

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(10) (2022) 1211-1214 DOI: 10.22060/mej.2021.19525.7044

Experimental **Studies** On The Tribology Behavior Of UHMWPE/Zeolite Nanocomposite

R. Mohsenzadeh

Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

ABSTRACT: In this research article, the effect of zeolite nanoparticles on the tribological properties of ultra-high molecular weight polyethylene, which are widely used in orthopedic implants, and its nanocomposites has been studied. Improving the tribological properties of this polymer is one of the medical industry challenges which has an important effect on the life-time of orthopedic implants. Nanocomposites based on ultra-high molecular weight polyethylene blend, containing 2 to 6 wt. % of nano-zeolite, were prepared via melt compounding followed by injection molding. The morphology was studied using scanning electron microscopy. The wear rate and contact temperature of specimens as well as friction coefficient were characterized by employing a pin on disk wear test under 50 N and sliding velocity of 0.5 m/s. The wear rates, contact temperature and friction coefficient of nanocomposite containing 4 wt. % of nano-zeolite, were 56, 32 and 26%, respectively, lower than those of neat ultrahigh molecular weight polyethylene. In contrast, the application of 6 wt. % of nano-zeolite, led to agglomeration and increased wear, temperature and coefficient of friction compared to nanocomposite samples. In addition, the morphology of nanocomposite samples, after testing, revealed a smoother surface with the mild abrasion marks than that of pure ultra-high molecular weight polyethylene sample.

Review History:

Received: Jan. 18, 2021 Revised: Feb. 28, 2021 Accepted: Mar. 31, 2021 Available Online: Apr. 04, 2021

Keywords:

Ultra-high	molecular	weight
polyethylene		
Nano-zeolite		
Nanocompos	ite	
wear		
fiction		

1. INTRODUCTION

Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) is an engineering thermoplastic that is widely employed in advanced engineering application due to its outstanding properties such as high impact resistance [1], selflubricating, chemical inertness and the highest wear resistance as compared to other thermoplastics [2]. One of the applications of this polymer is in the field of orthopedic implants. For decades, the increasing demand of artificial joint implant from the global market has made UHMWPE to become one of the major research interests among researchers and industries. Despite its exceptional properties, the long-term wear problem occurs after certain service period still remained as the challenge.

In some other studies, the effect of mineral particles on the wear properties of polyethylene has been investigated. Mineral particles have been considered as a reinforcement in polymeric matrix due to their properties such as high mechanical properties, low cost and nucleating effect. Zeolite is one of the minerals used in medical, agricultural and other fields to improve mechanical and wear properties. Aksoy et al. [3] reported the mechanical properties of polyurethane films can be enhanced by adding zeolite beta particles. Zeolite-filled epoxy composites resulted significant improvements on the mechanical properties have been reported by Lee et al. [4]. In particular, zeolite

possesses the potential as nucleating agent in promoting nucleation in polymer [5, 6].

In the present research, the wear behavior of UHMWPE/ nano-zeolite nanocomposites in terms of wear and failure are studied. UHMWPE is chosen as polymer matrix because of its relatively desirable properties in terms of heat and wear resistances. Nano-zeolite nanoparticle was employed because of its isotropic geometry and ease of dispersion in polymer matrix. The incorporation of nano-zeolite nanoparticle into polymers can also enhance the heat resistance, rigidity, toughness and tribological performances

2. . MATERIALS AND METHODS

UHMWPE was supplided by BASF. Nano-sized zeolite (Z4A-005-R) with average particle size of 50 nm was supplied by Tsuruta-cho. Different composites containing 0, 2, 4 and 6 wt.% of nano-zeolite were prepared by employing a twin-screw extruder. The nanocomposite wear test samples produced using an injection molding machine at melt temperature of 160°C and mold temperature of 60°C. Prior to extrusion and injection molding, all mixtures were dried at 80°C for 4 hours. The morphology was studied using Scanning Electron Microscopy (SEM). The wear rate and contact temperature of specimens as well as friction coefficient were characterized by employing a pin on disk wear test under 50 N and sliding velocity of 0.5 m/s.

*Corresponding author's email: username@EmailServer.com





Fig. 1. Scanning electron microscopy micrograph for (a) UHMWPE, (b) UHMWPE/2z, (c) UHMWPE/4z and (d) UHMWPE/6z samples



Fig. 3. Comparison of surface temperature variation of samples in wear test

3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1 illustrates SEM images of fractured surfaces of wear samples for pure UHWMPE and UHWMPE nanocomposites with 2, 4 and 6 wt. % of nano-zeolite concentrations. For 4 wt. % nano-zeolite inclusion, a relatively uniform dispersion of nanoparticles is achieved as compared to that of 6 wt. % nano-zeolite contents. However, relatively more agglomerates are found in nanocomposites containing high nano-zeolite (6 wt. %).

The values of the coefficients of friction obtained from the wear test for pure polyethylene and its nanocomposites under 50 N load and constant velocity of 0.5 m/s are shown



Fig. 2. Comparison of the coefficient of friction in terms of test duration for pure and nanocomposite samples



in and Fig. 2. according to the Fig. 2, the addition of zeolite nanoparticles has reduced the coefficient of friction. The lowest coefficient of friction is related to the sample containing 4 wt. % of zeolite nanoparticles. Zeolite nanoparticles with quasi-spherical geometry reduce the direct contact of the polymer in the wear zone and act as a solid lubricant in the contact zone of two surfaces, which leads to a reduction in the contact surface and thus a reduction in the coefficient of friction.

