

ایجاد و ارزیابی خواص پوشش TiAlN روی زیر لایه تیتانیومی به روش PVD



دانشجو: علیرضا یهری

استاد راهنما: دکتر روح الله مهدی نواز اقدم

دانشکده مهندسی متالورژی و مواد ، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران



چکیده

امروزه، به منظور افزایش خواص تریبولوژیکی ابزارها و قطعات صنعتی، از پوشش‌دهی به روش‌های مختلف، از جمله رسوب فیزیکی بخار، استفاده می‌شود. با بهره‌گیری از این فرایند، می‌توان به پوشش‌های چندلایه و نانولایه دست یافت. هدف این پژوهش، بهبود خواص سطحی تیتانیوم تجاری و افزایش مدت زمان پایداری سطحی، مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی آن است. به منظور دستیابی به این هدف، مدت‌زمان‌های مختلف پوشش‌دهی، لایه‌های واسط متفاوت و ترکیبات هدف کاتدی گوناگون آزمایش شد تا زمان و لایه واسط مطلوب انتخاب شده و به ترکیب مناسب پوشش دست یابیم. پس از انجام پوشش، مورفولوژی پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد و مشخص گردید که نمونه با لایه واسط TiN ، کمترین اندازه ماکروذرات را دارد. همچنین، با افزایش نسبت تیتانیوم در پوشش، ساختار متراکم و بدون تخلخل حاصل می‌شود. در آزمون EDS مشخص شد که زمان‌های رسوب‌گذاری کمتر از ۶ دقیقه، باعث فاصله‌گیری پوشش از نسبت اتمی مورد انتظار می‌شود. آزمون FESEM، رشد ستونی و همپافته پوشش TiAlN را نشان داد و همچنین حاکی از آن بود که میزان رسوب‌گذاری تحت شرایط سطحی زیرلایه، می‌تواند از مقدار مورد انتظار کمتر باشد. علاوه بر این، با انجام آزمون پین-بر-دیسک، مشخص شد که نمونه دارای لایه واسط Ti ، بهترین عملکرد را در مقاومت به سایش دارد و کمترین ضریب اصطکاک را نشان می‌دهد. پوشش چندلایه، مقاومت به سایش کمتری نسبت به انتظارات داشته است که این امر به دلیل عدم تناسب بین ضخامت لایه‌ها است. در نهایت، آزمون پلاریزاسیون مشخص کرد که لایه واسط TiN ، بهترین مقاومت به خوردگی را برای پوشش TiAlN ایجاد می‌کند.

مقدمه

مهندسی سطح با پوشش‌دهی، کارایی قطعات صنعتی را افزایش می‌دهد و پوشش‌های تیتانیوم-آلومینیوم-نیتريد (TiAlN) به عنوان راه‌حل پیشرو، سختی بالا، مقاومت عالی در برابر سایش، پایداری حرارتی و اکسیداسیون را ارائه می‌دهند. این ویژگی‌ها با روش رسوب‌گذاری فیزیکی بخار (PVD)، این پوشش‌ها را برای کاربردهای حیاتی مانند ماشین‌کاری سریع و محیط‌های تهاجمی ایده‌آل می‌سازد. تیتانیوم و آلیاژهای آن به دلیل استحکام به وزن بالا، مقاومت خوردگی و زیست‌سازگاری در هوافضا، زیست‌پزشکی و خودروسازی ارزشمندند، اما ضعف‌های سطحی به ویژه در تیتانیوم گرید تجاری (CP-Ti) موارد کاربردشان را محدود می‌کند؛ پوشش TiAlN این محدودیت‌ها را با بهبود سختی سطح، کاهش اصطکاک و سایش و افزایش مقاومت به خوردگی از جمله در دماهای بالا برطرف کرده و دامنه عملکرد را گسترش می‌دهد. با وجود مزایای اثبات‌شده، تحقیقات بر روی پوشش دهی TiAlN به روش PVD روی تیتانیوم تجاری محدود است و تعامل معماری پوشش و پارامترهای رسوب‌گذاری با عملکرد ناشناخته مانده؛ در این پژوهش سعی شده پوشش TiAlN با نسبت اتمی خاص بهینه جذب شود و پارامترهای رسوب‌گذاری آن به طور سیستماتیک شناسایی شده تا حداقل اندازه ماکرو ذرات حاصل شود.

