استفاده از لیزر در سخت کاری سطحی فولادهای متوسط کربن 1.1186 و 1.6582

غلامرضا گردانی[1]، رضا شجاع رضوی[2]
۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان
۲- عضو هیات علمی گروه مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

چکیده

عملیات حرارتی سطحی فولادهای با کربن متوسط برای ایجاد یک لایه سخت شده همراه با تافنس مغز در مهندسی سطح توسعه یافته است، به طوری که امروزه از منابع مختلف انرژی نظیر حرارت دهی شعله‌ای و القایی برای دستیابی به این مهم بهره گرفته می‌شود. در این میان استفاده از انرژی لیزر نیز بعنوان یکی از منابع حرارتی سودمند در این زمینه در حال تحقیق و گسترش است. از جمله مزایای استفاده از لیزر در عملیات حرارتی سطحی فلزات می‌توان به امکان حرارت دهی موضعی، عدم ایجاد اعوجاج، قابلیت عملیات حرارتی نواحی خاص و کاهش زمان عملیات اشاره نمود. برای این کار تا کنون از لیزرهای مختلفی نظیر Nd:YAG ، CO_2 و لیزرهای پرقدرت اگزایمر استفاده شده است. در این تحقیق تاثیر انرژی لیزر Nd:YAG و سرعت روبش آن بر روی سختی سطح دو نوع فولاد ساختمانی 1.1186 و 1.6582 که هر دو دارای میزان کربن مساوی (۰/۴ درصد) و منگنز مساوی (۰/۸ درصد) بوده اما فولاد 1.6582 دارای عناصر آلیاژی نیکل، کرم و مولیبدن است، بررسی شده است. انرژی لیزر در محدوده ۲۰۰ تا ۶۰۰ میلی ژول انتخاب و با سرعت‌های روبش سطحی بین ۱۰ تا ۱۵۰ میلی متر بر دقیقه، بر روی سطح فولاد اعمال شد. آزمون‌های میکروسختی سنجی افزایش سختی سطوح عملیات لیزری شده را نشان داد که حاکی از تغییرات ریز ساختاری در این سطوح است. این میزان سختی و همچنین عمق سخت شده بسته به انرژی و سرعت روبش متفاوت بود. عمق سختی در هر دو نوع فولاد ساده و آلیاژی بیشتر از ۰/۷ میلی متر مشاهده شد.

کلیدواژه:

لیزر؛ عملیات حرارتی؛ سخت کاری سطحی؛ فولاد 1.1186 ؛ 1.6582

۱- مقدمه

اساس مهندسی سطح بر پایه بهبود خواص سطحی مواد مختلف مهندسی بنا نهاده شده است. بهبود در عملکرد سطحی قطعات مهندسی می‌تواند از طریق پوشش‌دهی، اصلاح‌سازی شیمیایی یا تغییر ریزساختاری با استفاده از عملیات حرارتی صورت پذیرد. تاکنون عملیات حرارتی سطحی فولادهای کم کربن و آلیاژی جهت ایجاد یک لایه سخت سطحی (به‌طوری‌که مغز قطعه نرمی خود را حفظ کند) با استفاده از تکنولوژی‌های شعله‌ای و القائی انجام شده است. استفاده از

تکنولوژی لیزر در ایجاد لایه‌های سخت سطحی بر روی آلیاژهای آهنی به‌علت دگرگونی‌های فازی یکی از فرایندهای جدید و قابل توجه در این زمینه به شمار می‌رود [۲و۱]. از مزایای استفاده لیزر در مهندسی سطح می‌توان به قدرت توان حرارتی موضعی بالا، عدم ایجاد اعوجاج در قطعه، امکان حرارت دهی موضعی و نواحی پیچیده و کاهش زمان عملیات حرارتی اشاره نمود[۳]. در این روش می‌توان از لیزرهای مختلفی نظیر Nd:YAG، CO_2 و اگزایمر استفاده نمود که هرکدام مزایا و معایب مربوط به خود را خواهند داشت. به کار بردن تکنولوژی‌های لیزری در مهندسی سطح نسبت به تکنولوژی‌های مرسوم دیگر، از سادگی بیشتری برخوردار است. همچنین این تکنیک از انعطاف‌پذیری زیادی جهت استفاده در گستره وسیعی از فراوری مواد، برخوردار است[۴-۵]. در تکنولوژی‌های لیزری استفاده از طول موج‌های کوتاه‌تر لیزر بازدهی بیشتری در ایجاد عمق و میزان سختی دارد[۶]. از طرفی این بازدهی بستگی به میزان قابلیت جذب لیزر توسط سطح ماده دارد. بدین منظور در مورد موادی که نسبت زیادی از انرژی لیزر را منعکس می‌کنند، می‌توان از موادی که قابلیت جذب بیشتری دارند (نظیر گرافیت)، به‌عنوان پوشش سطحی استفاده نمود. اخیراً از لیزر CO_2 در سخت کاری‌های سطحی مواد مختلف همراه با پوشش‌های جذب استفاده گسترده شده است[۸].

