به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

---

www.Iran-mavad.com

فن آوری لیزرزَنی (LASER Peening Technology)

امیر صدیق زاده بنام[1] ساسان یزدانی[2]

چکیده :

لیزر یکی از پیشرفته‌ترین فن‌آوری‌های عصر جدید است که در بسیاری از شاخه‌های علوم مختلف وارد شده و نتـایج جالـب و مؤثری را پدید آورده است. خوشبختانه ، صنعت و علم متالورژی نیز از این فن‌آوری بی‌نصیب نمانده و با ورود لیزر به حـوزه متـالورژی، پیشرفت‌های شگرفی در زیر شاخه‌های آن دیده شده است. از عمده کاربردهای لیزر در متالورژی، استفاده آن به عنوان عملیات لیزرزنی در بهبود رفتار مکانیکی، به ویژه عمر و استحکام خستگی قطعات است که این مورد، جزء جدیدترین و پیشرفته تـرین تحـولات دنیـای متالورژی محسوب می شود و نتایج بسیار خوبی را به همراه داشته است.

در این تحقیق، تاریخچه لیزرزنی، فرآیند اجرای عملیات و پارامترهای آن مـورد ارزیـابی قـرار گرفتـه‌انـد. همچنـین بـه تغییـرات مورفولوژی سطح، عمق و مقدار تنشهای پسماند فشاری ایجاد شده و میزان بهبود رفتار خستگی در اثر لیزر زنی توجـه شـده و در هـر مورد با حالت ساچمه زنی مقایسه شده است. جمع بندی نتایج موجود نشان می دهد که عملیات لیزر زنـی بـا توجـه بـه ایجـاد زبـری سطحی کمتر (۴تا ۸ برابر)، عمق بیشتر تنش پسماند فشاری (حدود ۴ برابر)، مقدار بیشتر تنش پسماند فشـاری (حـدود ۲۵٪) و نـرخ کرنش بیشتر (تا ۱۰۰۰ برابر) همراه با کارسرد و چگالی نابجایی کمتر نسبت به ساچمه زنی، باعث بهبود بیشتری در رفتار خستگی می شود و از این رو قابلیت جایگزینی ساچمه زنی را دارد. ضمن اینکه در لیزرزنی قابلیت اعمال عملیات بر سطوح نازک، گوشه ها، زاویه‌هـا و سوراخها همراه با کنترل دقیق کامپیوتری امکان پذیر است که این موارد در ساچمه زنی دیده نمی شوند.

کلیدواژه : لیزرزنی - تنش پسماند فشاری – کارسختی - زبری - خستگی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد ، دانشگاه صنعتی سهند ، amir.sadighzadeh@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی مواد ، دانشگاه صنعتی سهند ، Yazdani@sut.ac.ir

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

مقدمه :

لیزرزنی فرآیندی است که در آن ، اشعه لیزر به یک سطح فلزی برخورد می‌کند و با عبور از آن ، یک لایه تغییر شکل پلاستیک سطحی ایجاد می‌کند که عمق این تغییر شکل پلاستیک موضعی و تنش پسماند فشاری ناشی از آن ، بیشتر از سایر عملیات های سطحی به خصوص ساچمه‌زنی است . [1,2]

قابلیت استفاده از اشعه لیزر برای تولید امواج قوی (shock wave) ، در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی شناخته شد و سپس مطالعاتی برای تقویت امواج و کاربرد آن بر روی فلزات آنها انجام شد . تا اینکه فرآیند لیزرزنی اولین بار در سال ۱۹۶۵ در Battled Columbus laboratory circa آمریکا ارائه شد ؛ ولی به دلیل عدم صرفه اقتصادی ، سالهای سال به آن توجهی نشد . اولین کاربرد اقتصادی و مقرون به صرفه این فرآیند ، در سال ۱۹۹۷ در مورد موتور هواپیماهای نظامی GE در ایالات سین‌سیناتی آمریکا انجام شد که در آنجا از این فرآیند برای کاهش آثار مخرب اشیای خارجی (FOD = Foreign Object Damage) در پره‌های توربین موتور هواپیما استفاده شد. تا سال ۲۰۰۳ ، قابلیت‌ها و توانایی‌های این فرآیند به شدت و به سرعت ارتقا داده شد ؛ بطوریکه اکنون شرکت MIC دارای دو سیستم لیزر زنی کاملاً اقتصادی و مقرون به صرفه برای قطعات توربین موتور است . پیشرفت‌های اخیر در توسعه و به ویژه اقتصادی کردن فن‌آوری لیزرزنی با تلاش منحصر به فرد سه شرکت آمریکایی زیر انجام شده است : [1]

Metal Improvement company = MIC
Lawrence Livermore National Laboratory = LLNL
University of California , Davis = UC , Davis