Fig.s 3 and 4 compare the surface temperatures and wear of samples for different compounds, respectively. Under similar working conditions, the teeth temperatures and wear amount of UHMWPE nanocomposites gears are less than UHMWPE. The temperature reduction via addition of the nano-zeolite can be explained by the fact that the nanozeolite has a higher thermal conductivity coefficient than pure UHMWPE and hence superior heat dissipation occurs for nanocomposite. Fig. 5 shows SEM images of the worn surface of pure UHMWPE and nanocomposite samples. The morphology of nanocomposite samples, after testing, revealed a smoother surface with the mild abrasion marks than that of pure UHMWPE sample.

4. CONCLUSIONS

UHMWPE/nano-zeolite nanocomposite samples containing 2 to 6 wt. % of zeolite nanoparticles were produced by injection molding and subjected to a pin on disk test. The incorporation of zeolite nanoparticles significantly reduced the samples temperature and wear. In addition, the morphology of nanocomposite samples, after testing, revealed a smoother surface than that of pure UHMWPE sample.

REFERENCES

[1] S.M. Kurtz, The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement, Elsevier, 2004.

- [2] H. Stein, Engineered Materials Handbook, Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE), (1999).
- [3] S. Sahebian, S. Zebarjad, S. Sajjadi, The effect of temperature and nano-sized calcium carbonate on tensile properties of medium density polyethylene; Asare dama va nanozarat karbonat kalsium bar khavase kesheshi polietilene ba chegali-e motavaset, (2008).
- [4] J.Y. Lee, M.J. Shim, S.W. Kim, Effect of natural zeolite on the mechanical properties of epoxy matrix, Polymer Engineering & Science, 39(10) (1999) 1993-1997.
- [5] M.M. Haque, M. Hasan, TiO2 and zeolite nanopowder enhanced mechanical properties of hybrid polymer composites, Journal of Thermoplastic Composite Materials, (2019) 1-14.
- [6] R. Soenoko, A. Suprapto, Y.S. Irawan, Impact fracture toughness evaluation by essential work of fracture method in high density polyethylene filled with zeolite, FME Transactions, 44(2) (2016) 180-186.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

R. Mohsenzadeh, Experimental Studies on the Tribology behavior of UHMWPE/ zeolite Nanocomposite, Amirkabir J. Mech Eng., 53(10) (2022) 1211-1214.

DOI: 10.22060/mej.2021.19525.7044



This page intentionally left blank

نشریه مهندسی مکانیک امیر کبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳ شماره ۱۰، سال ۱۴۰۰، صفحات ۵۱۵۹ تا ۵۱۶۸ DOI: 10.22060/mej.2021.19525.7044

مطالعه تجربی رفتار سایشی نانوکامپوزیتهای پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا/زئولیت

رسول محسن زاده*

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفهای، تهران، ایران

خلاصه: در این پژوهش، تأثیرتاثیر نانو ذرات زئولیت بر خواص سایشی پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا که کاربرد فراوانی در کاشتنیهای ارتوپدی دارند، مورد مطالعه قرار گرفته است. بهبود خواص سایشی این پلیمر، از جمله چالشهای صنعت پزشکی میباشد و تأثیرتاثیر مستقیم بر عمر کاشتنیهای ارتوپدی دارد. نمونههای استوانهای نانوکامپوزیتی بر پایه آمیخته پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا حاوی نانوذرات زئولیت (۲، ۴ و ۶ درصد وزنی) به روش اکسترودر و قالب گیری تزریقی تولید شد. شکل شناسی نمونهها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مطالعه شد. با استفاده از آزمون پین روی دیسک، مقدار سایش، دما و ضریب اصطکاک تحت نیروی فشاری N ۵۰ و سرعت ثابت M/۰ اندازه گیری شد. مقدار سایش، دما و ضریب اصطکاک در نمونه حاوی ۴ درصد وزنی از نانو زئولیت، پس از ۴۵۰۰ متر، بهتر تیب حدود ۶۵، ۳۲ و ۲۶ درصد کمتر از نمونه پلی اتیلنی خالص مشاهده شد. در مقابل، بکار گیری ۶ درصد وزنی از نانو ذرات زئولیت، منجر به کلوخه شدن ذرات و افزایش مقدار سایش، دما و ضریب اصطکاک، نسبت به نمونههای نانوکامپوزیتی شد. علاوهبراین، مورفولوژی نمونههای نانوکامپوزیتی، پس از آزمون، سطح صافتر و با آثار سایش خراشی کم عمق ترعمق تر نسبت به سطح ساییده شده نمونه پلی اتیلنی خالص مشاهده شد. در مقابل و آثار سایش خراشی کم عمق ترعمق تر نسبت به سطح ساییده

تاریخچه داوری: دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۱ ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

کلمات کلیدی: پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا نانو زئولیت نانوکامپوزیت سایش، اصطکاک

۱– مقدمه

پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا^۱ در ردیف پلیمرهای مهندسی قرار داشته و خواصی همچون مقاومت به ضربه بالا [۱]، خودروانکاری و همچنین مقاومت بالا در مقابل حلالهای شیمیایی کاربرد این پلیمر را در مصارف پیشرفته مهندسی افزایش داده است [۲]. از جمله کاربرد این پلیمر در حوزه کاشتنیهای ارتوپدی میباشد. افزایش تقاضا برای کاشتنی مفصل مصنوعی، باعث شده است تا این پلیمر از موضوعات تحقیقاتی پژوهشگران برای جایگزین مفاصل آسیب دیده از طریق آرتروز شدید یا دیگر جراحات باشد. علارغم خواص مهندسی مناسب، افزایش خواص تریبولوژی که تأثیر مستقیم بر عمر کاشتنی دارد، از

Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)
 r_mohsenzadeh@tvu.ac.ir نویسنده عهدهدار مکاتبات

جمله چالشهای این پلیمر مهندسی میباشد. ذرات و بقایای ایجاد شده در اثر سایش، اثرات مخربی داشته و باعث استئولیز و درنهایت شل شدگی و کاهش عمر کاشتنی میشوند. بنابراین، افزایش خواص مکانیکی و تریبولوژیکی آن از جمله موضوع تحقیقاتی پرطرفدار است. تحقیقات زیادی در مورد اثر تقویت کنندههایی همچون الیاف کربن [۳]، نانو لوله کربنی [۴]، زیرکونیم [۵]، اکسید روی [۶] و آلومینا [۷]، بر خواص مکانیکی و سایشی پلی اتیلن صورت گرفته است. تقویت کنندهها، به دلیل استحکام بالاتر نسبت به زمینه پلیمری، منجر به افزایش سختی سطحی و در نهایت بهبود مقاومت سایشی میشود.

در برخی دیگر از پژوهشها اثر ذرات معدنی بر خواص سایشی پلی اتیلن بررسی شده است. ذرات معدنی به دلیل ویژگیهایی همچون،

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) ه این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

خواص مکانیکی بالا، هزینه کم و عامل هستهزایی در پلیمر زمینه، به عنوان تقویت کننده در زمینههای پلیمری مورد توجه قرار گرفتهاند. زئولیت از جمله مواد معدنی میباشد که در کاربرهای، پزشکی جهت دارورسانی به سیستم بدن، کشاورزی جهت آب رسانی، آب و فاضلاب جهت تصفیه آب و همچنین در حوزههای میان رشته ای جهت بهبود خواص مکانیکی همزمان با کاربرد دیگر به کار میرود. ساختار ریز متخلخل منحصر به فرد زئولیت باعث می شود که در کاربردهای جاذب مانند کاتالیزورها و مواد تبادل یونی کاربرد فراوانی داشته باشد. علاوهبراین، افزودن زئولیت به زمینه پلیمری، منجر به بهبود خواص مکانیکی و بلورینگی شده است. اکسوی و همکاران، اثر افزودن زئولیت را بر روی خواص مکانیکی فیلم پلی یورتان مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که وجود تقویت کننده زئولیت، باعث بهبود خواص کششی و خمشی می شود [۸]. علاوهبراین، بهبود خواص مکانیکی قابل توجهی با افزودن زئولیت بر زمینه پلیمری اپوکسی توسط لی و همكاران [۹] گزارش شده است. علاوهبر خواص مكانيكي، زئوليت می تواند بعنوان عامل هسته زا عمل کرده و منجر به افزایش بلورینگی و سختی سطحی و در نهایت بهبود مقاومت سایشی شود [۱۰]. چانگ و همکاران [۱۱] با افزوردن تا ۲۰ درصد میکرو ذرات زئولیت بر زمینه پلی اتیلن فوق سنگین، مقاومت سایشی را حداکثر ۲۵ درصد بهبود دادند. چو و همکاران [۱۲] مقاومت سایشی پوشش زئولیت را در مقایسه با پوششهای کروم و کادمیوم بررسی کردند، نتایج نشان داد که پوششهای زئولیت از نظر مقاومت در برابر سایش و خوردگی عملکرد بهتری نسبت به پوششهای کروم و کادمیوم دارند.

در سالهای اخیر، نانو کامپوزیتهای پلیمری، به دلیل برخورداری از خواص بهبود یافتهی خود نسبت به پلیمرهای خالص، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفتهاند [۱۳]. نانوذرات معدنی در مقایسه با ذرات معدنی میکرونی دارای سطح ویژه بسیار زیادتر است و بکارگیری آن در زمینههای پلیمری باعث بهبود سفتی، خواص ضربهای و مقاومت به سایش میشود [۱۴]. به ویژه هنگامی که ذرات به طور یکنواخت در بستر پلیمری پراکنده شوند، بهبودیافتگی خواص به حداکثر خود خواهد رسید [۱۵]. افزودن نانو ذرات پرکننده در پلیمرهای نیمه بلوری سبب افزایش جوانههای بلوری در هنگام انجماد شده، و از این رو علاوه بر کوچکتر شدن اندازهی دانههای بلوری، موجب افزایش بلورینگی و بهبود یکنواختی در زمینهی

پلیمری میشود [۱۶ و ۱۷]. برخی پژوهشگران، اثر نانو زئولیت بر خواص مکانیکی زمینه پلیمری، بررسی کردهند [۲۰–۱۸]. افزودن تا ۵ درصد نانو زئولیت، منجر به بهبود استحکام کششی و مدول یانگ گردید [۲۰]. ژپینگ و همکاران [۱۰] اثر نانو ذرات زئولیت بر خواص مکانیکی و هسته زایی پلی پروپیلن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن تا ۳ درصد نانو ذرات زئولیت، استجکام کششی و خمشی و همچنین نرخ هستهزایی را افزایش میدهد. علاوهاین، افزون نانو ذرات زئولیت به پلی اتیلن سنگین، منجر به بهبود چقرمگی شکست شده است [۱۹]. با این وجود، تحقیقی در مورد اثر افزودن نانو ذرات زئولیت بر خواص سایشی پلی اتیلن برای بکارگیری در کاشتنی مفاصل مصنوعی انجام نگرفته است.

