

مانزد بمتن سمتنار ملی مهند سی سطح

پژوهشگاه مواد و انرژی ۲۹ و ۳۰ مهرماه ۱۳۹۳

استفاده از تکنیک لیزری برای ایجاد مستقیم ساختارهای منظم در سطح استیل ضد زنگ؛ رهیافتی برای تولید الگوهای متناوب در سطح فلزات

سپهر رازی'، محمود ملاباشی'، خسرو معدنی پور'، سهیلا جوادیان

^۱. گروه فیزیک اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران (دانشجوی دکتری) ۲. گروه فیزیک اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران (استاد) ^{۳.} پژوهشکده اپتیک، لیزر و فوتونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (دانشیار) ۴. پژوهشکده اپتیک، لیزر و فوتونیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (دانشجوی دکتری)

چکیده در این مقاله قابلیت تکنیک پیرایش لیزری برای الگودهی مستقیم سطوح فلزی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ورقه هایی از جنس استیل ضد زنگ ۲۹۶ در اتمسفر هوا، در معرض پالس هایی متوالی از لیزر Nd:YAG با دوام پالس ۱۲ نانو ثانیه، قرار گرفتند. میکروسکوپ الکترونی، SEM، بیناب نمایی EDX و تکنیک های پردازش تصویر سه بعدی برای ارزیابی تحولات شیمیایی، ساختاری و مورفولوژی القا شده در سطح بکار گرفته شدند. پس از بررسی تاثیر طول موج و شاریدگی لیزر فرودی، مشخص گردید که تکنیک لیزری، روشی توانمند برای ایجاد ساختارهای منظم در سطوح فلزی بوده و با کنترل پارامترهای لیزری، ایجاد میکروساختارهای متنوع و حتی ساختارهای متاوب خطی در سطح استیل امکان پذیر میباشد. در این مقاله ضمن معرفی چندین مورد از حالت های بهینه برای ایجاد میکروساختارهای سطحی، پیشنهاداتی نیز در مورد مکانیسم تشکیل آن ها ارائه گردیده است.

واژدهای کلیدی: لیزر، سطح، مورفولوژی، پلوم پلاسمایی، امواج شوک، ناپایداری های هیدرودینامیکی

^{&#}x27;. Sepehr.razi@gmail.com, s_razi@iust.ac.ir

مقدمه

ایجاد میکرو و نانوساختارهای سطحی در مواد مختلف دارای کاربردهای متعدد صنعتی و پزشکی همچون ساخت ادوات نانوالکترونیک یا اپتوالکترونیک، سیستمهای ذخیره سازی اطلاعات، کنترل خواص مکانیکی و اپتیکی جامدات، مهندسی پزشکی و بهبود کیفیت ایمپلنت های اورتوپدی میباشند [۱–۳]. در بین روش های پردازش سطح، روش لیزری در حال حاضر از موفق ترین و انعطاف پذیرترین روشها، برای میکرو و نانو ماشین کاری مواد مختلف می باشد. این تکنیک از مکانیسم های فیزیکی بهره مند میشود که در شرایط بهینه منجر به ایجاد ساختارهای دو و سه بعدی در سطح فلزات، نیمه رساناها ، مواد شفاف اپتیکی و پلیمرهای تابش دیده با پر توهای لیزری می گردد[۲، ۴].با پیشرفتهای تحقق یافته در مهندسی لیزر که منجر به تولید پالس های کوتاه نانو ثانیه وفوق کوتاه فمتو ثانیه و کیفیت پر تو با بازده ایدآل شده است، توسعه تکنیک های میکرو و نانوماشین

در این کار پژوهشی بر روی بررسی قابلیت تکنیک لیزری در کنترل ساختار و مورفولوژی سطح استیل ضد زنگ ۲۹۶۲ تمرکز شده است. این نوع از استیل های ضد زنگ به دلیل خواص منحصر بفردی همچون مقاومت بسیار بالا در برابر خوردگی دارای کاربردهای متعدد صنعتی و پزشکی میباشند و در بسیاری از موارد موفقیت و یا شکست آنها در کاربردهای گوناگون ارتباط مستقیمی با ویژگی های سطحی از جمله مورفولوژی آنها دارد.

