به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com

Evaluation of Shocked Waves Effects Induced by Pulsed Laser on The Metallic Nano Thin Films

Abstract

In this study to investigate the adhesion and strength of metallic thin films by 150 nm thickness- that are used at optical applications- a Nd:YVO4 was employed. Copper layers were deposited on the glass substrates by sputtering method at two (20 C˚ and 100 C˚) preheat temperatures. For concentrating the shocked waves and reducing the heat effects of laser pulses "water glass" glue was used. Thin films delaminated and spalled because of induced shock waves. The irradiated samples were examined by optical and atomic force microscopes. Results shows that layer that deposited at 100 C˚ preheat temperature was stronger than others. Affected areas by laser exposing increases by rising up the irradiation time and energy.

Keywords: metallic thin film, Nd:YVO_4 pulsed laser, shocked waves

www.Iran–mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد ایران

بررسی اثر امواج ضربه‌ای حاصل از لیزر پالسی بر پوشش های فلزی نانومتری

چکیده

جهت بررسی استحکام و چسبندگی پوشش های فلزی با ضخامت های ۱۵۰ نانومتر که در کاربردهای اپتیکی مورد استفاده قرار می گیرند از لیزر نانو پالسی $Nd:YVO_4$ استفاده گردید. پوشش های مس، با روش کندوپاشش(sputtering) بر روی شیشه ها در دو دمای ۲۰ و ۱۰۰C° ایجاد شدند. همچنین از ماده آب شیشه (waterglass) جهت متمرکز کردن امواج مکانیکی حاصل و از بین بردن حرارت لیزر استفاده گردید. امواج ضربه ای حاصل از برخورد پالسهای لیزر بر پشت نمونه ها باعث برآمدگی و کَنش در لایه های فلزی شد. بررسی های علمی بوسیله تصاویر میکروسکوپ نوری و اطلاعات حاصل از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) انجام شد. نتایج نشان دهنده آن است که لایه های مس ایجاد شده در دمای پیش گرم ۱۰۰ درجه سانتیگراد چسبندگی بیشتری نسبت به سایر نمونه ها دارند. افزایش زمان تابش پالسهای لیزر و افزایش انرژی باعث افزایش مساحت ناحیه مورد تاثیر شده است.

کلمات کلیدی: پوشش های فلزی، لیزر پالسی $Nd:YVO_4$، امواج ضربه ای

www.Iran–mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد ایران

مقدمه

امروزه پوششهای نازک فلزی کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف و بویژه صنایع الکترونیک و اپتیک دارند. تعیین خواص مکانیکی - حرارتی این لایه ها بدلیل طبیعت ناشناخته آنها یکی از چالش های بزرگ در تحقیقات امروزه است (Logunov S., Kouzmina I., Winningham M., Fewkes E.,2004). تنشهای پسماندی که در فرآیند لایه نشانی توسعه پیدا می کنند، تاثیر زیادی در خواص مکانیکی آنها دارد و می تواند باعث ترک خوردگی و جدایش آنها از زیرلایه گردد. تعیین استحکام چسبندگی پوشش های با ضخامت نانومتری با استفاده از روشهای معمول مهندسی سطح کار سخت و مشکلی است. در مسائل مربوط به کاربردهای پوشش، حداقل میزان پذیرش کیفیت پوشش بستگی زیادی به میزان چسبندگی پوشش و سطح دارد. برای تعیین میزان چسبندگی استفاده از روش های ساده و قابل دسترس بر روشهای پیچیده و گران قیمت ارجحیت دارد. اما در مواردی که کاربردهای پوشش بسیار حساس و هزینه بر می باشد استفاده از روشهای دقیق مقرون به صرفه می باشد.