در پژوهش حاضر به علت برخورداری پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا از خواص مکانیکی و شیمیایی مناسب و همچنین کاربرد فراوان در ارتوپدی، بهعنوان زمینه پلیمری انتخاب شد [۱۷]. از نانو ذرات زئولیت به دلیل غیر سمی و زیست سازگار بودن، افزایش مقاومت سایشی و خاصیت جوانهزنی استفاده شد. آمیختههای مختلف به روش ذوبی آماده شد. تأثیر نانو ذرات زئولیت بر مقاومت سایشی پلی اتیلن سنگین، بطور تجربی مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روشها ۲-۱- مواد

پلی اتیلن فوق سنگین با نام تجاری قیور ۵۱۲۹[٬] ساخت شرکت کلانس آمریکا با جرم مولکولی متوسط ۶/۷ g/mol میلیون و چگالی ۰۰/۹۳ ^۳g/cm، بهعنوان مادهی اولیه پلیمری و نانو ذرات زئولیت با نام تجاری زد۴ای-۰۰۵-آر^۲ و اندازه متوسط ۵۰ نانومتر، محصول شرکت سوروتا چو^۳ ژاپن، برای افزودن به زمینهی پلیمری انتخاب گردید.

۲-۲- قالبگیری نمونه

مواد اولیه پلی اتیلن و نانو ذرات زئولیت پس از رطوبت گیری، ابتدا به صورت مکانیکی و پس از آن به روش ذوبی و با استفاده از اکسترودر دو پیچی، شرکت کوپرین آلمان با قطر پیچ ۲۵ mm و نسبت طول به قطر ۴۰ mm، مخلوط شده و رشتههای خروجی از اکسترودر توسط

^{1 .} GUR[®] 5129

^{2 .} Z4A-005-R

^{3 .} Tsuruta-cho

جدول ۱. فرمول بندی آمیختههای مختلف					
Table 1. Material designation and composition					
نانو زئولیت (درصد وزنی)	پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار بالا (درصد وزنی)	نام اختصاری آمیخته			
•	۱۰۰	UHMWPE			
٢	۱۰۰	UHMWPE / Yz			
۴	۱	UHMWPE / 4z			
۶	۱۰۰	UHMWPE /۶z			

دستگاه آسیاب به گرانول تبدیل شدند. علائم اختصاری و نسبت وزنی حضور مواد مختلف در آمیزههای تهیه شده در جدول ۱ مشخص شده است. نمونههای آزمون سایش به روش قالب گیری تزریقی با دمای تزریق °C۱۶۰ و دمای قالب °C۶۰ تولید شدند. به علاوه قبل از قالب گیری نمونهها، آمیختهها به مدت ۴ ساعت و در دمای °C۸۰ رطوبت گیری شدند.

۲–۳– میکروسکوپ الکترونی روبشی

میکروسکوپ الکترونی روبشی با نام تجاری وگا/تسچان ساخت کشور چک با ولتاژ کاری ۱۰ kV برای بررسی ریز ساختار در نانو کامپوزیتها و نحوه پراکندگی نانو ذرات در زمینه و همچنین شکل شناسی سایش در نمونه های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. قبل از آزمونهای میکروسکوپی، سطح نمونهها توسط لایهای از طلا یوششدهی شد.

۲-۴- آزمون سایش

خواص تریبولوژی نمونههای پلی اتیلنی و نانو کامپوزیتی، با استفاده از دستگاه پین روی دیسک مطابق با استاندارد جی-۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. نمونههای مورد آزمایش به شکل استوانههایی به قطر mm ۸ و طول ۳۰ mw قالب گیری شدند. دیسک سایش از فولاد شماره ۳۱۴ به قطر ۱۶۰ mm، ضخامت ۱۰ mm و صافی سطح mµ ۶/۶ انتخاب گردید. آزمون سایش تحت نیروی فشاری ۵۰N در سرعت ثابت m/s و مسافت لغزش m ۴۵۰۰ در دمای محيط انجام گرفت. قبل و بعد از آزمون، جرم نمونهها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ mg اندازه گیری شده و با مقایسه آنها

مقدار کاهش جرم نمونهها و در نهایت مقدار سایش هر نمونه مشخص گردید.

۳- نتايج و بحث ۳–۱– شکل شناسی

به منظور بررسی وجود و نحوهی پراکندگی نانو ذرات زئولیت در زمینه پلیمر، تصاویر میکروسکوپی از مقاطع شکست نمونههای آزمون سایش تهیه شد. شکل ۱ مقایسهای بین آمیختههای پلی اتیلن فوق سنگین خالص (الف)، آمیخته حاوی ۲ درصد وزنی (ب)، آمیخته حاوی ۴ درصد وزنی (ج) و نیز آمیختهی حاوی ۶ درصد وزنی نانو ذرات زئولیت (د)، را نشان میدهد. با به کار گیری نانو ذرات زئولیت تا ۴ درصد وزنی، نانو ذرات بطور نسبتاً یکنواخت در پلیمر زمینه شده است. در نمونه حاوی ۶ درصد وزنی نانو ذرات زئولیت، پراکندگی ذرات کاهش یافته و آثار کلوخه شدن مشاهده می شود. با افزایش نانو ذرات در زمینه پلیمری، فاصله بین نانو ذرات کمتر شده و تمایل به كلوخه شدن افزایش می یابد. علاوهبراین، كوچكی نانو ذرات و بزرگی سطح ویژه و در نتیجه بالا بودن تراز انرژی آزاد سطح، احتمال به هم چسبیدن ذرات و کلوخه شدن در درصدهای بیشتر را افزایش میدهد [71-77]

