ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):119-123.

Experimental Study on Micro-Blasting Effect on Dynamic Response of an Ionic-polymer-metal Composite Beam under Transient Voltage

ARTICLE INFO

Authors
Arab D.[1],
Soleimanimehr H.[2*],
Nasrollah A.[3]

[1,2] Department of Mechanics, Electrical Power and Computer, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[3]Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

*** Correspondence**
Soleimanimehr@modares.ac.ir

How to cite this article
Arab D, Soleimanimehr H, Nasrollah A. Experimental Study on Micro-blasting Response of an Ionic-polymer-metal Composite Beam under Transient Voltage. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):119-123.

ABSTRACT

Ionic polymer-metal composites (IPMC) are such as smart materials which under applied voltage will be deformed and they have a broad application prospect. On the other hand, increase of surface area of this composite is directly related to bonding between electrode and polymer, as a result, polymer surface morphology is highly important, therefore, the effect of micro-blasting on the dynamic response of the composite beam is investigated. In this research, a membrane from ionic–polymer-metal composites are manufactured. Its main core is based on an electroactive core named Nafion and the electrodes are made of metals such as Platinum which is a noble metal. Then a transient voltage applied to the ionic–polymer-metal composite which was 1 volt and the displacements are measured experimentally. Finally, by the effect of micro-blasting as a surface treatment technique on the composite and comparing experimental results, a suitable equation is proposed for the behavior of this actuator under transient voltage.

Keywords IPMC, Smart Materials, Electromechanics, Experimental

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۱۹-۱۲۳.

مطالعه تجربی تأثیر میکرو سندبلاست بر پاسخ دینامیکی تیری از جنس کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی تحت ولتاژ گذرا

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
درسا عرب[۱]
حمید سلیمانی‌مهر*[۱]
امین نصراله[۲]

[۱] مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران
[۲] مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

*** نویسنده مسئول**
آدرس:
soleimanimehr@srbiau.ac.ir

چکیده

کامپوزیت‌های پلیمر یونی - فلزی از جمله مواد هوشمندی هستند که در صورت اعمال ولتاژ پایین دچار تغییر شکل می‌شوند و به همین علت دارای چشم‌انداز کاربردی گسترده‌ای هستند. از طرفی دیگر باتوجه‌به این نکته که افزایش مساحت سطح این نوع کامپوزیت، رابطه مستقیم با برقراری پیوند یونی میان الکترود و پلیمر دارد، در نتیجه مورفولوژی سطح پلیمر، از اهمیت بالایی برخوردار است، به همین علت به بررسی تأثیر میکرو سندبلاست بر پاسخ دینامیکی تیر کامپوزیتی می‌پردازیم. در تحقیق انجام شده، یک غشا از جنس کامپوزیت پلیمر یونی - فلزی با هستهٔ پلیمری از جنس نافیون و الکترود از جنس پلاتین که یک فلز نجیب است، ساخته شده است و پس از پرداخت سطح مناسب، تحت ولتاژ گذرا ۱ ولت قرار گرفته و مقادیر جابه‌جایی به‌صورت تجربی محاسبه می‌گردد. هدف این مقاله ارائه معادله‌ای مناسب به‌منظور پیش‌بینی تأثیر پرداخت سطح هستهٔ پلیمری این کامپوزیت با میکرو سندبلاست بر رفتار این عملگر با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از فرایندهای حاکم و پاسخ دینامیکی تیری از این جنس با تکیه‌گاه ساده تحت ولتاژ گذرا است.

کلیدواژه‌ها کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی، مواد هوشمند، الکترومکانیک، تجربی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

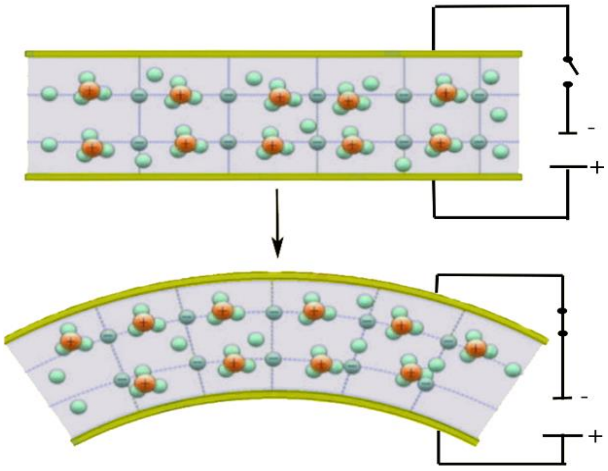
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.19.2]