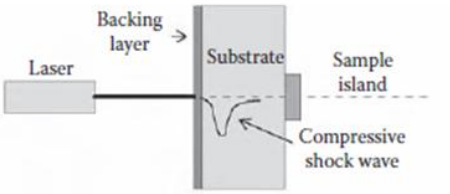
روشهای مکانیکی متفاوتی برای اندازه‌گیری استحکام چسبندگی لایه‌های نازک وجود دارد(K.L. Mitall,1978,1987). در این روشها چسبندگی بوسیله اعمال نیرو به سیستم پوشش/ زیرلایه تعیین می گردد. این نیرو می تواند بصورت عمود بر سطح لایه اعمال شود که به آزمون کشش(pull-off) مشهور است و یا موازی باشد که به آزمون تنش برشی معروف است. همچنین از روشهای دیگر اعمال نیرو مانند ترکایش(indentation)، خراش[1] و یا تست تپانش[2] لیزر نیز استفاده می شود. در این میان آزمون کشش یکی از پرکاربردترین روشها است، که با چسباندن قطعات واسط به سطح لایه و زیرلایه و انجام آزمون کشش، نیروی جدایش و استحکام چسبندگی بدست می‌آید. از آنجا که در این آزمون پوشش تحت تنش است و دچار تغییر شکل پلاستیک میشود، تعیین دقیق میزان استحکام چسبندگی امکان پذیر نیست(R. Jacobsson and B. Kruse, 1973) بلکه استحکام نهایی چسب مورد استفاده در این روش تعیین کننده دقت اندازه گیری می باشد.

روشی دیگر برای اعمال بار مکانیکی به سیستم پوشش/زیرلایه جهت کَنش (delamination) لایه ، استفاده از تکنیک بارگذاری شوکی است. این کار می تواند بوسیله تپش لیزر(V. Gupta, J. Yuan and A. Pronin 1995, S. Logunov, I. Kouzmina, M. Winningham, E. Fewkes,2004, G.Rosa, P.Psyllaki and R.Oltra. 2001) یا آزمون ضربه با ذرات ساینده انجام پذیرد. در یک مطالعه از لیزر برای مطالعه مناطق غیر متصل یا با اتصال ضعیف در پوشش ضخیم پلاسما-اسپری استفاده گردید(H. Ollendorf, T. Schulke and D. Schneider,2001). با اعمال لیزر بر روی سطح پوشش، مناطق با اتصال ضعیف بوسیله تغییرات آکوستیکی ثبت شده در آنسوی قطعه شناسایی شدند. از جمله مزایای استفاده از لیزر در این تحقیق غیر مخرب بودن و توانایی استفاده از آن برای اشکال پیچیده عنوان شده است. در تحقیق دیگری(J. Wang, R.L. Weaver, and N.R. Sottos, 2002) برای کَنش پوشش اپتیکی و بررسی میزان چسبندگی از لیزر پالسی با عرض پالس ۱۰ ns و فرکانس ۱-۱۰۰۰ هرتز با طول موج ۳۵۵nm استفاده کرده اند. در این تحقیق اثر میزان قله توان، انرژی پالس و قطر لکه بر میزان چسبندگی پوشش مورد بررسی قرار گرفته است.

بر خلاف روشهای مکانیکی در روش لیزری یک تنش فشاری در حدفاصل لایه و زیرلایه بوجود می آید. این روش اولین بار توسط ووزن (J.L. Vossen,1978) و گوپتا (V. Gupta, 1992) مورد استفاده قرار گرفت. با تاباندن یک پالس کوتاه لیزر به سطح پشتی زیرلایه، یک

1. Scratch
2. pulsed

موج تنشی تولید می شود که این موج با برخورد به فصل مشترک لایه/زیرلایه موجب جدایش پوشش می شود و انرژی یا نیروی لازم برای جدایش را ایجاد می کند. (شکل۱).



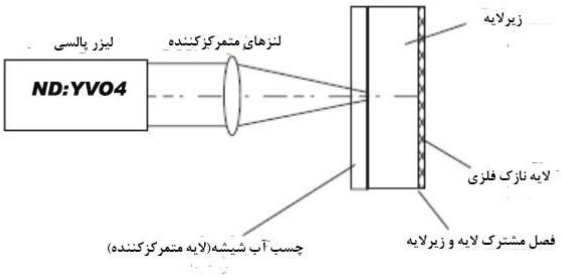
شکل۱: نمایی از تست چسبندگی پوششها با لیزر پالسی

در این تحقیق جهت بررسی استحکام و میزان چسبندگی پوشش های فلزی نانومتری بر روی قطعاتی که درساخت لیزر مورد استفاده قرار می گیرند، از موج ضربه‌ای لیزر پالسی جهت کَنش لایه ها استفاده شده است. از میزان برآمدگی و همچنین مساحت منطقه اثر امواج به عنوان دو مشخصه برای تعیین استحکام نسبی و چسبندگی لایه های نازک استفاده شد و متغیرهای فرآیند لایه نشانی بر میزان چسبندگی پوشش ها مورد بررسی قرار گرفت.