۳–۲– سایش

مقادیر ضریب اصطکاک به دست آمده از آزمون سایش، برای نمونههای پلی اتیلن خالص و نانو کامپوزیتهای آن تحت بار N ۵۰ و سرعت ثابت m/s سرعت ثابت ۰/۵ m/s در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل، افزودن نانو ذرات زئولیت، منجر به کاهش ضریب اصطکاک شده است. کمترین ضریب اصطکاک مربوط به نمونه حاوی

VEGA/TESCAN
 ASTM G99



UHMWPE /۶z (، UHMWPE /۲z ، بج) UHMWPE /۲z ، بحكل ۱. تصاوير ميكروسكوب الكترونى براى نمونههاى الف) UHMWPE /۶z ، د). Fig. 1. Scanning electron microscopy micrograph for (a) UHMWPE, (b) UHMWPE/2z, (c) UHMWPE/4z and (d) UHMWPE/6z samples

جدول ۲. مقادیر ضریب اصطکاک در مسافت طی شدههای متفاوت برای نمونه خالص و نمونههای نانوکامپوزیت Table 2. Coefficient of friction for pure and nanocomposites samples against various test duration

فت	= ۴۵۰۰ m	m ۳۰۰۰ = مسافت	۱۵۰۰ m = مسافت	
	۰/۳۸۲	٠/٣١٩	•/٣•۴	UHMWPE
	•/٢٧٢	•/۲٨٩	۰/۲ ۷ ۶	UHMWPE / Yz
	•/۲۸۸	•/۲۵١	•/74•	UHMWPE / fz
	۰/۳۲۶	•/٣• ١	• /YYX	UHMWPE / 9z

سایشی چرخدندههای بر پایه پلی آمید-پلی پروپیلن با افزودن نانوذرات کلسیم کربنات (با هندسه شبه کروی) گزارش شده است. نانو ذرات زئولیت در پلیمر زمینه علاوهبر خاصیت خودروانکاری، خاصیت هسته زنی داشته [۱۰] و می تواند منجر به افزایش درجه بلورینگی شود. افزایش بلورینگی، با افزایش دمای شیشهای همراه می باشد. دمای ۴ درصد وزنی نانو ذرات زئولیت میباشد. نانو ذرات زئولیت با هندسه شبه کروی از تماس مستقیم پلیمر در منطقه سایش کاسته و در منطقه تماس دو سطح مانند روانکار جامد عمل کرده که این منجر به کاهش سطح تماس و در نتیجه کاهش ضریب اصطکاک میشود. رفتار مشابهی توسط محسن زاده و شلش نژاد [۱۴] در بررسی رفتار

شیشهای نیز مرز همبستگی دما و ضریب اصطکاک میباشد [۲۴]. بنابراین، افزایش دمای شیشهای، ضریب اصطکاک را به خصوص در دماهای بالای دمای شیشهای کاهش میدهد. علاوهبراین، نانو ذرات معدنی [۲۵]، همچون نانو زئولیت، به علت آنکه ضریب اصطکاک پایینتری نسبت به پلیمر دارند، منجر به کاهش ضریب اصطکاک پلیمر زمینه میشوند.

شکل ۳، تغییرات دمایی در حین آزمون سایش تحت نیروی ۵۰ N و سرعت m/s ۲/۵ شان میدهد. علاوهبراین، مقدارهای متناظر با نمودار دما – مسافت، در سه مسافت طی شده متفاوت (۱۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ متر) در جدول ۳ نشان داده شده است. تمام نمونهها، اعم از نمونه خالص و نمونههای نانوکامیوزیتی، در ابتدا به دلیل افزایش گرمای حاصل از چگالی انرژی وابسته به کار اطصکاک نسبت به اتلاف گرمای هدایتی سطح تماس، شیب دمایی تند نشان میدهند و پس از آن به دلیل ایجاد تعادل در اثر انتقال حرارت، درجه حرارت تقریبا ثابت میماند. بااین حال، رفتار دمایی در نمونه خالص، به خصوص در انتهای مسیر، به دلیل سایش زیاد و در نتیجه افزایش زبری سطح و ضریب اصطکاک بیشتر نسبت به نمونههای نانوکامپوزیتی، رو به افزایش حرارت نشان میدهد. بکارگیری نانو ذرات زئولیت تا ۴ درصد وزنی به پلی اتیلن، باعث کاهش دما و افزودن بیش از ۴ درصد وزنی نانو ذرات زئولیت منجر به افزایش دما نسبت به نمونههای نانوکامپوزیتی شده است. کاهش دما با افزودن نانو ذرات را می توان چنین توضیح داد که نانو ذرات معدنی دارای هدایت گرمایی بالاتری در مقایسه با پلی اتیلن خالص می باشند. از سوی دیگر نانو ذرات به دلیل داشتن سطح ویژه بالا [۲۶]، برهم کنش سطحی زیادی با پلیمر زمینه داشته که این میتواند منجر به افزایش هدایت گرمایی شده و از انباشتگی حرارت در سطح نمونه پلیمری ممانعت کند [۲۷ و ۲۸]. از سوی دیگر، بیشترین دما مربوط به نمونه حاوی ۶ درصد وزنی نانو ذرات زئولیت میباشد و علت آن میتواند کلوخهای شدن نانو ذرات زئولیت باشد. تشکیل نواحی کلوخهای از نانو ذرات می تواند منجر به توزیع غیر یکنواخت دما و باعث انباشتگی حرارت در سطح نمونهها شود.