۱- مقدمه

کامپوزیت‌های پلیمریونی- فلزی به‌عنوان یک ماده هوشمند نوظهور، خواصی مشابه عضلات انسان دارند. در میان پلیمرهای الکترواکتیو، کامپوزیت‌های پلیمریونی-فلزی دارای مزایای پاسخ سریع، پایداری خوب و تغییر شکل هستند[1].

همچنین، کامپوزیت‌های پلیمر یونی- فلزی مواد نرم و انعطاف‌پذیری هستند که در صورت اعمال ولتاژ پایین واکنش نشان می‌دهند و هنگامی که در معرض تغییر شکل مکانیکی در مقیاس میلی‌ولت قرار می‌گیرند، واکنش الکتریکی ایجاد می‌کنند که این ویژگی آن‌ها باعث می‌شود این مواد برای کاربردهای متعدد در زمینه‌های صنعتی، پزشکی، بیولوژیکی و بیومیمتیک مناسب باشند و همچنین با اثر معکوس، از آن‌ها به‌عنوان سنسور نیز استفاده می‌شود [2].

یک کامپوزیت پلیمریونی- فلزی می‌تواند پاسخ‌های الکتریکی و الکترومکانیکی را به ترتیب تحت تغییر شکل مکانیکی و ولتاژ اعمالی ایجاد کند که در نمای ماکروسکوپی، تغییر شکل خمشی سریع محرک کامپوزیت پلیمریونی- فلزی، به سمت آند (لایه ضعیف کاتیونی) رخ می‌دهد، بنابراین تغییراتی در نیروی خروجی و جابه‌جایی وجود دارد [1].



شکل ۱) میکرو مکانیزم تغییر شکل کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی

کامپوزیت پلیمریونی- فلزی شامل یک غشای یونومری است که در دو طرف با الکترودهای فلزی روکش شده و با مقدار لازم یون‌های متحرک و ضدیون‌های ثابت خنثی می‌شود [4].

الکترودهای فلزی بیرونی‌ترین لایه‌ها و به دنبال آن لایه میانی را تشکیل می‌دهند.

برای ساخت این کامپوزیت، الکترودها باید از جنس فلزهای نجیب همچون پالادیوم، انادیوم، پلاتین و یا نیکل بوده و در واکنش با اکسیژن و هوا مقاوم باشند[5].

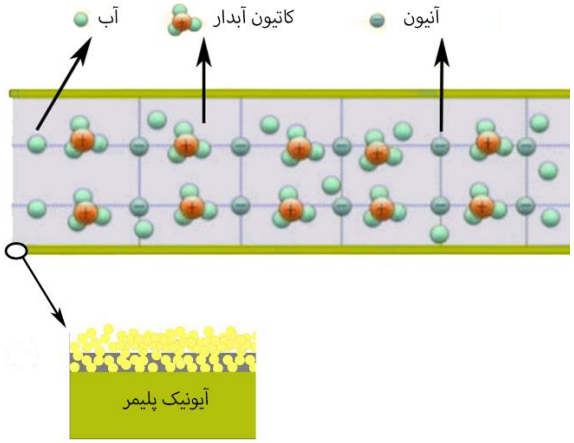
لایه میانی شامل ذره‌های فلزی است که در داخل ماتریس پلیمری پراکنده شده‌اند که شامل آینومر، یون‌های متقابل و مولکول‌های حلال در داخل غشا است[6]. نافیون یا فلمیون بیشترین کاربرد را به‌عنوان آینومر دارند. نافیون از عناصر مختلفی همچون کربن، گوگرد، اکسیژن و همچنین میزانی ناخالصی سطحی تشکیل شده‌است؛ فرمول شیمیایی این مادۀ پلیمری، C7HF13O5SC2F4 است [7].