روش انجام آزمایش

به منظور دستیابی به سطح صاف برای پوشش‌دهی بهینه، نمونه‌های تیتانیوم تجاری برش خورده و به ترتیب با سنباده‌های ۸۰ تا ۲۰۰۰ ساییده شدند با هر مرحله همراه با چرخش ۹۰ درجه‌ای جهت، سپس با محلول آلومینا روی پارچه نرم به مدت ۵ تا ۲۰ دقیقه بر اساس خطوط باقیمانده پولیش گردیدند. سپس نمونه‌ها با استون شسته شدند تا آلودگی‌های آلی پاک شود؛ فرایند پوشش‌دهی با PVD در سه بخش اجرا شد، جایی که هر نمونه پس از ۲۰ دقیقه رسیدن به خلا مورد نیاز و حکاکی یونی آرگون به مدت ۱۵ دقیقه، با ولتاژ بایاس ۱۵۰ ولت و جریان قوس ۱۰۰ آمپر پوشش‌دهی گردید؛ بخش اول با لایه واسط TiN به مدت ۴ دقیقه و سپس پوشش اصلی TiAlN به مدت ۶ یا ۱۵ دقیقه، بخش دوم با لایه واسط Ti به مدت ۴ دقیقه و سپس پوشش اصلی TiAlN به مدت ۶ یا ۱۵ دقیقه، بخش سوم پوشش چند لایه با لایه‌های واسط Ti به مدت ۴ دقیقه، TiN به مدت ۶ دقیقه و سپس پوشش اصلی TiAlN به مدت ۸ دقیقه به منظور ایجاد پوشش چندلایه نازک و مقایسه عملکرد لایه‌های واسط متفاوت.