تأثیر نانو ذرات زئولیت در مقدار کاهش جرم نمونههای نانو کامپوزیت در مقایسه با نمونهی پلی اتیلنی خالص، پس از اتمام آزمون، در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار کاهش جرم نمونه به



شکل ۲. مقایسه ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده برای نمونه خالص و نمونههای نانوکامپوزیتی







عنوان پارامتر اندازه گیری سایش انتخاب شده است. با توجه به شکل ۴، نمونههای نانو کامپوزیتی، مقاومت بیشتری در مقابل سایش نسبت به نمونه ی پلی اتیلنی خالص نشان دادهاند. افزودن ۴ درصد وزنی از نانو ذرات زئولیت به پلی اتیلن، منجر به کاهش حدود ۵۹ درصدی مقدار سایش نسبت به نمونه پلی اتیلنی خالص شده است. این رفتار را میتوان به علت برهم کنش قوی نانو ذرات تقویت کننده و پلیمر زمینه دانست [۲۹ و ۳۰]. با توجه به پراکنده شدن نانو ذرات در پلیمر زمینه و بالا بودن سطح ویژه نانو زئولیت، برهم کنش این نانو ذرات

۴۵۰۰ m = مسافت	m ۳۰۰۰ = مسافت	۱۵۰۰ m = مسافت	
۳۵/۳۴	37/18	٣٠/٩٨	UHMWPE
۲٨/٣٠	TV/84	27/22	UHMWPE / Yz
54/15	24/· 4	$\chi \chi / \chi \chi$	UHMWPE / fz
۳۰/۱۱	T9/88	۲۸/۶۷	UHMWPE /۶z

جدول ۳. مقادیر درجه حرارت ($^{\circ}$) در مسافت طی شدههای متفاوت برای نمونه خالص و نمونههای نانوکامپوزیت Table 3. Contact temperature for pure and nanocomposites samples against various test duration

تصويربردارى انجام گرفته به وسيلهى ميكروسكوپ الكترونى از سطح سایش و تحلیل آنها، اطلاعات مفیدی را در مورد ساز کار سایش ارائه میدهد. شکل ۵، تصاویر میکروسکوپی از بافت سطحی نمونه خالص و نمونههای نانوکامیوزیتی را نشان میدهد. با توجه به شکل ۵، آثار سایش خراشی بصورت شیارهایی، همجهت با جهت سایش برای همه نمونهها دیده میشود. در سطح نمونهی پلی اتیلنی خالص (شکل ۵، الف)، سایش شدید با عمق زیاد که توسط دیسک ساینده ایجاد شده و همچنین سایش چسبان همراه با مواد جدا شده در حین آزمون سایش، مشاهده می شود. علت این امر، نرم بودن سطح سایش نمونه می بدون نانو ذرات می باشد. در اثر اصطکاک مالشی دمای سطح نمونهها افزایش یافته و به علت مقاومت پایین پلیمر زمینه در مقابل حرارت، پیوند بین زنجیرههای پلیمری بیشتر شکسته می شود. بدین ترتیب زنجیرههای پلیمری از زمینه کنده شده و مقدار سایش افزایش می یابد. علاوهبراین، مواد جدا شده در حین فرایند سایش، در جهت سایش حرکت کرده و با ملحق شدن بهمدیگر در حین سایش، حجم بزرگتری از براده تشکیل میدهند. این مواد ساییده شده با حجم بزرگتر، خود بعنوان عامل سوم در سطح سایش عمل کرده و منجر به تشدید سایش و در نتیجه پدیده شخم زنی و خشنی سطح می شود. با افزودن تا ۴ درصد وزنی نانو ذرات زئولیت به زمینه پلیمری خالص، سطح صافتری مشاهده می شود (شکل ۵، ج و د). در مقایسه با شکل ۵ الف، سطح ساییده شده نمونههای نانوکامپوزیتی حاوی ۲ و ۴ درصد نانوذرات زئولیت، بدون نشانههایی از شخم زنی و سایش خراشی شدید، صافتر است که نشانگر تغییر در الگوهای حرکتی نانو ذرات از لغزش به غلتش میباشد. دلیل این مهم را میتوان به افزایش حرکت زنجیرههای مولکولی پلیمر زمینه در منطقه تماس و در دمای بالانسبت داد. در این حالت، چسبندگی پلیمر-نانو ذره کاهش یافته و نانو ذرات آزادی حرکت پیدا کرده و حرکت خود را از لغزش به غلتش تغییر میدهند. این اثر غلتشی مثبت که باعث کاهش سطح تماس



و پليمر زمينه بيشتر گشته، كه اين امر نيز منجر به تقويت خواص سایشی پلیمر زمینه شده است. افزونبراین نانو ذرات زئولیت، به دلیل برخورداری از شکل هندسی شبه کروی، میتواند نقش روانکار را ایفا کند. به عبارت دیگر این نانو ذرات نقش غلتکی را دارند که هنگام بریده شدن رشتهای از پلیمر در مرز واسط بین زمینهی پلیمری و دیسک ساینده، بین دو سطح سایش قرار می گیرند و از لغزش مستقیم آنها بر هم جلوگیری میکنند [۳۱]. علاوه بر این، نانو ذرات زئولیت در پلیمر زمینه موجب افزایش جوانهزنی شده و میتوانند منجر به افزایش درجهی بلورینگی و درنتیجه افزایش سختی سطحی و مقاومت سایشی شوند [۱۰]. کاهش ضریب اصطکاک در اثر کاهش سطح تماس پلیمر-فلز و همچنین کاهش دما در سطح در گیری پین و دیسک در اثر افزایش انتقال حرارت در حضور نانو ذرات زئولیت، از دیگر عاملهای کاهش مقدار سایش میباشد. با افزایش مقدار نانو ذرات زئولیت، به تراکم ذرات افزوده می شود و از این رو احتمال تشکیل کلوخههایی در زمینهی پلیمری به وجود میآید [۳۳ و ۳۳]. آنگاه این ذرات کلوخهای به عنوان عامل ساینده عمل می کنند و منجر به تشدید سایش می شوند [۳۴].