مواد و روش تحقيق

در این مقاله بنا به کاربردهای گسترده صنعتی و پزشکی استیل های ضد زنگ، اندر کنش لیزر Nd:YAG ورقه هایی از جنس استیل ضد زنگ T ۹ ۹ ۹ ابعاد ^۳ mm × ۱۰× ۱۰ به منظور الگودهی تک مرحله ای و مستقیم سطوح آن ها مورد مطالعه قرار گرفته است. ترکیب و مشخصات عنصری مربوط به نمونه های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور دستیابی به شرایط اولیه معین و یکنواخت، نمونه ها بصورت مکانیکی تا زبری متوسط Mith پولیش کاری شدند. برای رهایی از آسیب های احتمالی سمباده زنی، از مونه ها معرد مکانیکی تا زبری متوسط می مربوط به نمونه های مورد مطالعه قرار گرفته است. ترکیب و مشخصات عنصری مربوط به نمونه های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور دستیابی به شرایط اولیه معین و یکنواخت، نمونه ها بصورت مکانیکی تا زبری متوسط Mith Mith پولیش کاری شدند. برای رهایی از آسیب های احتمالی سمباده زنی، از محیط آبی استفاده گردید. حضور آب علاوه بر خنک سازی نمونه و جلوگیری از آسیبهای مکانیکی و حرار تی، باعث شستشوی نمونه ها و دور کردن ذرات و براده های ایجاد شده می گردید. در مرحله بعد نمونه ها در مرحله ای در می طالعه در محیط استون به مدت ۲۰ دقیقه در حمام فراصوت مورد شستشو قرار داده شدند و در نهایت با آب دوبار در می یونیزه با PH خنثی آبکشی شدند .

به منظور تابش دهی نمونه ها از لیزر پر توان Nd:YAG با کلید زنی Q استفاده گردید. پارامترهای لیزری مورد استفاده در طول آزمایش بصورت خلاصه در جدول ۲ اشاره شده اند. شکل ۱ شماتیکی از چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده برای اندرکنش پرتو لیزر با نمونه ها را نشان میدهد. به منظور اسکن کردن کل سطح پانز دهمین سمینار ملی مهندسی سطح

نتايج و بحث

پدیده های متعدد فیزیکی همچون تولید امواج شوک، افزایش فشار موضعی، پدیده های حرارتی و هیدرودینامیکی در اندرکنش لیزرهای نانوثانیه با سطوح فلزی درگیر میباشند که علی رغم مطالعات بسیار گسترده تجربی و مدل بندی های ریاضی، جزئیات و شرایط واقعی بسیاری از آن ها هنوز مشخص نیست. هر یک از این پدیده ها تاثیر چشمگیری بر روی خواص سطح نمونه های پردازش شده با این تکنیک داشته و لذا کلیه عملکردهای مرتبط با سطح آن ها را میتوانند تحت تاثیر قرار دهند. شکل ۲ تصاویر SEM سطح نمونه های استیل پیرایش شده با تعداد ۲۰۰۰ پالس متوالی از فوتون های فروسرخ با طول موج انجاد را نمایش میدهد. بنا به این نتایج، تابش دهی با شاریدگی های پایین تا حد ^۲ ایر ۲۰۲۳ این بیز باعث ایجاد میکروساختارهای سطحی بر روی نمونه ها گردیده است.