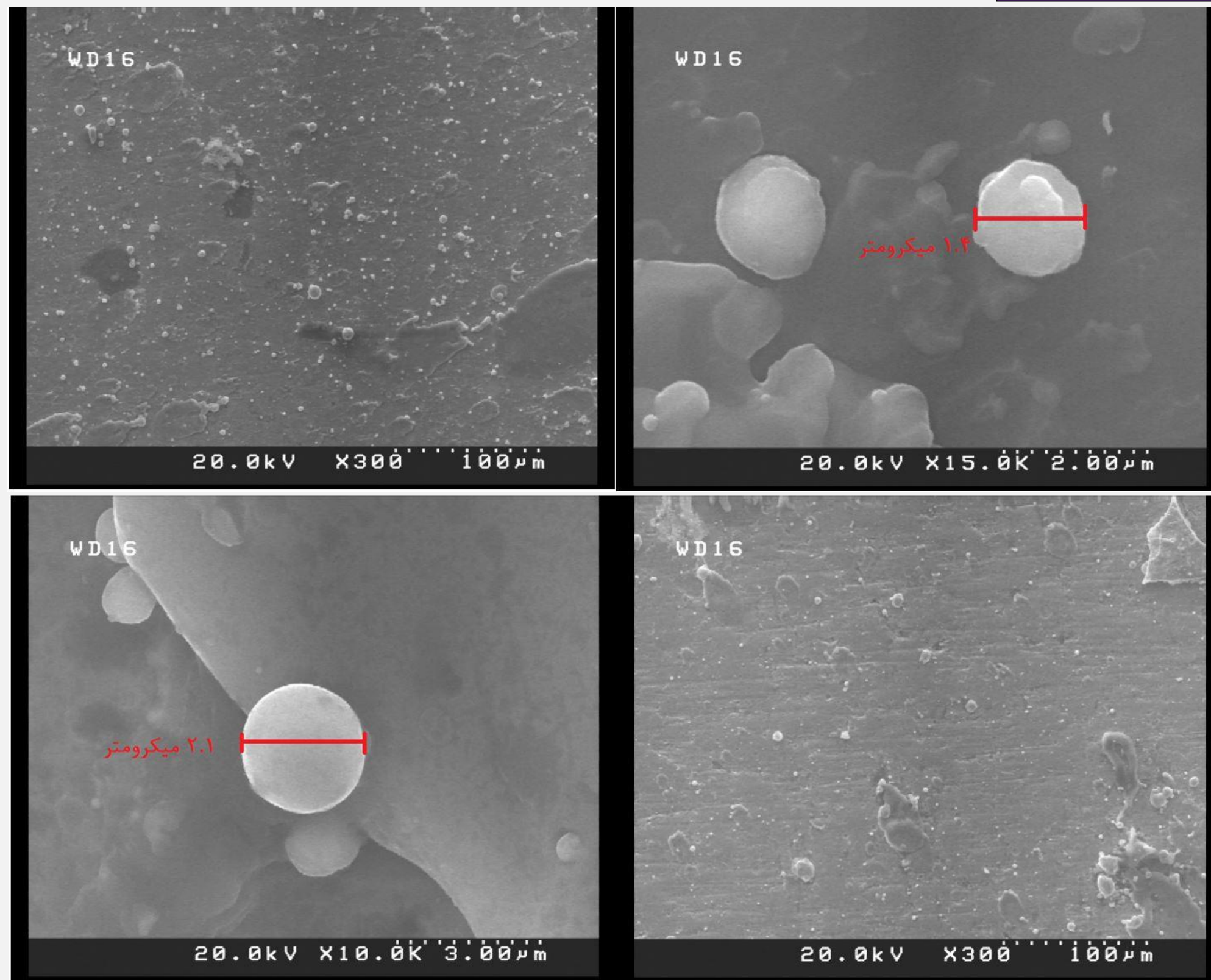
نتایج و بحث

نتایج آنالیز EDS

جدول ۱. تکمیل نتایج EDS با ترکیب شیمیایی پوشش‌های ایجاد شده

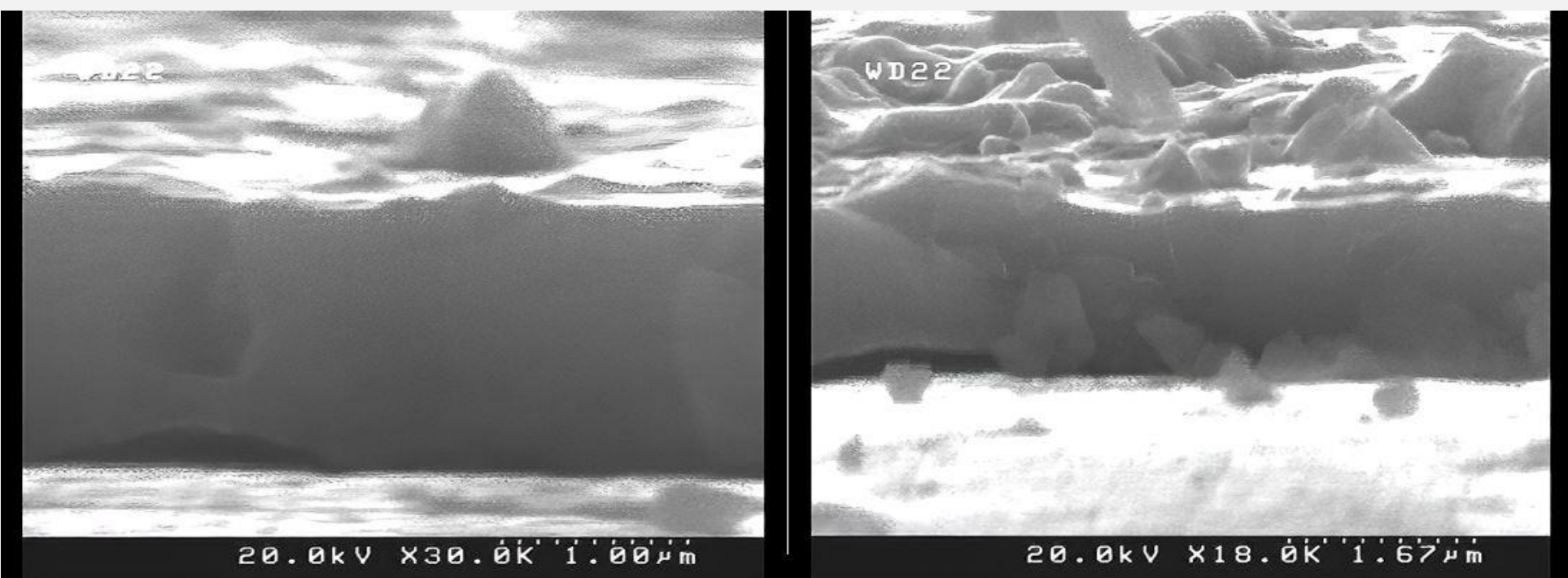
ردیف	لایه واسط	زمان رسوب TiAlN	میزان آلومینیوم	میزان تیتانیوم	میزان نیتروژن	ترکیب پوشش	نسبت Ti/Al
۱	TiN	۶ دقیقه	۷۴	۱۲	۱۴	$\text{Ti}_{14}\text{Al}_{86}\text{N}$	۰/۱۶
۲	TiN	۱۵ دقیقه	۳۰	۶۷	۴	$\text{Ti}_{69}\text{Al}_{31}\text{N}$	۲/۲۳
۳	Ti	۶ دقیقه	۱۴	۸۳	۴	$\text{Ti}_{85}\text{Al}_{15}\text{N}$	۵/۶۶
۴	Ti	۱۵ دقیقه	۲۹	۶۷	۳	$\text{Ti}_{69}\text{Al}_{31}\text{N}$	۲/۲۳
۵	TiN/Ti	۸ دقیقه	۲۰	۷۴	۶	$\text{Ti}_{78}\text{Al}_{22}\text{N}$	۳/۵۵