میکروبلاستینگ یک فرایند کار سرد است که برای عملیات سطحی قطعات کوچک و پیچیده استفاده می‌شود و به‌عنوان درمانی برای ابزارهای برش برای افزایش عمر آن‌ها استفاده می‌شود[8]. ذرات ساینده مهم‌ترین جنبه در هنگام میکروبلاستینگ هستند. انتخاب نوع ذرات به ویژگی‌های عملکردی مطلوب تنش‌های پسماند، سوراخ‌زدایی، زبری سطح یا کاهش زبری سطح بستگی دارد[9].

بلاستینگ خشک محبوب‌ترین تکنیک برای عملیات سطحی در تمیزکردن سطح یا آماده‌سازی سطح است که شامل استفاده از مواد شیمیایی خطرناک یا ماشین‌آلات سنگ‌زنی نیست، به همین علت آن را بسیار زیست‌محیطی می‌کند. این روش، ساده‌ترین روش برای دستیابی به مشخصات سطحی خاص یا زبری موردنیاز است[10].

برای ساخت کامپوزیت‌های پلیمری یونی- فلزی پس از انتخاب جنس الکترود و تهیه نمک آن، هستۀ پلیمری که غالباً خشک است باید احیا و به‌اصطلاح آبدار شود و پس از آن با تغییر عدد اکسایش نمک فلزی، فلز احیا شده بر روی پلیمر رسوب کرده و پیوندی یونی تشکیل دهد [11]. از طرفی هستۀ اصلی پلیمری به روش‌های مختلفی همچون بلاستینگ کاهش ضخامت می‌شود.

عوامل احیاکننده‌ای که به طور غالب در متالورژی مورداستفاده قرار می‌گیرد؛ کربن، منو اکسید کربن، هیدروژن یا مخلوط مونوکسید کربن با هیدروژن است. برخی فلزات مانند آلومینیوم، کلسیم، منیزیم و سدیم نیز به‌عنوان عوامل احیاکننده فلزی شناخته می‌شوند[12].



شکل ۲) ساختار کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.19.2]

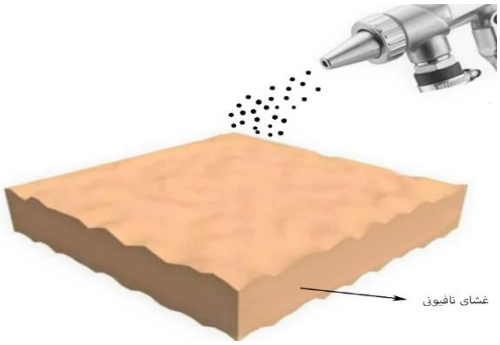
۲- شرح مسئله

راه‌های متفاوتی جهت شناسایی رفتار عملگرها وجود دارد؛ لذا در تحقیق انجام شده، بعد از ساخت تیری از جنس کامپوزیت پلیمریونی- فلزی به‌صورت عملی و اعمال ولتاژی گذرا، به بررسی رفتار و میزان تغییر شکل تیر پرداخته و درنهایت معادله‌ای مناسب با کمترین خطا برای پیش‌بینی واکنش تیر کامپوزیتی تحت شرایط ذکر شده، ارائه می‌شود.

۳- روش تحقیق

ساخت کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی با انتخاب یک ماده پلیمری یونی مناسب آغاز می‌گردد. اغلب، مواد پلیمری یونی از پلیمرهایی ساخته می‌شوند که از گروه‌های یونی کووالانسی ثابت تشکیل شده‌اند.

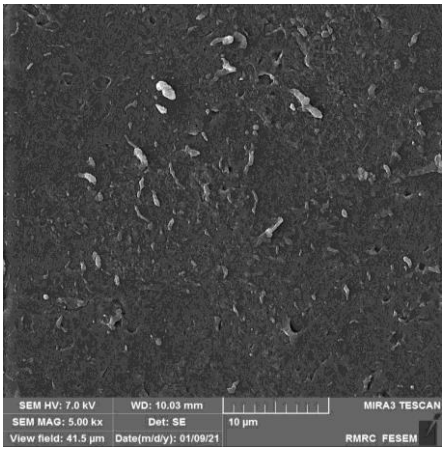
از طرفی هستهٔ اصلی پلیمری که در این تحقیق نافیون ۱۱۷ است، به روش میکرو سندبلاست خشک با سرعت ۱ ثانیه بر سانتی‌متر مربع و با استاندارد GP105A پرداخت سطح شد که در شکل ۳ روش انجام آن نشان داده شده است.