در مورد نحوه تشکیل این چنین ساختارهای سطحی به نظر می رسد که جذب انرژی تابش الکتر ومغناطیسی فرودی توسط الکترون های آزاد سطحی در فلز مورد مطالعه باعث افزایش انرژی جنبشی آن ها می گردد. این انرژی از طریق ارتعاش فونون ها و کوپلاژ الکترون – فونون از سطح به حجم ماده و کل شبکه منتقل گردیده و باعث افزایش درجه حرارت ماده تا روی دادن پدیده های ذوب سطحی می گردد. مدت زمان انتقال انرژی حرارتی به حجم در محدوده پیکوثانیه است [۲] که به مراتب بسیار کمتر از دوام پالس لیزری می باشد. از آنجاییکه استیل دارای رسانند گی حرارتی بالایی می باشند، انرژی دریافتی به سرعت از ناحیه تابش دیده منتقل گردیده و جامد شدن مجدد ناحیه ذوب شده تحقق پیدا می کند و ساختارهایی سطحی تثبیت می گردند .

با افزایش شدت لیزر فرودی میزان انرژی منتقل شده به ماده افزایش یافته و لذا حجم بیشتری از ماده در اندر کنش در گیر خواهد بود و ساختارهایی به مراتب بزرگ تر برای شاریدگی های لیزری ۲ و J/Cm « مشاهده گردیدند. به منظور درک بهتر الگوهای ساختاری ایجاد شده، از تکنیک های پردازش تصویر سه بعدی استفاده گردید که نتایج آن در شکل ۳ نمایش داده شده است. نتایج به خوبی نحوه تغییرات مورفولوژی سطح و دانه بندی ها با افزایش شاریدگی فرودی از ۱ تا J/Cm « را نمایش می دهند .

با تغییر طول موج از ناحیه فروسرخ به ناحیه مرئی ،۵۳۲nm، الگوهای سطحی ایجاد گردیده بصورت چشمگیری تغییر یافتند. تصاویر SEM مربوط به اصلاح سطح با شاریدگی 'J/Cm ، نشانگر صاف شدن سطح نمونه میباشند، شکل ۴-A. الگوی سه بعدی با تفکیک پذیری بالای حاصل از پردازش تصویر نیز ضمن تایید افزایش یکنواختی و صاف شدگی سطح، عدم وجود ساختارهای مشخصی را نمایش میدهد، شکل ۵-A. با

افزایش شاریدگی لیزر فرودی از ۱ تا J/Cm^۲ ۳، ساختارهای متناوب خطی بر روی سطح ملاحظه گردیدند که فاصله متوسط بین خطوط در شاریدگی ۲۹/Cm^۲ ۲ مسام ۱۵ و در شاریدگی J/Cm^۳ به μm ۲۴ رسیدند. بنا به مطالعات ما، برخلاف لیزرهای فمتوثانیه پرتوان، ساختارهای متناوب خطی ارائه شده در این مقاله تا کنون در هیچ یک از پژوهش های قبلی تحقق یافته با استفاده از لیزرهای نانوثانیه گزارش نشده اند.

با توجه به اینکه جذب کلیه فلزات در ناحیه مرئی به مراتب بیشتر از ناحیه فروسرخ می باشد [۵] در اندر کنش پرتوهای با طول موج MTMT با استیل، بخش بیشتری از انرژی به ماده منتقل می گردد. بنا به این مهم، به نظر می رسد که عمق حوضچه مذاب نسبت به پرتوهای فروسرخ در شرایط یکسان بیشتر بوده است. دست یابی به سطح با یکنواختی بالا بعد از تابش دهی استیل با شارید گی I/Cm^۲ در طول موج MTMT نشانگر ذوب شدن یکنواخت سطح و دوباره جامد شدن آن می باشد. ایجاد ساختارهای متناوب خطی در سطح نمونه های شدن یکنواخت سطح و دوباره جامد شدن آن می باشد. ایجاد ساختارهای متناوب خطی در سطح و ناپایداری قابش دیده با شارید گی های بالاتر ۲ و I/Cm^۳ مرا می توان به افزایش فشار پلاسمایی در سطح و ناپایداری های هیدرودینامیکی ربط داد. با افزایش شارید گی لیزر فرودی، پلوم پلاسمایی شدیدتری در سطح ایجاد می-گردد که فشار حاصل از آن و حضور امواج شوک، بویژه در حوضچه های مذاب عمیق، باعث پس زنی مذاب به اطراف و ایجاد امواج سطحی، میکرو بر آمدگی و نوارهای سطحی می گردد. در این مرحله دینامیک سیالات و ناپایداری هایی چون ناپایداری های کلوین – همهولتز و یا رایلی – تیلور در این مرحله دینامیک سیالات ساخی نقش اصلی را بازی می کنند. بنا به مطالعات مورفولوژی تحقق یافته با میکروسکوپ SEM ، هیچ گونه آسیب سطحی همچون تر ک و یا حفره های سطحی در نتایج نهایی ملاحظه نگردید، که این به نوبه خود نشانگر کیفیت این روش می باشد.