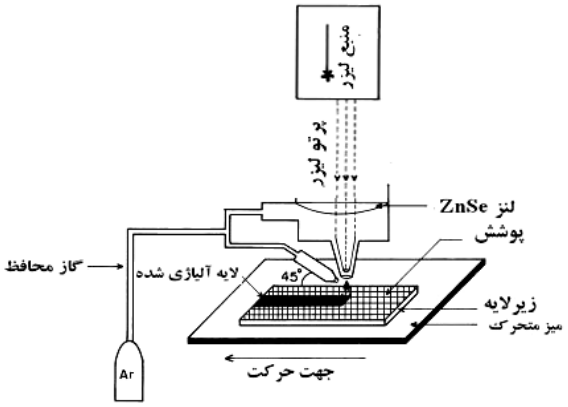
در این تحقیق با استفاده از یک لیزر Nd:YAG، فولاد کربنی و فولاد آلیاژی مورد عملیات حرارتی سخت‌کاری سطحی قرار گرفته و تأثیر انرژی لیزر و سرعت روبش سطحی بر میزان سختی به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

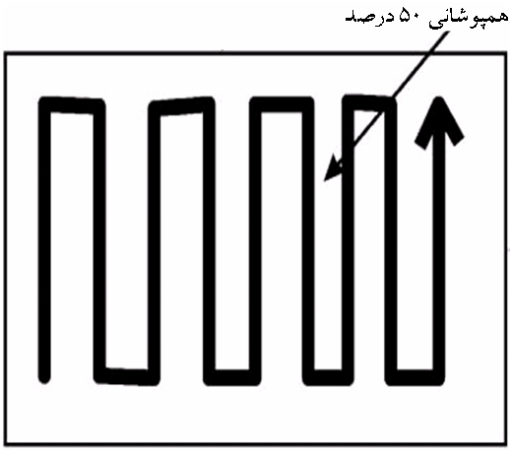
در این تحقیق از دو نوع فولاد ساده و آلیاژی 1.1186 و 1.6582 استفاده شد. ترکیب شیمیایی این فولادها در جدول(۱) آورده شده است. نمونه هایی در اندازه‌های 20×5×20 میلی‌متر از فولادی تهیه گردید. ماده اولیه نرمالیزه شده بوده و ساختار اولیه آنها فریتی پرلیتی بود. از یک لیزر پالسی Nd:YAG جهت عملیات حرارتی سطحی استفاده شد. تغییرات انرژی لیزر در محدوده ۲۰۰ تا ۶۰۰ mj و تغییرات سرعت روش بین ۱۰ تا ۱۵۰

جدول(۱): ترکیب شیمیایی فولادهای مورد استفاده

فولاد	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
1.1186	-۰/۴۵ ۰/۳۵	-۰/۳۵ ۰/۰۵	۰/۶-۱	-	-	-
1.6582	-۰/۴۶ ۰/۳۵	-۰/۳۷ ۰/۱۸	-۰/۹۹ ۰/۵۶	-۲/۰۵ ۱/۵	-۱ ۰/۶	-۰/۳۲ ۰/۱۸



شکل(۱): شماتیک سیستم مونتاژ شده لیزری



شکل(۲): شماتیک حرکت لیزر روی سطح نمونه ها را به صورت زیگزاگ با همپوشانی ۵۰ درصدی

میلی‌متر بر دقیقه انتخاب گردید. پرتو لیزر با استفاده از یک لنز ZnSe روی سطح نمونه‌ها طوری متمرکز شد که قطر آن روی سطح برابر ۱ میلی‌متر بود. همچنین از یک میز متحرک مجهز به سیستم کنترل کامپیوتری با دقت 0.001 میلی‌متر جهت نگهداری

جدول(۲): عملیات لیزری برای ایجاد یک عمق سخت شده ۱۰۰ میکرونی در فولاد 1.1186

سرعت روبش (mm/min)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
انرژی لیزر (mj) ۲۰۰															
۳۰۰	m	m													
۴۰۰	m	m	m	m	m	m									
۶۰۰	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m			

جدول(۳): عملیات لیزری برای ایجاد یک عمق سخت شده ۱۰۰ میکرونی در فولاد 1.6582

سرعت روبش (mm/min)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰
انرژی لیزر (mj) ۲۰۰															
۳۰۰	m	m	m												
۴۰۰	m	m	m	m											
۶۰۰	m	m	m	m	m	m	m	m	m						

جدول(۴): عملیات لیزری برای ایجاد یک عمق سخت شده ۲۵۰ میکرونی در فولاد 1.6582

سرعت روبش (mm/min)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
انرژی لیزر (mj) ۲۰۰										
۳۰۰	m	m								
۴۰۰	m	m	m	m						
۶۰۰	m	m	m	m	m	m	m			

و حرکت نمونه‌ها جلو پرتو لیزر استفاده شد. میزان همپوشانی پاس‌های لیزری در اینکار ۵۰ ٪ درنظر گرفته شد. شکل(۱) شماتیک سیستم مونتاژ شده لیزری را برای اینکار نشان می‌دهد. همچنین شکل(۲) شماتیک حرکت لیزر روی سطح نمونه ها را به صورت زیگزاگ با همپوشانی ۵۰ درصدی نشان می‌دهد.