روش آزمایش

فرآیند لایه نشانی بر روی زیر لایه هایی از جنس شیشه با ضخامت ۱/۲ میلیمتر انجام شد. ابتدا زیر لایه های شیشه ای به مدت ۱۵ دقیقه در استون و در دستگاه آلتراسونیک چربی زدایی و سپس با الکل و آب یون زدایی شده شستشو داده شدند. در مرحله بعد لایه های نازکی از جنس فلز مس با ضخامت ۱۵۰ نانومتر به روش کندوپاش رادیو فرکانسی در دو دمای ۲۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد بر روی زیر لایه های شیشه ای پوشش داده شدند.

برای بررسی اثر امواج مکانیکی بر پوشش ها از یک لیزر $Nd:YVO_4$ بطول موج ۱۰۶۴ نانومتر با طول پالس ۱۰ نانو ثانیه استفاده شد. برای متمرکز کردن موج ضربه ای تولید شده توسط لیزر، در پشت نیمی از زیرلایه های شیشه ای یک لایه چسب آب شیشه (Water Glass) به ضخامت ۲۰۰ میکرون قرار داده شد (J. Wang et al, 2002, G.Rosa, 2001). نمونه‌ها در فاصله ۲/۵ سانتی متر از کانون لیزر قرار داده شدند و لیزر با انرژی ۰/۳ میلی ژول با فرکانس پالس ۲۰۰ هرتز در زمانهای ۵ ، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ثانیه به آنها تابانده شد. چیدمان این آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

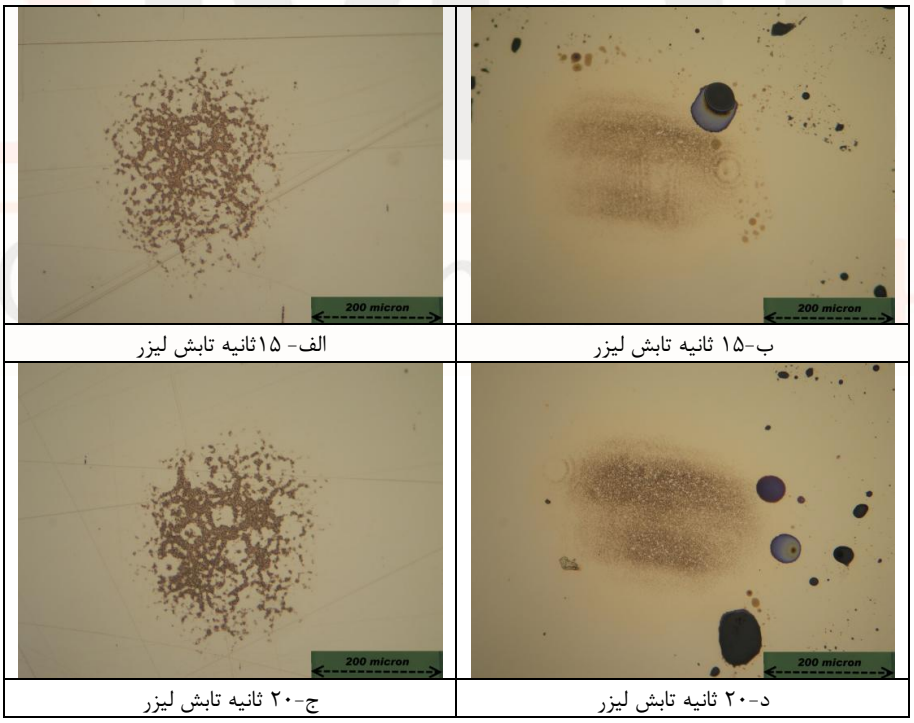


شکل ۲- چیدمان آزمایش

برای بررسی و آنالیز اثر پالسهای لیزر بر نمونه ها از میکروسکوپ نوری و برای تعیین میزان برآمدگی لایه ها از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد.