فرآیند لیزرزنی جزئیات خاص خود را دارد که به صورت ثبت شده متعلق به شرکت‌های ذکر شده در بالاست . از آنجا که این سیستم ، اولین بار توسط این دو شرکت معرفی شده است ، به سیستم لیزر MIC-LLNL معروف شده است . سیستم لیزر MIC-LLNL بر پایه یک صفحه نئودیمیم (Neodymium = Nd) و شیشه (glass) است . (Nd:glass slab) خود سیستم لیزر ، یک اسیلاتور منفرد با یک یا چند تقویت کننده است. صفحه Nd: glass به اندازه کافی نازک گرفته شده است تا حرارت را به سرعت منتقل کند و ابعاد آن ۴۰ cm × ۱۴ × ۱ با ۲/۷ ٪ وزنی نئودیمیم است . منبع تولید لیزر گرمای زیادی تولید می‌کند و باعث کاهش عملکرد و کارایی آن می‌شود که باید حذف شود . ابتدا این کار توسط آب انجام می‌شد ؛ ولی در طی سرد و گرم کردن شیشه ، در آن تنش ایجاد می‌شود که منجر به تغییر شکل موج و دپلاریزاسیون اشعه می‌شود . ضمن اینکه با افزایش نرخ تکرار موج ، گرمای تولیدی هم بیشتر می شود . ولی این حالت در سیستم Nd: glass اصلاح شده است . [2]

قبل از کار ، یک لایه از بین رونده (ablative layer) از رنگ یا نوار بر روی فلز قرار می‌گیرد . این لایه تحت عناوین لایه فدا شونده (sacrificial) ، لایه جذب کننده (absorbent) و لایه محافظ (protective) نیز شناخته می‌شود . بر روی این لایه ، یک لایه شفاف و نازک شیشه یا آب روان قرار می‌گیرد که به نام لایه محکم کننده (Tamping) خوانده می‌شود . به این لایه ، لایه شفاف (Transparent) و یا لایه رویی (over layer) نیز گفته می شود . محل دقیق این لایه‌ها در فرآیند در شکلهای ۱ و ۲ مشخص است . [3,4]

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

هنگامی که قدرت اشعه لیزر به اندازه کافی بالا باشد ، این اشعه را بر روی سطح فلز هدایت می‌کنند و در اثر برخورد اشعه با سطح فلز ، موج قوی (shock wave) ایجاد می‌شود . در این حالت میلیاردها اشعه با انرژی ۱۰۰ ژول ، در کمتر از ۱۰۰ نانو ثانیه تولید می شود که این مقدار در مقایسه با هزاران اشعه که از لیزرهای دی اکسید کربن (CO_2) تولید می‌شود بسیار بسیار زیاد است . استفاده از پوشش شفاف (Tamping layer) باعث افزایش شدت رشد و گسترش اشعه تولید شده در داخل نمونه می‌شود و آن را تا دو برابر زیاد می‌کند . این افزایش شدت به این دلیل است که این پوشش ، مانع خروج سریع اشعه تولید شده از سطح می‌شود و اشعه را اجباراً به داخل فلز هدایت می‌کند . در این نوع لیزر که طول موج آن ۱۰۶۴ نانومتر یا ۱۰۶۴۰ آنگستروم است ، معمولاً از پوشش شفاف و نازک آب ، شیشه یا کوارتز استفاده می‌شود . استفاده از پوشش از بین رونده نیز به نوبه خود با مکانیزمی مشابه ، شدت اشعه را بالا می‌برد . البته اثر مهم دیگری هم دارد که در ادامه توضیح داده خواهد شد . ضمن اینکه از سطح فلز در برابر ذوب شدن‌های موضعی و خراب شدن آن جلوگیری می‌کند . این مورد در لیزر زنی آلومینیوم بسیار مهم است و اگر کنترل نشود باعث ذوب منطقه‌ای سطح و خرابی آن و در نتیجه کاهش عمر خستگی می‌شود . پوشش‌های آلی شیمیایی و یا پوشش‌های فلزی مانند آلومینیوم ، روی و مس برای این کار مفید هستند . اقتصادی‌ترین و در دسترس‌ترین چیزی که استفاده می‌شود ، رنگ سیاه است که بسیار مفید و عالی است . [3]