نتایج آنالیز SEM



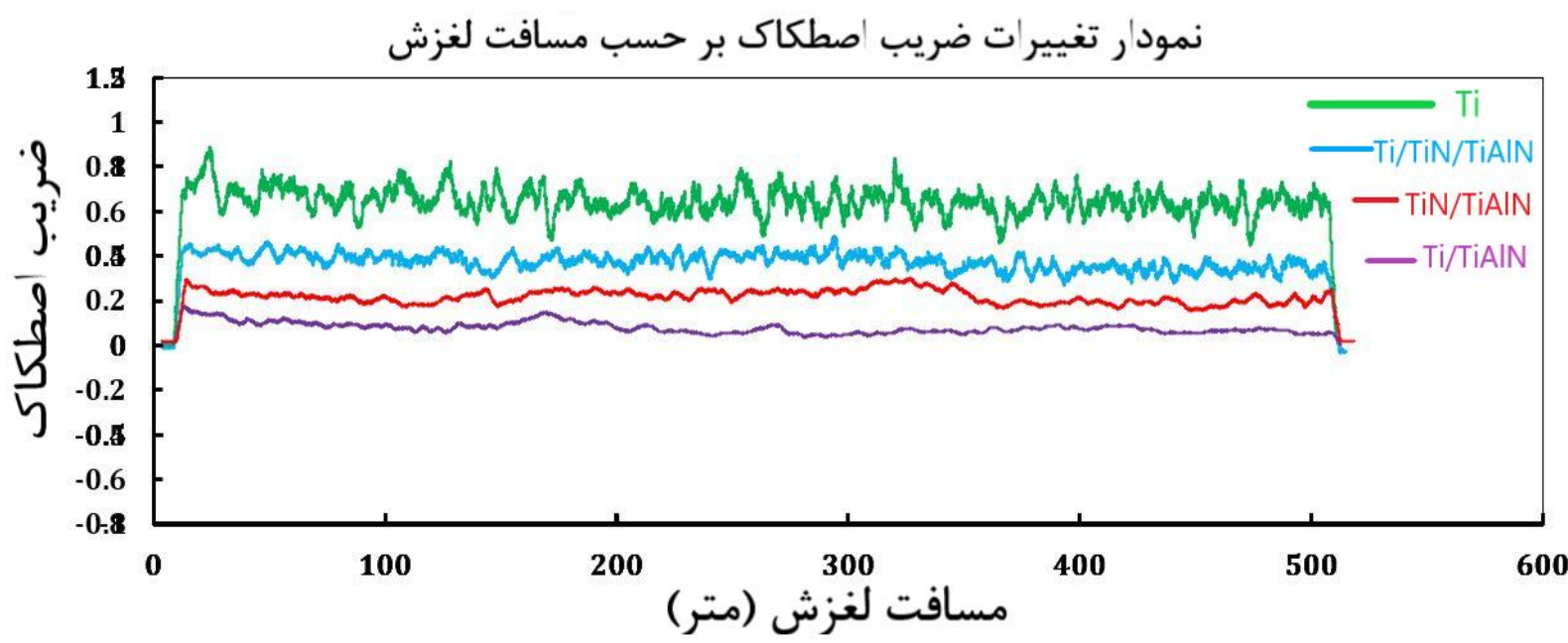
شکل ۱. تصاویر SEM از (الف). نمونه دوم ($\text{Ti}_{69}\text{Al}_{31}\text{N}$)، (ب). نمونه پنجم ($\text{Ti}_{78}\text{Al}_{22}\text{N}$)