از یک گاز محافظ آرگون نیزجهت حفاظت سطح در برابر اکسیداسیون در طی فرایند عملیات لیزری با دبی خروجی 5lit/min استفاده گردید. سپس نمونه‌های عملیات لیزری شده مقطع‌زده شده و مورد آزمون سختی سنجی قرار گرفت.

۳- نتایج

نتایج حاصل از اعمال انرژی‌های مختلف لیزر همراه با سرعتهای مختلف روبش جهت ایجاد یک عمق سخت شده ۱۰۰ میکرومتری بر روی فولاد کربنی ساده 1.1186 در جدول(۲) نشان داده شده است. مناطق هاشور زده شده بیانگر ترکیب مناسبی از انرژی و سرعت روبش لیزری است که قادر به سخت کاری سطحی فولاد مزبور است. تحت شرایط انرژی زیاد لیزر و سرعت کم روبش، ذوب سطحی اتفاق خواهد افتاد که در

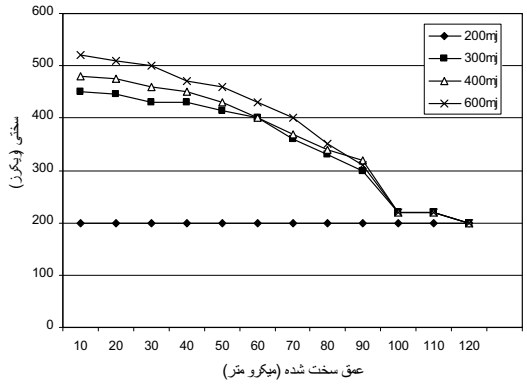
جدول با علامت m مشخص شده است. بنابراین چنین شرایطی برای عملیات سخت کردن سطحی مناسب نخواهد بود.

از طرفی برای بدست آوردن عمق بیشتر سختی نیاز به انرژی‌دهی بیشتر و همچنین سرعت کمتر روبش بوده که در این مورد بدلیل ذوب سطحی دستیابی به عمق‌های بیشتر سختی امکانپذیر نخواهد بود. به همین ترتیب چنین شرایطی برای فولاد ۱,۶۵۸۲ در جدول(۳) آورده شده است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که عمق سختی در این فولاد در همه موارد بیشتر از ۱۰۰µm است. همان‌طور که جدول(۴) مشاهده می‌شود این فولاد تا عمق ۲۵۰µm تحت شرایط مختلف سخت شده است. دلیل اصلی این امر به قابلیت سختی‌پذیری این فولاد در اثر وجود عناصری نظیر کرم، نیکل و مولیبدن نسبت داده می‌شود. نتایج سختی سنجی این دو نوع فولاد کربنی ساده و آلیاژی به ترتیب در شکل‌های(۳ و۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که سختی اولیه فولاد ساده برابر 235Hv و فولاد آلیاژی برابر 260Hv بود. ماکزیمم سختی به‌دست آمده در دو فولاد با یکدیگر تفاوت دارد. به عبارت دیگر تنها اختلاف این دو فولاد سخت شده در عمق سختی نبوده بلکه در میزان سختی بدست آمده نیز با یکدیگر اختلاف دارند.

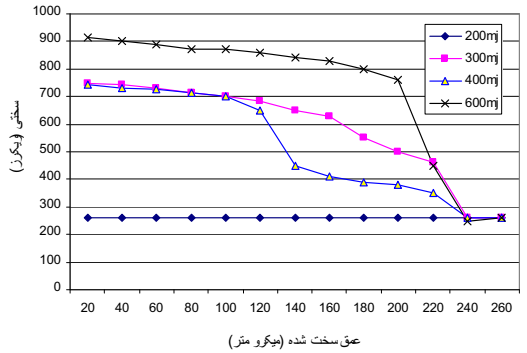
همانگونه در شکل‌های(۳ و۴) مشاهد می‌شود ماکزیمم سختی در فولاد کربنی (سخت شده تا عمق ۱۰۰µm) تا 500Hv می‌رسد درحالی‌که این مقدار برای فولاد آلیاژی تا نزدیک 900Hv خواهد رسید. این نتایج در سرعت‌های ۱۰۰µm به‌دست آمده است.