شكل ۵. تصاوير ميكروسكوپ الكترونى از سطح ساييده شدهى نمونههاى مختلف، (الف) UHMWPE ، (ب) UHMWPE ، (ج) UHMWPE ، (ج ، (د) UHMWPE /۶z ، (د)

Fig. 5. Scanning electron microscopy of worn surfaces of different samples: (a) Neat UHMWPE, (b) UHMWPE /2z, (c) UHMWPE /4z and (d) UHMWPE /6z

بالا/زئولیت محتوی ۲ تا ۶ درصد وزنی از نانو ذرات زئولیت به روش قالبگیری تزریقی تولید و تحت آزمون پین روی دیسک تحت نیروی فشاری N ۵۰ و سرعت ثابتs/m ۵/۰ قرار گرفتند. نتایج نشان داد، بکارگیری ۴ درصد وزنی از نانو ذرات زئولیت منجر به کاهش قابل ملاحظهی سایش گردید. بکارگیری ۶ درصد وزنی از نانو ذرات زئولیت، منجر به کلوخه شدن ذرات و افزایش مقدار سایش، خرارت و ضریب اصطکاک، نسبت به نمونههای نانوکامپوزیتی شد. مقدار سایش، دما و ضریب اصطکاک در نمونه حاوی ۲ درصد وزنی از نانو زئولیت، پس ۴۵۰۰ متر، بهترتیب حدود ۵۶، ۳۲ و ۲۶ درصد کمتر از نمونه پلی اتیلنی خالص مشاهده شد. علاوهبراین، مورفولوژی نمونههای نانوکامپوزیتی، سطح صافتر نسبت به سطح ساییده شده می شود، در مطالعات قبلی در زمینه های پلیمری دیگر نیز مشاهده شده است [۳۷–۳۵]. کاهش ضریب اصطکاک، دما و در نتیجه مقدار سایش، تأیید کننده چنین پدیده ای می باشد. در مقابل، با توجه به شکل ۵ د، نانو ذرات زئولیت در مقادیر بالا، به دلیل کشش سطحی بالا و عدم چسبندگی و پخش شدگی نامناسب در پلیمر زمینه، به هم می چسبند و کلوخه هایی تشکیل می دهند. این کلوخه های سخت، در سطح تماس ما بین سطح پین و دیسک قرار می گیرند و خود با ایجاد شرایط سایش سه جسمی، منجر به شدت یافتن سایش می شوند.

۴- نتیجه گیری

نمونههای نانوکامپوزیتی پلی اتیلن با وزن مولکولی بسیار

resistant coating, Microporous and Mesoporous Materials, 351-346 (2012) 151.

- [13] R. Mohsenzadeh, H. Majidi, M. Soltanzadeh, K. Shelesh-Nezhad, Wear and failure of polyoxymethylene/calcium carbonate nanocomposite gears, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 820-811 (2019) (6)234.
- [14] R. mohsenzadeh, K. Shelesh-Nezhad, Experimental studies on the durability of PA-6PP-CaCO3 nanocomposite gears, Journal of Science and Technology of Composites, 156-147 (2016) (2)3.
- [15] S. Sahebian, S. Zebarjad, S. Sajjadi, The effect of temperature and nano-sized calcium carbonate on tensile properties of medium density polyethylene; Asare dama va nanozarat karbonat kalsium bar khavase kesheshi polietilene ba chegali-e motavaset, Polymer Science and Technology, 140-133 (2008) (2)21.
- [16] S. Bhattacharya, M. Kamal, R. Gupta, Polymeric nanocomposites: theory and practice., 2008.
- [17] X. Kong, S. Chakravarthula, Y. Qiao, Evolution of collective damage in a polyamide 6-silicate nanocomposite, International Journal of Solids and Structures, (20)43 5980-5969 (2006).
- [18] M.M. Haque, M. Hasan, TiO2 and zeolite nanopowder enhanced mechanical properties of hybrid polymer composites, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 395-382 (2021) (3)34.
- [19] R. Soenoko, A. Suprapto, Y.S. Irawan, Impact fracture toughness evaluation by essential work of fracture method in high density polyethylene filled with zeolite, FME Transactions, 186-180 (2016) (2)44.
- [20] E. Ghobadi, M. Hemmati, G. Khanbabaei, M. Shojaei, M. Asghari, Effect of nanozeolite 13X on thermal and mechanical properties of Polyurethane nanocomposite thin films, International Journal of Nano Dimension, (2)6 181-177 (2015).
- [21] B.L. Lee, L.E. Nielsen, Temperature dependence of the dynamic mechanical properties of filled polymers, Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition, (1977) (4)15 692-683.

نمونه پلی اتیلنی خالص نشان داد.

