کامل به تفسیر نتایج حاصل از آزمایشات تجربی پرداخته شده است ونتایج و نمودارهای حاصل مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت .

در **فصل پنجم** در ابتدا به نتایج کلی حاصل از آزمایشات تجربی پرداخته شده است و در پایان فصل، پیشنهادهایی برای ادامه کار ارائه شده است.

2-1- مقدمه

کامپوزیت[1] ها از جمله این مواد مهندسی هستند که از سال 1940 میلادی با معرفی کامپوزیت های پلیمری مورد توجه صنایع قرارگرفته اند. در این سال برای اولین بار الیاف شیشه جهت تقویت پلاستیک های مصرفی در ساخت پوشش پلاستیکی آنتن رادار هواپیما استفاده شد[1]، سپس، پس از چندین شکست در پروژه های نظامی و صنعت هوا- فضا، از سال 1960 به صورت جدی از این مواد در کار برد های مختلف از جمله اجزای اتومبیل، کالا های ورزشی، اجزای هواپیما، صنایع در یایی وصنعت نفت مورد استفاده قرار گرفت. ماده کامپوزیتی از ترکیب دو یا چند ماده ساخته می شود تا خواص کم نظیر را ایجاد کنند. ایده ساخت کامپوزیت توسط بشر کشف نشد، بلکه این مواد در طبیعت وجود دارند. برای مثال چوب که از ترکیبی از الیاف سلولزی در زمینه چسبی به نام لیگین تشکیل شده است، یک کامپوزیت است و یا صدف جانوران بی مهره مانند حلزون نمونه هایی از کامپوزیت های طبیعی می باشند. معمولا کامپوزیت ها از یک زمینه یا «ماتریس[2] » ومواد تقویت کننده[3] تشکیل شده است. زمینه می تواند از جنس فلز، سرامیک ، پلاستیک ویا مواد بین فلزی با شد[2]. فاز تقویت کننده باعث افزایش استحکام و سختی کامپوزیت ها می شود در حالیکه زمینه سبب سختی و مقاومت خوردگی می شود. فاز تقویت کننده می تواند به شکل های مختلفی ازجمله صفحه، ذره ، ویسکرز، الیاف به هم پیوسته بلند ویا کوتاه وجود داشته باشد[3]. سختی، استحکام دهی، پایداری گرمایی، هدایت الکتریکی و... وظایف اصلی ومهم فاز تقویت کنند در کامپوزیت ها می باشد. زمینه ذرات را می پوشاند خواص شکل دهی انعطاف پذیری استحکام فشاری وسطح پرداخت شده خوب بوجود می آورد[۴،۵] .

یکی از مهمترین عوامل اثر گذار بر خواص کامپوزیت ها، وضعیت فاز تقویت کننده از جمله شکل، اندازه ودر صد حجمی این فاز می باشد. تقویت کننده به دلیل استحکام و مدول الاستیک زیادی که دارد نه تنها سبب تقویت استحکام مواد مرکب می گردد بلکه موجب تغیراتی در ریز ساختار زمینه می شود و از این راه نیز خواص کامپوزیت تحت تاثیر قرار می گیرد. کامپوزیت ها را می توان به عنوان دسته ای از مواد پیشرفته در نظر گرفت که دارای وزن کم، استحکام بالا، مدول الاستیسیته زیاد، ضریب انبساط حرارتی کم ومقاومتی سایشی خوب می باشند. معمولا ترکیبی از این خواص به تنهایی در یک ماده ساده یافت نمی شود. افزودن ذرات مستحکم با مدول الاستیسیته بالا به زمینه نرم ودارای استحکام پایین، ماده ای را ایجاد می کند که خواصی بینا بین ذرات دهنده و زمینه داشته باشد. در سالهای اخیر تحقیقات صورت گرفته نشان داد که هر چه اندازه فاز تقویت کننده کوچکتر گردد بدلیل افزایش سطح مشترک بین ماتریس و تقویت کننده و همچنین کوچک شدن مراکز تمرکز تنش سبب افزایش خواص

[1] -composite
[2] -matrix
[3] -reinforcement

مکانیکی و کارایی کامپوزیت می گردد [6] . بدین سبب در اواخر قرن بیستم زمینه جدیدی تحت عنوان نانو کامپوزیت[1] ها وارد عرصه علم و فن آوری شد، از این رو استفاده از فاز تقویت کنده در ابعاد نانو متریک (کمتر از 100نانو متر)در ساخت کامپوزیت ها مورد توجه فراوانی قرار گرفته است [7].

در بین نانوکامپوزیت ها ،نانوکامپوزیت های زمینه پلیمری توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. مقاومت به خوردگی در محیط های اسیدی و بازی، سبکی، سهولت تولید و هزینه های تولید ونگهداری کم ازجمله خواصی است که باعث شده است کامپوزیت های زمینه پلیمری بیشترین درصد تولیدات کامپوزیتی را به خود اختصاص دهدو با توجه به این خواص ویژه، زمینه را برای جایگزینی این مواد نوین به جای فولاد وآلومینیوم فراهم آورده اند، که این امرموجب کاهش وزن قطعات می شود[8].

از جمله معایب کامپوزیت های پلیمری که مانع کاربرد وسیع این مواد می گردد استحکام و مقاومت حرارتی وابعادی پایین آنهاست. برای بهبود این خواص در دهه اخیر تحقیقات گسترده ای روی پلیمر های مختلف انجام شده است. با توجه به پیشرفت نانوکامپوزیت های پلیمری ، امید بر آن است که بتوان جایگزین مناسب فلزات گردند و قطعات و سازه هایی با وزن کمتر و قیمت خیلی پایین تر تولید نمود.

1-3-اهداف پروژه

در این پژوهش سعی به بهبود استحکام و رفتار خزشی پلی اتیلن، که از جمله پلیمر های گرمانرم پرکاربرد در صنایع مختلف می باشد، شده است. برای این مهم اضافه کردن نانو ذرات کربنات کلسیم به زمینه پلی اتیلنی مورد استفاده قرار گرفته شده است. دلیل استفاده از کربنات کلسیم ، ارزان بودن آن و سازگاری آن با پلیمر های گرمانرم می باشد و سعی شده است ماده ای ارزان و در عین حال با خواص مطلوب تولید گردد و دانش موجود نسبت به رفتار کششی وخزشی پلی اتیلن با چگالی پایین و نانوکامپوزیت های آن را گسترش دهیم. در حال حاضر از این پلیمر بیشتر به عنوان فیلم و در بسته بندی استفاده می شود که با افزایش استحکام و رفتار خزشی آن، می توان دامنه کاری آن را وسعت بخشید.

[1] -nano composite