پیشتر گروه های پژوهشی متعددی [۶–۸] ایجاد چنین نانو ساختارهای متناوب خطی را با استفاده از لیزرهای فمتوثانیه گزارش کرده اند. در اغلب موارد دلیل اصلی تشکیل این چنین ساختارهایی، تداخل بین امواج فرودی و امواج و پلاسمونهای سطحی موجود اشاره شده اند که در برخی از شرایط بهینه، ساختارهای با تناوب کمتر از طول موج لیزر فرودی نیز گزارش گردیده اند. برخی از این پژوهشگران [۸] ایجاد این چنین ساختارهایی را در شاریدگی های متوسط و پایین لیزری امکان پذیر دانسته و این پدیده را به دینامیک سیالات ربط داده اند. در اینجا با توجه به اینکه فاصله بین خطوط ایجاد گردیده در محدوده ۲۰ میکرومتری بوده و با عنایت به وجود تفاوتی جدی در مکانیسم اندر کنش لیزرهای نانوثانیه با فمتوثانیه، به نظر میرسد که دینامیک سیالات نقش غالب در تعیین ساختارهای نهایی را ایفا می کند.

تغییر رنگ ملاحظه شده بعد از تابش دهی نمونه های استیل میتواند نشانه ای از تغییرات تحقق یافته در شیمی سطح نمونه ها باشد. برای مطالعه هرچه دقیق تر تحولات روی داده از بیناب نمایی پرتو ایکس EDXS استفاده گردید که نتایج آن برای نمونه پیرایش شده با شاریدگی لیزری J/Cm^۲ و تعداد ۲۰۰۰ پالس متوالی در شکل ۶ نمایش داده شده است. نتایج نشانگر افزایش چشمگیر میزان اکسیژن روی سطح، بعد از تابش دهی میباشند، بطوریکه قبل از تابش دهی هیچ پیک اکسیژنی در سطح ماده مشاهده نشد ولی بعد از تابش دهی، درصد اتمی پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

اکسیژن به ۴۱/۳۷٪ رسید.افزایش میزان اکسیژن سطحی در هر دو طول موج لیزری مورد مطالعه ملاحظه گردید. اینچنین افزایش چشمگیر اکسیژن را می توان به ذوب سطحی نمونه در حین تابش دهی و پخش اکسیژن محیطی در مذاب ربط داد. مشخص گردیده است که تغییرات در میزان اکسیژن سطح فلزات در بسیاری از خواص آن از جمله خوردگی، مقاومت سایشی و ترشوندگی آنها تاثیر چشمگیری داشته و بطور کلی سطوح با میزان اکسیژن بالاتر آبدوست تر میباشند[۹].