نتایج و بحث

تاثیر تابش لیزر بر پوشش ها در شکل‌های ۳و۴ نشان داده شده است. تخریب بوجود آمده در ناحیه موثر در نمونه‌های دارای ماده متمرکز کننده چسب آب شیشه بدلیل افزایش شدت موج بوجود آمده در قطعه و تمرکز آن در ناحیه تحت تابش، بمراتب بیشتر از نمونه‌های بدون ماده متمرکز کننده است. سطح ناحیه تخریب شده به کمک میکروسکوپ نوری در نمونه‌های مختلف اندازه گیری شد و در نمودار شکل ۵ آورده شده است. میزان انرژی امواج ضربه‌ای با توجه به تعداد پالس*زمان تابش*انرژی پالس محاسبه شده است. با توجه به شکل ۵ با افزایش انرژی امواج ، ناحیه تخریب شده در کلیه نمونه ها افزایش یافته است. همچنین با افزایش زمان تابش از ۵ تا ۱۵ ثانیه و افزایش تعداد پالسها از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ عدد، ناحیه تحت تاثیر بشدت گسترش یافته است در صورتیکه در همه موارد با افزایش زمان تابش به ۲۰ ثانیه و برخورد ۴۰۰۰ پالس به پشت نمونه، تغییر چندانی در سطح موثر دیده نمی شود، که این خود حاکی از جدایش و تخریب لایه نازک تا ۱۵ ثانیه است. قابل ذکر است که با افزایش زمان تابش لیزر به بیش از ۱۰ ثانیه، اثرات حرارتی بیشتر شده و تخریب های ایجاد شده تنها ناشی از موج مکانیکی نیست.

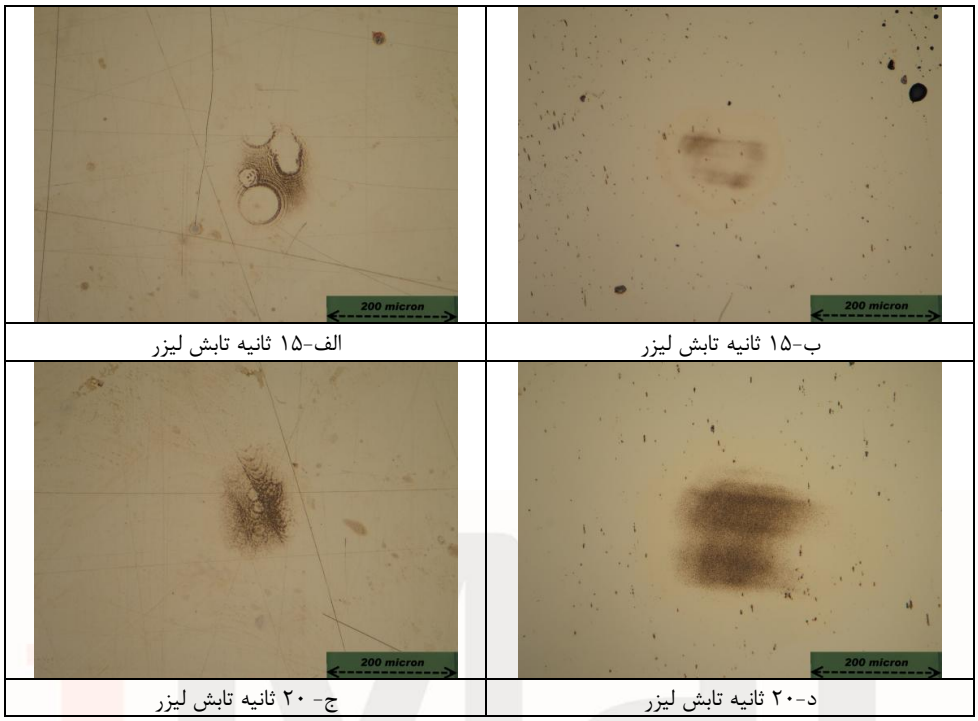


الف- ۱۵ثانیه تابش لیزر | ب-۱۵ ثانیه تابش لیزر

ج-۲۰ ثانیه تابش لیزر | د-۲۰ ثانیه تابش لیزر

شکل۳: سطح تخریب شده در پوشش های لایه نشانی شده در دمای محیط الف وج) با چسب شیشه و ب و د) بدون چسب شیشه