مراجع

- S.M. Kurtz, The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement, Elsevier, 2004.
- [2] H. Stein, Engineered Materials Handbook, Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE), 1999.
- [3] X. Dangsheng, Friction and wear properties of UHMWPE composites reinforced with carbon fiber, Materials letters, 179-175 (2005) (3-2)59.
- [4] Y.-S. Zoo, J.-W. An, D.-P. Lim, D.-S. Lim, Effect of carbon nanotube addition on tribological behavior of UHMWPE, Tribology Letters, 309-305 (2004) (4)16.
- [5] K. Plumlee, C.J. Schwartz, Improved wear resistance of orthopaedic UHMWPE by reinforcement with zirconium particles, Wear, 717-710 (2009) (8-5)267.
- [6] B.-P. Chang, H.M. Akil, R.B.M. Nasir, Comparative study of micro-and nano-ZnO reinforced UHMWPE composites under dry sliding wear, Wear, (2013) (2-1)297 1127-1120.
- [7] D. Xiong, J. Lin, D. Fan, Wear properties of nano-Al2O3/ UHMWPE composites irradiated by gamma ray against a CoCrMo alloy, Biomedical Materials, 175 (2006) (3)1.
- [8] E.A. Aksoy, B. Akata, N. Bac, N. Hasirci, Preparation and characterization of zeolite beta–polyurethane composite membranes, Journal of applied polymer science, (5)104 3387-3378 (2007).
- [9] J.Y. Lee, M.J. Shim, S.W. Kim, Effect of natural zeolite on the mechanical properties of epoxy matrix, Polymer Engineering & Science, 1997-1993 (1999) (10)39.
- [10] Z. Lv, K. Wang, Z. Qiao, W. Wang, The influence of modified zeolites as nucleating agents on crystallization behavior and mechanical properties of polypropylene, Materials & design, 3809-3804 (2010) (8)31.
- [11] B.P. Chang, H.M. Akil, R.M. Nasir, Mechanical and tribological properties of Zeolite-reinforced UHMWPE composite for implant application, Procedia Engineering, 94-88 (2013) 68.
- [12] G. Chow, R.S. Bedi, Y. Yan, J. Wang, Zeolite as a wear-

Composite Materials, 1047-1030 (2020) (8)33.

- [30] S.-C. Shi, X.-N. Tsai, S.-S. Pek, Tribological behavior and energy dissipation of hybrid nanoparticle-reinforced HPMC composites during sliding wear, Surface and Coatings Technology, 125617 (2020) (15)389.
- [31] M. Zhang, X. Wang, X. Fu, Y. Xia, Performance and anti-wear mechanism of CaCO3 nanoparticles as a green additive in poly-alpha-olefin, Tribology International, 1039-1029 (2009) (7)42.
- [32] M.A. Ashraf, W. Peng, Y. Zare, K.Y. Rhee, Effects of size and aggregation/agglomeration of nanoparticles on the interfacial/interphase properties and tensile strength of polymer nanocomposites, Nanoscale research letters, 214 (2018) (1)13.
- [33] Y. Zare, Study of nanoparticles aggregation/agglomeration in polymer particulate nanocomposites by mechanical properties, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 164-158 (2016) 84.
- [34] N. Sapiai, A. Jumahat, M. Jawaid, C. Santulli, Abrasive Wear Behavior of CNT-Filled Unidirectional Kenaf– Epoxy Composites, Processes, 128 (2021) (1)9.
- [35] L. Chang, Z. Zhang, L. Ye, K. Friedrich, Tribological properties of high temperature resistant polymer composites with fine particles, Tribology international, 1178-1170 (2007) (7)40.
- [36] L. Chang, Z. Zhang, H. Zhang, A. Schlarb, On the sliding wear of nanoparticle filled polyamide 66 composites, Composites Science and Technology, -3188 (2006) (16)66 3198.
- [37] L. Chang, Z. Zhang, Tribological properties of epoxy nanocomposites: Part II. A combinative effect of short carbon fibre with nano-TiO2, Wear, -869 (2006) (8-7)260 878.

- [22] C.-M. Chan, J. Wu, J.-X. Li, Y.-K. Cheung, Polypropylene/ calcium carbonate nanocomposites, polymer, (10)43 2992-2981 (2002).
- [23] A. Kiss, E. Fekete, B. Pukánszky, Aggregation of CaCO3 particles in PP composites: Effect of surface coating, Composites science and technology, -1574 (2007) (8-7)67 1583.
- [24] A. Egorenkov, Effect of crystallization on the frictional properties of polymers, Polymer Mechanics, (1978) (6)14 803-800.
- [25] A. Cotet, M. Bastiurea, G. Andrei, A. Cantaragiu, A. Hadar, Dry Sliding Friction Analysis and Wear Behavior of Carbon Nanotubes/Vinylester Nanocomposites, Using Pin-on-Disc Test, REVISTA DE CHIMIE, (2019) (10)70 3596-3592.
- [26] T. Xu, N. Liao, Y. Xu, M. Nath, Y. Li, Y. Chen, S. Sang, In situ detoxification and mechanical properties of Al2O-3Cr2O-3CaO castables with zeolite, Journal of the European Ceramic Society, 985-978 (2021) (1)41.
- [27] X. Wang, X. Niu, X. Wang, X. Qiu, L. Wang, Effects of filler distribution and interface thermal resistance on the thermal conductivity of composites filling with complex shaped fillers, International Journal of Thermal Sciences, 106678 (2021) 160.
- [28] W.A. Lee Sanchez, C.-Y. Huang, J.-X. Chen, Y.-C. Soong,
 Y.-N. Chan, K.-C. Chiou, T.-M. Lee, C.-C. Cheng, C.W. Chiu, Enhanced Thermal Conductivity of Epoxy
 Composites Filled with Al2O3/Boron Nitride Hybrids for
 Underfill Encapsulation Materials, Polymers, (2021) (1)13
 147.
- [29] U. Uyor, A. Popoola, O. Popoola, V. Aigbodion, Effects of titania on tribological and thermal properties of polymer/ graphene nanocomposites, Journal of Thermoplastic

چگونه به اين مقاله ارجاع دهيم R. Mohsenzadeh, Experimental Studies on the Tribology behavior of UHMWPE/ zeolite Nanocomposite , Amirkabir J. Mech Eng., 53(10) (2022) 5159-5168.



بی موجعه محمد ا