نتایج FESEM

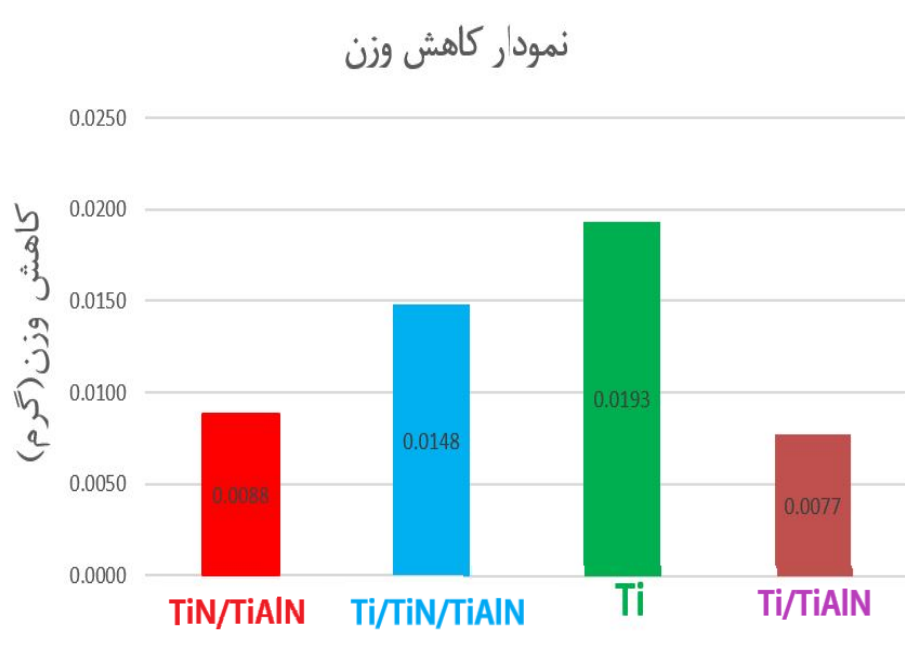


شکل ۲. تصویر FESEM نمونه چهارم ($\text{Ti}_{69}\text{Al}_{31}\text{N}$)