٤- بحث

همانگونه که در شکل(۴) مشاهده می‌شود امکان سخت کردن فولاد کربنی ۱,۱۱۸۶ توسط پروسه لیزری وجود دارد اما عمق سختی زیادی توسط این پروسه به‌دست نخواهد آمد. همچنین محدوده میان شرایطی که قادر به ایجاد یک لایه سخت شده سطحی است و شرایطی که منجر به ذوب سطحی می‌شود بسیار ناچیز است اما در انرژی‌های زیاد و سرعت‌های بالای روبش این شرایط از انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردار است. همچنین هیچ یک از شرایط مورد آزمایش قادر به ایجاد عمق



شکل(۳): سختی لایه سخت شده تا عمق ۱۰۰ میکرون در فولاد 1.1186 در سرعت روبش ۱۰۰ میلیمتر بر دقیقه



شکل(۴): سختی لایه سخت شده تا عمق ۲۵۰ میکرون در فولاد 1.6582 در سرعت روبش ۱۰۰ میلیمتر بر دقیقه

سختی بالاتر از ۱۰۰µm در فولاد ۱,۱۱۸۶ نبوده است. پروسه عملیات حرارتی سخت کردن سطحی در مورد فولاد ۱,۶۵۸۲ بهتر جواب داده است؛ به‌طوری‌که لایه سخت‌شده سطحی هم از عمق سختی بیشتری برخوردار بوده و هم از میزان سختی بیشتر نسبت به فولاد ۱,۱۱۸۶ برخوردار است. بهبود قابلیت سختی‌پذیری در این نوع فولاد عمدتاً به‌علت حضور عناصر آلیاژی Ni , Cr و Mo است. این موضوع از شکل‌های(۳ و۴) به خوبی قابل مشاهده است. کمترین سرعت بحرانی سرد کردن برای سخت کاری فولاد ۱,۶۵۸۲ محدوده وسیعی از شرایط را فراهم می‌آورد. محدودیت اصلی این پروسه امکان رخ دادن ذوب سطحی است. لازم به ذکر است که در هر دو نوع فرایند شرایط دمایی یکسان بوده است.

۵- نتیجه گیری

- امکان سخت‌کاری سطحی هر دو نوع فولاد ساده کربنی 1.1186و آلیاژی 1.6582 با استفاده از تکنولوژی لیزری وجود دارد.

- رسیدن به عمق سختی مناسب همراه با سختی مورد نظر بستگی زیادی به انرژی لیزر و سرعت روبش سطح دارد.

- به دلیل سختی‌پذیری کم فولادهای ساده کربنی امکان دستیابی با عمق بالایی از سختی در آنها کم بوده و انرژی‌های بیشتر لیزر منجر به ذوب شدن سطح فولاد می‌گردد.

- حضور عناصر آلیاژی Ni , Cr و Mo در فولاد آلیاژی شرایط را برای سختی پذیری بیشتر این فولادها تحت شرایط یکسان فراهم می‌آورد.

- با تنظیم نسبت انرژی لیزر/ سرعت روبش می‌توان به شرایط مورد نظر سخت کاری سطحی لیزری دست یافت.

٦- مراجع

[1] J.Uhlenbusch, U.Bielesch, S.Klein, M.Napp, J.H.Schafer,"Recent developments in metal processing with pulsed laser technology" Applied surface science 106, 1996,228-234.

[2] M. Riabkina-Fishman, "Laser Alloying and Cladding for Improving Surface Properties", Applied Surface Science, Vol.106, 1996, PP.263-267.

[۳] گردانی. غ، شجاع رضوی. ر، عبادیان. ح، «آلیاژسازی سطح بکمک لیزر»، دهمین کنگره سالانه NiCrSiBآلومینیوم با پوشش مهندسین متالورژی ایران، آبانماه ۱۳۸۵، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰۴.

[4] B.L.Mordike," laser in materials processing", Progress in materials science, Vol.42, pp.357-372, 1997.

[5] KWOK, C.T., CHENG, F.T. and MAN, H.C. Laser surface modification of UNS S31603 stainless steel using NiCrSiB alloy for enhancing cavitation erosion resistance. Surface and Coatings Technology. 1998, vol. 107, pp.31-40.

[6] P. Loosen, " Advanced concepts of using diode lasers in materials processing ", Lasers in Material Processing, Laser '97 3097 (480-485).

[7] B. Ehlers, et al.," Increased Performance Broadens Processing Capabilities of High Power Diode Lasers", Proceedings of the ICALEO, Section G, 1998, pp. 75–84.

[8] J. Selvan, et al., " Effect of laser surface hardening on En18 (AISI 5135) steel", Mat. Process. Technol. 91 (1) (1999) 29–36.