شکل ۳) میکروبلاستینگ خشک

به‌منظور کاهش خطا، برای مشاهده کیفیت سطح، تصویری از بالا گرفته شد که در شکل ٤ مشخص است.

پس از انجام عملیات سطح، الکترود از جنس پلاتین به دو سطح نافیون اضافه می‌شود. ضخامت هر الکترود برابر با ٤٠ میکرون است.



شکل ۴) سطح هسته پلیمری

ازآنجاکه مشخصات الکترود از جنس پلاتین ثابت و مشخصات پلیمر و نافیون مشخص است، این مقدار به‌صورت داده‌های اولیه و ثابت مطابق جدول ۱، ۲ و ۳ اعمال شد.

جدول ۱) مشخصات مکانیکی نافیون[13].

خواص	مقدار
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳۳۸۵
ضریب پوآسون	۰/۴۸۷
مدول یانگ (پاسکال)	$۰/۵\times۱۰^{۹}$
ضریب گذردهی	۱

جدول ۲) مشخصات مکانیکی پلاتین[14].

خواص	مقدار
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲۱۴۵۰
ضریب پوآسون	۰/۳۸۵
مدول یانگ (پاسکال)	$۱/۰۶\times۱۰^{۱۲}$
ضریب گذردهی	۱

جدول ۳) مشخصات مکانیکی پلیمر[15].

خواص	مقدار
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳
ضریب پوآسون	۰/۴۸۷۰
ضریب گذردهی	۳۸۵

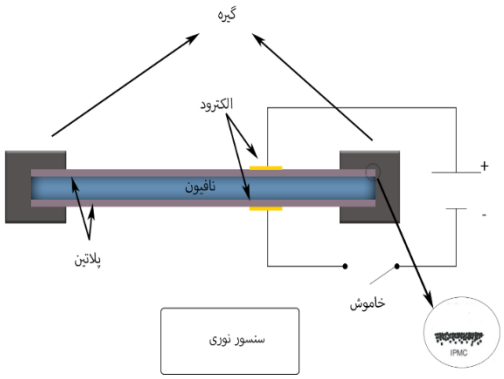
همچنین ابعاد تیر کامپوزیتی ساخته شده، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴) ابعاد کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی

ابعاد	مقدار
طول (سانتی‌متر)	۲
ضخامت نافیون (میکرومتر)	۱۲۰
ضخامت الکترود (میکرومتر)	۴۰

در این قسمت، بعد از ساخت کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی با ابعاد ذکر شده و مستقر کردن تکیه‌گاه ساده، مکانیسم داخلی محرک تحت‌تأثیر ولتاژ گذرا ۱ ولت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کامپوزیت پلیمریونی- فلزی و روش بررسی مکانیسم داخلی آن در شکل ۵ به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۵) شماتیک تیری از جنس کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی تحت ولتاژ گذرا

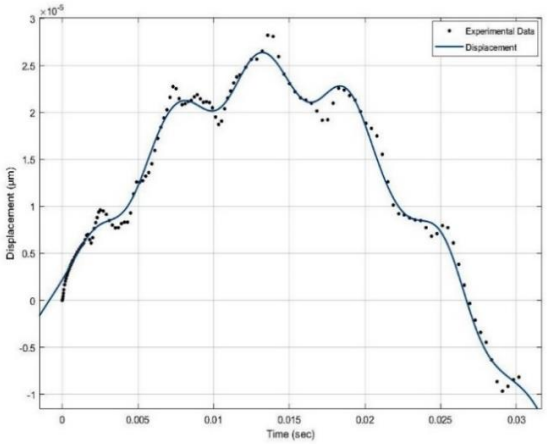
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.19.2]

۴- ارائه نتایج و بحث

پس از بررسی میزان جابه‌جایی به روش تجربی، مدلی پیشنهادی از برازش منحنی پیاده‌سازی می‌شود. منحنی برازش یک پیش‌بینی از جابه‌جایی و پاسخ کامپوزیت پلیمریونی- فلزی را تحت ولتاژ گذرا به مقدار ۱ ولت می‌باشد.