نتيجه گيري

تغییرات القاشده در مورفولوژی سطح استیل ضد زنگ ۳۱۹۲ توسط پالس های متوالی از لیزر Nd:YAG مورد مطالعه قرار گرفتند.نتایج نشانگر وابستگی شدید مورفولوژی سطحی ایجاد شده به طول موج و شدت لیزر فرودی میباشند. در تابش دهی نمونه ها با طول موج فروسرخ ۳۱۸ ۱۰۶۴ میکروساختارهایی در سطح نمونه ها مشاهده گردیدند که با افزایش انرژی و شدت لیزر فرودی ابعاد آن ها افزایش یافتند. ذوب شدن سطح در اثر انتقال انرژی لیزر و دوباره جامد شدن سریع آن دلیل اصلی تشکیل اینچنین ساختارهایی عنوان گردید. در تابش دهی نمونهها با استفاده از طول موج MT ۲۰۱۳ ، ساختار و مورفولوژی کاملا متفاوتی نسبت به شرایط مشابه در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر ملاحظه گردید. در شاریدگی ^۲ J/Cm ۱۰ سطحی صاف و بدون هیچ ساختار مشخصی حاصل شد و با افزایش شدت لیزر فرودی ساختارهای متناوب خطی در سطح نمونه ها مشاهده گردیدند. برخلاف لیزرهای فمتو ثانیه پر توان، ساختارهای متناوب خطی ارائه شده در این مقاله تا کنون در هیچ یک از

افزایش چشمگیر ضریب جذب ماده در طول موج های مرئی نسبت به ناحیه فروسرخ دلیل عمده این تفاوت عنوان گردید. نتایج بخوبی نشان دادند که پدیده های هیدرودینامیکی همچون ناپایداری های رایلی-تیلور و کلوین-هلمهولتز نقش مهمی را در تعیین مورفولوژی نهایی سطوح پیرایش شده با طول موج مرئی دارا می باشند و با افزایش شاریدگی لیزر فرودی، پلوم پلاسمایی شدیدتری در سطح ایجاد می گردد که فشار حاصل از آن و حضور امواج شوک، بویژه در حوضچه های مذاب عمیق ایجاد شده در طول موج مرئی، باعث پس زنی مذاب به اطراف و ایجاد امواج سطحی، میکرو بر آمدگی و نوارهای سطحی می گردد. در این مرحله دینامیک سیالات و ناپایداری های هیدرودینامیکی در تعیین شکل نهایی ساختار سطحی نقش اصلی را بازی می کنند.

در کنار تحولات مورفولوژی سطح، بنا به گذار از فاز جامد به مایع و جذب اکسیژن محیطی، افزایش چشمگیری در میزان اکسیژن سطحی نمونه های پیرایش شده با هر دو طول موج مورد مطالعه ملاحظه گردید که به نوب ه خود قادر است برروی ویژگی های خوردگی، سایشی و ترشوندگی نمونه ها تاثیر گذار باشد. بنابراین روش پیرایش لیزری بر پایه لیزرهای نانوثانیه پالسی، روشی توانمند و تک مرحله ای برای دستیابی به تغییراتی در شیمی سطح، کنترل اندازه دانه بندی ها، ایجاد میکرو ساختارهای منظم و یا حتی الگوهای متناوب خطی بر روی استیل ضد زنگ، بدون هیچ گونه آسیب های مکانیکی همچون حفره ها و یا ترک های سطحی می باشد.

تشکر و قدردانی نویسندگان بدین وسیله از حمایت های جناب آقای دکتر رسول اژئیان، مدیریت محتـرم آزمایشگاه لایـه نـازک دانشگاه علم و صنعت ایران کمال تشکر و قدردانی را دارا میباشند.