آزمون پین روی دیسک

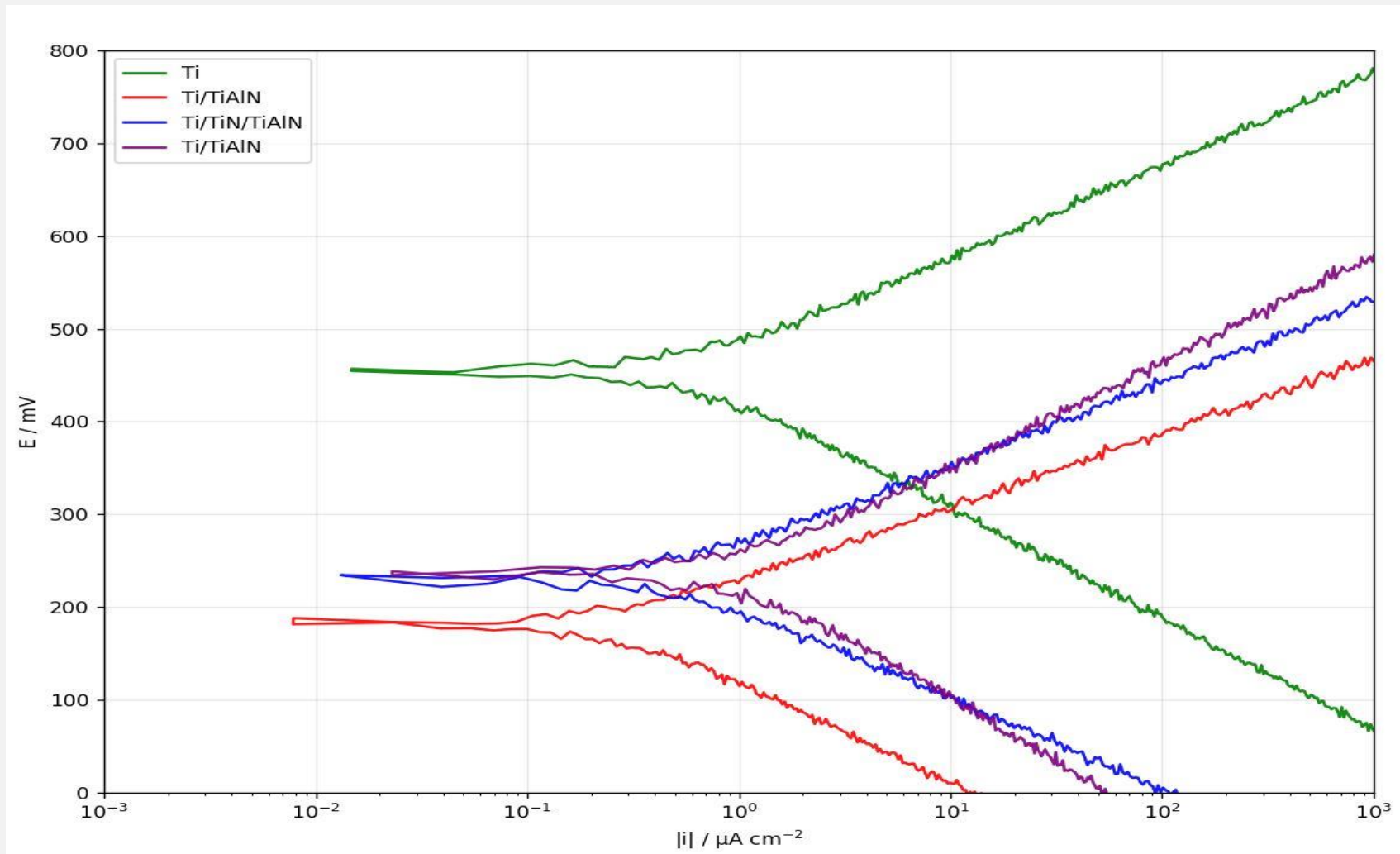


شکل ۴. نمودار تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش



شکل ۳. نمودار کاهش وزن پس از تست پین روی دیسک

آزمون پلاریزاسیون



شکل ۵. نمودار پلاریزاسیون برای نمونه‌ها با لایه‌های واسط متفاوت

نتیجه گیری

- نتایج آزمون SEM نشان داد کمترین اندازه ماکرو ذرات (۴/۱ میکرومتر) مربوط به شکل گیری پوشش روی لایه واسط TiN به میزان ۱۵ دقیقه است.
- با توجه به کمترین کاهش وزن و کمترین ضریب اصطکاک اندازه گیری شده در آزمون پین روی دیسک پوشش با لایه واسط Ti بهترین عملکرد را نسبت به لایه‌های واسط دیگر و پوشش چند لایه دارد.
- پوشش با لایه واسط TiN دارای بیشترین مقاومت به خوردگی در میان سایر لایه‌های واسط است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب قدردانی و تشکر صمیمانه خود را از همکاری و حمایت شرکت نانوسیلیکون آتین در انجام این پروژه اعلام می‌داریم.

مراجع اصلی

- [1]. Mattox, D. M. (2010). *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. William Andrew.
- [2]. Zhang, M., Cheng, Y., Xin, L., Su, J., Li, Y., Zhu, S., & Wang, F. (2020). Cyclic oxidation behaviour of Ti/TiAlN composite multilayer coatings deposited on titanium alloy. *Corrosion Science*, 166, 108476.