منحنی واکنش تیر کامپوزیتی در شکل ٦ نشان داده شده است.



شکل ۶) پاسخ دینامیکی تیری از جنس پلیمر یونی- فلزی تحت ولتاژ گذرا

بعد از استخراج و ثبت داده‌ها، نوبت به استفاده از داده‌ها برای ساخت معادله‌ای مناسب به‌منظور پیش‌بینی رفتار تیر

c	کربن
S	گوگرد
O	اکسیژن
H	هیدروژن
CO	منو اکسید کربن
Al	آلومینیوم
Ca	کلسیم
Mg	منیزیم
Na	سدیم

کامپوزیتی است.

از بین تمامی معادلات برسی شده برای رفتار این عملگر، معادلهٔ مجموع سینوسی مرتبه هشتم شامل شرایط مناسب و ایده‌آلی است:

$$\boldsymbol{y} = \sum_{i=1}^{n} a\sin(bx + c) \quad (۱)$$

هدف از برازش منحنی، یافتن تابع از یک دسته از پیش مشخص شده توابع برای مجموعه نقاط است.

$$f(x) = a_1 \times \sin(bx + c_1) + a_2 \times \sin(b_2x + c_2) + a_3 \times \sin(b_3x + c_3) + a_4 \times \sin(b_4x + c_4) + a_5 \times \sin(b_5x + c_5) + a_6 \times \sin(b_6x + c_6) + a_7 \times \sin(b_7x + c_7) + a_8 \times \sin(b_8x + c_8) \quad (۲)$$

۵- نتیجه‌گیری

کامپوزیت‌های پلیمریونی- فلزی مواد هوشمند، نرم و انعطاف‌پذیری هستند که در صورت اعمال ولتاژ پایین می‌توانند خمش زیادی ایجاد کنند و دچار واکنش شوند و به‌عنوان یک نوع محرک الکتریکی فعال، این نوع از کامپوزیت‌ها می‌توانند یک حرکت خمشی بزرگ تحت ولتاژ فعال کم ایجاد کنند و تیر ساخته‌شده از سمت مثبت به سمت منفی انحنا پیدا کنند.

روش‌های متعددی جهت شناسایی تغییر شکل آن‌ها در صورت اعمال ولتاژ مطرح می‌شود که در این مقاله با ساخت تیری کامپوزیتی با ابعاد ذکر شده، بررسی و تحلیل تأثیر میکرو سندبلاست بر آماده‌سازی سطح، ثبت داده‌های تجربی و در نهایت با بهره‌گیری از برازش منحنی به روش مجموع سینوس‌ها در جهت شناسایی رفتار یک تیری با تکیه‌گاه ساده از جنس کامپوزیتی پلیمری یونی- فلزی تحت ولتاژ گذرا استفاده می‌شود.

با توجه به منحنی حاصل شده از جابه‌جایی تیر تحت ولتاژ ۱ ولت، بیشترین جابه‌جایی به‌صورت تقریبی در ثانیه ۰/۰۱۳ رخداده و در ثانیه ۰/۰۲۷ تیر کامپوزیتی به حالت اولیه برگشته است. این تحلیل با بیشترین خطای تقریبی محاسبه شده ٥/٦٪ است که این موضوع بیانگر این نکته می‌باشد که با بهره‌گیری از پرداخت سطح مناسب و عاری نمودن از مواد نامطلوب، لایه‌های نازک یا باقیمانده‌ها در جهت پاک‌سازی سطح تیر، می‌توان رفتاری تیر کامپوزیتی تحت ولتاژ گذرا را با کمترین خطای ممکن پیش‌بینی نمود که در برخی مواقع می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش تحلیلی و المان محدود، در مواردی به‌خصوص باشد.