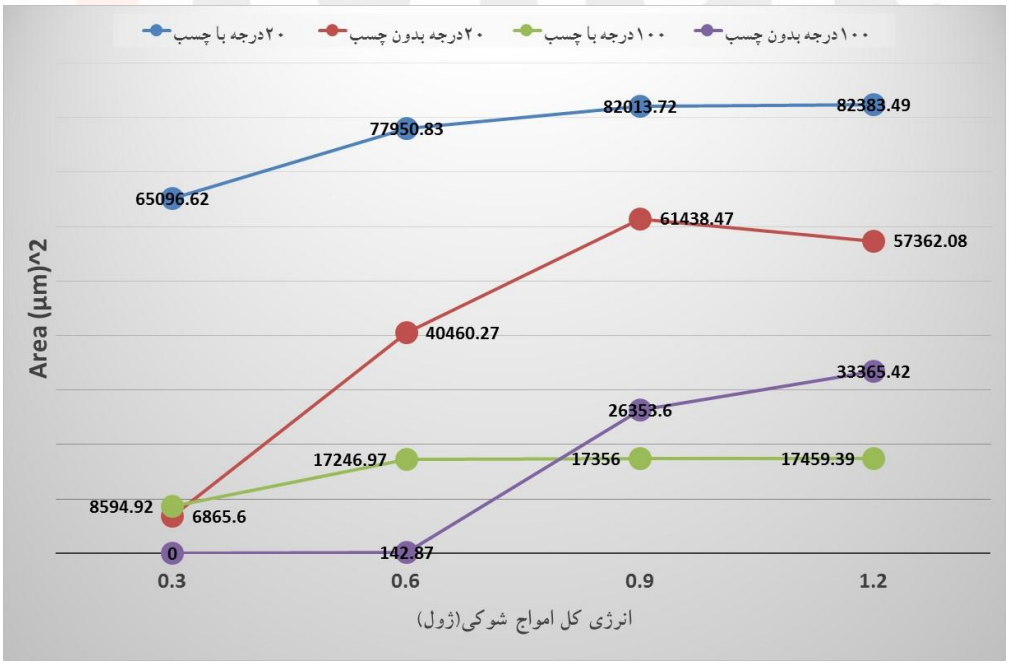
www.Iran-mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد ایران



الف-۱۵ ثانیه تابش لیزر | ب-۱۵ ثانیه تابش لیزر

ج- ۲۰ ثانیه تابش لیزر | د-۲۰ ثانیه تابش لیزر

شکل۴: سطح تخریب شده در پوشش های لایه نشانی شده در دمای پیش گرم ۱۰۰ درجه الف وج) با چسب شیشه و ب و د) بدون چسب شیشه



شکل۵: میزان سطح تحت تاثیر در اثر امواج ضربه ای حاصل از تابش لیزر

سطح تخریب شده در نمونه با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و بدون بکارگیری چسب در مدت زمان تابش ۵ ثانیه ۰,۰۰۶۸ میلیمترمربع بوده که این مقدار با چسباندن چسب به پشت قطعه به ۰,۰۶۵ میلیمترمربع افزایش یافته که بمیزان ۸۵۰ درصد رشد یافته است. البته این نرخ افزایش ناحیه تخریب شده در صورت استفاده از چسب شیشه با افزایش زمان تابش کمتر شده و در تابش ۱۵ ثانیه به ۳۰ درصد می رسد، همانطور که ذکر شد با افزایش زمان تابش تا مقدار خاصی جدایش پوشش از زیر لایه بر اثر موج فشاری رخ می دهد و پس از آن اثرات حرارتی در قطعه و پوشش نازک غالب می شود که تاثیر کمتری نسبت به اثر موج دارد. در نمونه‌های لایه نشانی شده در ۱۰۰ درجه سانتیگراد در زمانهای ۵ و۱۰ ثانیه در حالتی که از چسب استفاده نشده است، اثر قابل ملاحظه‌ای بر پوشش ها مشاهده نمی‌گردد ولی با استفاده از ماده تمرکز دهنده در همین زمانها سطح تخریب شده قابل مشاهده و اندازه‌گیری است.

همانطور که در شکل۵ ملاحظه می شود، در این نمونه‌ها با استفاده از چسب در زمانهای تابش ۱۵ و ۲۰ ثانیه، سطح موثر بیش از حالت بدون چسب بوده که دلیل آن پخش شدن حرارت تولید شده در نمونه است. اما با مشاهده شکل ۴ الف و ب مشخص است که در این حالتها تخریب کمتری بوجود آمده، ولی در سطح بیشتری گسترش یافته است. همچنین در مقایسه دو نمونه لایه نشانی شده در دو دمای مختلف براحتی مشاهده می‌گردد که لایه های پوشش داده شده در دمای بالاتر (۱۰۰ درجه) سطح کمتری دچار تخریب شده و دارای استحکام چسبندگی بیشتری بوده است.