مراجع

- ۱. Kabashin A.V., Delaporte Ph., Pereira A., Grojo D., Torres R., Sarnet Th., Sentis M, "Nanofabrication with Pulsed Lasers", Nanoscale Research Letters, ۵, ۲۰۱۰, ۴۵۴–۴۶۳
- I.N. Zavestovskaya, "Laser nanostructuring of materials surfaces", Quantum Electronics
 6., 7.1., 467-406
- **Ψ**. Jorge Lehr, Anne-Marie Kietzig, "Production of homogenous micro-structures by femtosecond laser micro-machining", Optics and Lasers in Engineering, ΔV, Y. 14, 171–174
- F. M.S. Trtica, B.M. Gakovic, B.B. Radak, D. Batani, T. Desai, M. Bussoli, "Periodic surface structures on crystalline silicon created by arr nm picosecond Nd:YAG laser pulses", Applied Surface Science, YaF, Y...Y, 1979-19741
- L. Quintino, A. Costa, R. Miranda, D. Yapp, V. Kumar and C. J. Kong, "Welding with High Power Fiber Lasers – A Preliminary Study", Materials & Design, ۲Λ, Υ···Υ, ΥΥΥ)–ΥΥΥ)
- Shuangshuang Hou, Yanyan Huo, Pingxin Xiong, Yi Zhang, "Formation of long- and short-periodic nanoripples on stainless steel irradiated by femtosecond laser pulses", J. Phys. D: Appl. Phys. ff, Y·11, Δ·Δf·1-f·V
- v. J. Vincenc Obona, V. Ocelík, J.Z.P. Skolski, V.S. Mitko, "On the surface topography of ultrashort laser pulse treated steel surfaces", Applied Surface Science, YAA, Y. 11, 1444-145.
- A. A.Y. Vorobyev, Chunlei Guo, "Femtosecond laser nanostructuring of metals", Optics Express, 12, 7...7, 7172
- L. Hao, J. Lawrence, L. Li, "The wettability modification of bio-grade stainless steel in contact with simulated physiological liquids by the means of laser irradiation", Applied Surface Science, YFV, Y...o, For-Fov

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

					0. 3	•	3				
TIL SS											
Element	Cr	Ni	Мо	Si	Co	S	Р	С	Ν	Mn	Fe
Wt%	17.11	1.12	۲.۰۳	•.00	• • • •	• .• ٣	•.•٣	•.•٢	•.•71	1.01	٦٨.٧٢

جدول ۱: ترکیب عنصری استیل ضد زنگ مورد مطالعه

جدول ۲: پارامترهای لیزری بکار گرفته شده برای پیرایش نمونه ها

Parameter	Value
Wavelength (nm)	1.72,077
Operation mode	TEM••
Pulse width (ns)	١٢
Pulse repetition rate (HZ)	0
Spot size (mm)	٣
Laser fluency (J/Cm [*])	۳ _ ۱
Pulses per spot	7



شکل ۱: شماتیک چیدمان آزمایشگاهی بکار گرفته شده برای پیرایش لیزری نمونه ها



شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ SEM مربوط به سطح نمونه های پیرایش شده با شاریدگی لیزری (A) ۱ (B) ۲ و (C) ۳ J/Cm^۲ و تعداد ۲۰۰۰ پالس متوالی (*nm* ۱۰۶۴ مربوط ا



شکل ۳: تصاویر حاصل از پردازش سه بعدی تصویر الگوهای ایجاد گردیده بر روی نمونه های پیرایش شده با شاریدگی لیزری (B) ۱(A) و (J/Cm^۲ (C) و تعداد ۲۰۰۰ پالس متوالی (A=۱۰۶۴ nm)



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ SEM مربوط به سطح نمونه های پیرایش شده با شاریدگی لیزری (A) (B) (A) و (C) شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ J/CM و T (B) ۲ و (C)



شکل ۵: تصاویر حاصل از پردازش سه بعدی تصویر الگوهای ایجاد گردیده بر روی نمونه های پیرایش شده با شاریدگی لیزری (A) ۱ (B) ۲ و (J/Cm^۲ (C) و تعداد ۲۰۰۰ پالس متوالی ((A ع ۵۳۲ م)



شکل ۶: آنالیز EDXs سطح نمونه های استیل قبل (نمودار پایین) و بعد از پیرایش توسط شاریدگی لیزری J/Cm^۲ و ۲۰۰۰ تعداد پالس متوالی در طول موج ۵۳۲ nm (نمودار بالایی)