نتایج به‌خوبی بیانگر این واقعیت است که با ساخت تیری از جنس کامپوزیت‌های پلیمریونی- فلزی و پرداخت سطح مناسب به روش میکرو سندبلاست، می‌توان بادقت نسبتاً خوبی رفتار عملگر را پیش‌بینی، بررسی و مطالعه نمود و همچنین در مواردی با پارامترهای مستقل متعدد، می‌توان با بهره‌گیری از معادله ارائه شده اقدام به بهینه‌سازی نمود.

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان مقاله مطالعه تجربی تأثیر میکرو سندبلاست بر پاسخ دینامیکی تیری از جنس کامپوزیت پلیمر یونی - فلزی تحت ولتاژ گذرا، به چاپ نرسیدن این مقاله در هیچ نشریه ایرانی و غیرایرانی را اعلام می‌نماییم.

تعارض منافع: این نویسندگان مقاله اعلام می‌نمایند اسامی تمام کسانی که در این پروژه نقش داشته‌اند و به‌عنوان نویسنده مقاله مطرح هستند در این مقاله درج شده‌اند. ازاین‌رو هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع مالی: برای انجام این پژوهش از امکانات و هزینه‌های شخصی بهره گرفته شده است و اعلام می‌نماییم منبع مالی دیگری در این پژوهش استفاده نشده است و کلیه هزینه‌ها توسط نویسندگان تأمین شده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.19.2]

مراجع

1- He C, Gu Y, Zhang J, Ma L, Yan M, Mou J, et al. Preparation and modification technology analysis of ionic polymer-metal composites (IPMCs). International Journal of Molecular Sciences. 2022;23(7):3522.

2- Soleimanimehr H, Nasrollah A. Numerical and experimental analysis on the properties of ionic-polymer-metal composites. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2021;8(6):21-5.

3- Yang L, Wang H, Zhang X. Recent progress in preparation process of ionic polymer-metal composites. Results in Physics. 2021; 29:104800.

4- Ryu J, Park J, Yun S, Kim B, Park J-O, editors. Design and fabrication of a large-deformed smart sensorized polymer actuator. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat No 04CH37566); 2004: IEEE.

5- Karczmarska A, Adamek M, El Houbbadi S, Kowalczyk P, Laskowska M. Carbon-Supported Noble-Metal Nanoparticles for Catalytic Applications—A Review. Crystals. 2022;12(5):584.

6- Esmaeili N, Gray EM, Webb CJ. Non-Fluorinated Polymer Composite Proton Exchange Membranes for Fuel CellApplications–A Review. ChemPhysChem. 2019;20(16):2016-53.

7- Wang Y, Sugino T, editors. Ionic Polymer Actuators: Principle, Fabrication and Applications. Actuators; 2018: United Kingdom: IntechOpen.

8- Gadge M, Lohar G, Chinchanikar S. A review on micro-blasting as surface treatment technique for improved cutting tool performance. Materials Today: Proceedings. 2022.

9- Mundotia R, Kothari D, Kale A, Mhatre U, Date K, Thorat N, et al. Effect of ion bombardment and micro-blasting on the wear resistance properties of hard TiN coatings. Materials Today: Proceedings. 2020; 26:603-12.

10- Spur G, Uhlmann E, Elbing F. Dry-ice blasting for cleaning: process, optimization and application. Wear. 1999; 233:402-11.

11- Rodrigue H, Wang W, Bhandari B, Han M-W, Ahn S-H. SMA-based smart soft composite structure capable of multiple modes of actuation. Composites Part B: Engineering. 2015; 82:152-8.

12- Zhang A-Q, Cai L-J, Sui L, Qian D-J, Chen M. Reducing properties of polymers in the synthesis of noble metal nanoparticles. Polymer Reviews. 2013;53(2):240-76.

13- Nasrollah A, Soleimanimehr H, Khazeni H. Nafion-based ionic-polymer-metal composites: displacement rate analysis by changing electrode properties. Advanced Journal of Science and Engineering. 2021;2(1):51-8.

14- Feng G-H, Hou S-Y. Investigation of tactile bump array actuated with ionic polymer–metal composite cantilever beams for refreshable braille display application. Sensors and Actuators A: Physical. 2018; 275:137-47.

15- Yu M, Shen H, Dai Z-d. Manufacture and performance of ionic polymer-metal composites. Journal of Bionic Engineering. 2007;4(3):143-9.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.19.2]