در ادامه برای تحلیل کیفی بهتر سطوح تخریب شده، از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد. نتایج مربوط به بیشینه برآمدگی زبری سطح در دو نمونه لایه نشانی شده با چسب در زمانهای تابش ۵ و ۱۰ ثانیه در جدول ۱ آورده و در شکل۶ نشان داده شده است. در هر دو نمونه با افزایش زمان تابش میزان برآمدگی سطح افزایش یافته، همچنین بوضوح میزان برآمدگی سطح در نمونه لایه نشانی شده با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد نسبت به نمونه با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد کمتر است. اما با افزایش زمان تابش که اثرات تخریبی موج فشاری کمتر شده و اثرات حرارت تولید شده بیشتر می‌گردد، اختلاف بین حداکثر زبری سطح در دو نمونه کمتر می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت با افزایش چسبندگی پوشش نازک، میزان برآمدگی منطقه تخریب شده کاهش می یابد.

جدول۱: بیشینه زبری سطح تحت تابش لیزر

زمان تابش (ثانیه)	بیشینه زبری سطح (نانومتر) نمونه لایه نشانی شده	
	در ۲۰درجه سانتیگراد	در۱۰۰درجه سانتیگراد
۵	۳۷۵	۲۴۲
۱۰	۴۲۸	۴۰۹

www.Iran–mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد ایران

الف

ب

شکل۶: تصویر AFM ناحیه تخریب شده در زمان ۱۰ ثانیه. نمونه‌های لایه نشانی شده در الف) ۲۰ درجه سانتیگراد ب) ۱۰۰ درجه سانتیگراد

نتیجه‌گیری

امواج ضربه ای ناشی از تاباندن لیزر پالسی بر پوشش های نازک مس با ضخامت ۱۵۰ نانومتر با استفاده از میکروسکوپ نوری و نیروی اتمی بررسی شدند. با افزایش انرژی و زمان تابش لیزر اندازه ناحیه مورد تاثیر بیشتر می‌شود. چسب آب شیشه به عنوان ماده متمرکز کننده امواج ضربه‌ای تاثیر زیادی بر کنش لایه ها بر اثر ضربه موج دارد. ناحیه متاثر از لیزر در نمونه‌های لایه نشانی شده در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد کوچکتر و برآمدگی کمتری در آنها ایجاد شده است که نشان دهنده استحکام چسبندگی بیشتر این نمونه‌ها است.

مراجع

- Gupta V., Yuan J. and Pronin A., 1995, "Recent developments in the laser spallation technique to measure the interface strength and its relationship to interface toughness with applications to metal/ ceramic, ceramic/ ceramic and ceramic/ polymer interfaces", Adhesion Measurement of Films and Coatings, pp. 367-40 1, VSP
- Gupta V., Argon A.S., Parks D.M., and Cornie J.A., 1992, "Measurement of interface strengthby a laser spallation technique", *J. Mechanics and Physics of Solids*, 40, p. 141–180,.
- Jacobsson R. and Kruse B.,1973, *Thin Solid Films*, 15(1), p.71–77,VSP.
- Logunov S., Kouzmina I., Winningham M., Fewkes E.,(2004),"Use of Laser Spallation to Measure the Adhesion of Optical Fiber Coatings", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 93, 2459–2468 ,Wiley Periodicals, Inc.
- Mittal K.L., *Adhesion Measurement of Thin Films, Thick Films, and Bulk Coatings, American Society for Testing and Materials*, ASTM STP,640. p.5–17, 1978.

www.Iran–mavad.com
مرجع علمی مهندسی مواد ایران

- Mittal K.L., *J. Adhesion Science and Tech*, 1(3) p.247–259, 1987.
- Ollendorf H., Schulke T. and Schneider D.,2001," Testing the adhesion of hard coatings including the non-destructive technique of surface acoustic waves", Adhesion Measurement of Films and Coatings, Vol. 2, pp. 49-77,VSP.
- Rosa G., Psyllaki P. and Oltra R.. (2001),"*Adhesion Measurement of films and coatings"*, p. 277-290.
- Vossen J.L., 1978,T*hick Films and Bulk Coatings, American Society for Testing and Materials*, , 640, p.122–123, ASTM STP
- Wang J., Weaver R.L., and Sottos N.R., 2002,"A parametric study of laser induced thin film spallation", *Experimental Mechanics*, 42(1), p.74–83.

iMat
Conference 2014