در عملیات لیزر زنی ، اشعه منبع تولید لیزر را ترک کرده به سمت قطعه می‌رود . هنگامی که اشعه لیزر با شدت کافی از میان لایه شفاف عبور کرده و به فلز هدف نمونه و لایه از بین رونده (جذب کننده) برخورد می‌کند . این لایه بخار شده و تشکیل یک ابر پلاسما را می‌دهد که به دلیل وجود لایه شفاف نمی‌تواند خارج شود . با وجود لایه شفاف یا محکم کننده و زمان کوتاه این واقعه ، انتقال حرارت به بیرون بسیار محدود می‌شود . پلاسمای تشکیل شده به شدت انرژی لیزر را جذب می‌کند و به شدت منبسط می‌شود . انبساط شدید پلاسمای گرم شده در یک فضای محدود بین فلز و لایه شفاف ، باعث تولید یک موج بسیار قوی (shock wave) با شدت بسیار زیاد در یک زمان کوتاه می‌شود و قسمتی از این موج به داخل فلز پیش می‌رود . هنگامی که فشار ناشی از موج - که تا ۱۰ GPa هم می‌رسد [3] - از مقدار تنش تسلیم فلز بیشتر شود تغییر شکل پلاستیک ایجاد می‌شود . با عبور موج در داخل نمونه فلزی تغییر شکل پلاستیک موضعی در پشت سر آن باقی می‌ماند و این در نهایت منجر به ایجاد تنش پسماند فشاری در سطح قطعه می‌شود . این تنش پسماند با مکانیزمهایی که در ادامه شرح داده خواهد شد ، منجر به بهبود رفتار خستگی قطعه می‌شود . [3]

امروزه تنها فن‌آوری تولید کننده چنین حالتی ، سیستم لیزر Nd:glass است . سیستم لیزر LLNL-MIC نیز که بر اساس Nd:glass است ، دارای ویژگی‌های زیر است :

توان متوسط سیستم : ۱۲۵ وات　　انرژی هر موج : ۲۰ ژول

زمان هر پالس : ۱۰ تا ۱۰۰ نانو ثانیه　　نرخ تکرار اشعه : ۳ تا ۵ هرتز

شکل اثر اشعه به صورت مربع یا مستطیل به مساحت ۳ تا ۵ میلی متر مربع [1]

تغییر خصوصیتهای ماده ، حاصل از لیزرزنی در مقایسه با ساچمه زنی به شرح زیر هستند :

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

در ساچمه‌زنی ، زبری R_z بین ۴ تا ۸ میکرومتر ولی در لیزرزنی ، ۱ تا ۵ میکرومتر است . بنابراین عملیات لیزرزنی بر خلاف عملیات ساچمه زنی ، اثر مخرب بسیار کمتری بر کیفیت سطح دارد و زبری ناشی از آن بسیار کمتر است . (۴ تا ۸ برابر) [2]

حداکثر عمق تنش پسماند فشاری در لیزرزنی ۲ mm و در ساچمه‌زنی ۰/۳ mm است . در حالت معمولی ، عمق این تنش در لیزرزنی حدود ۱ mm و در ساچمه‌زنی حدود ۰/۲۵ mm است ؛ بنابراین به طور متوسط ، عمق تنش ناشی از لیزرزنی ، ۴ برابر عمق تنش ساچمه‌زنی است . در شکل ۳ ، منحنی تنش پسماند فشاری آلیاژ Inconel 718 رسم شده و مشخص است که عملیات لیزرزنی ، تنش پسماند فشاری عمیق‌تری را نسبت به ساچمه‌زنی ایجاد کرده است . [2,5]

با دقت در شکل ۳ مشاهده می‌شود که مقدار تنش پسماند فشاری نیز در لیزرزنی بسیار بیشتر از ساچمه‌زنی است . طبق این منحنی ، در هر عمق دلخواه از سطح ، مقدار تنش پسماند فشاری ناشی از لیزرزنی ، بیش از مقدار تنش پسماند فشاری ناشی از ساچمه‌زنی است . با دقت در این نمودار مشخص است که در لیزرزنی ، هم عمق و هم مقدار تنش پسماند فشاری بیشتر است و این دو عامل در کنار یکدیگر تقویت کننده و موثر هستند . [2,5]

مقدار کار سرد در ساچمه زنی حداکثر ۵۰ ٪ و در لیزرزنی حداکثر ٪ ۲۰ است . نرخ کرنش نیز در ساچمه‌زنی 10^3 S^{-1} -10^2 و در لیزرزنی $10^5 - 10^6$ S^{-1} است . [3,5] جدول ۱ ، پارامترهای مختلف ناشی از ساچمه زنی و لیزر زنی را مقایسه کرده است . [5]

تا اینجا معلوم شد که فن آوری لیزرزنی ، قابلیت‌های زیادی دارد و می تواند جانشین ساچمه‌زنی شود . البته این احتمال وجود دارد که این عملیات ، هرگز جانشین ساچمه‌زنی نشود . (با توجه به تکنولوژی بالا و هزینه‌های زیاد) ولی حتماً در جاهایی که نیاز به عمق تنش بیشتر و مقدار تنش پسماند بیشتر ، در کنار حداقل زبری است باید از لیزر زنی استفاده شود . ساچمه‌زنی کم هزینه است و نیاز به تجهیزات کمی دارد و در فضاهای بزرگ و کوچک قابل اجرا است . برای بسیاری از کاربردها ، ساچمه‌زنی یک عملیات بهینه است ؛ ولی نقایصی دارد که با اثرات مثبت لیزرزنی قابل رفع هستند . ساچمه‌زنی مقاطع نازک به دلیل بالا بودن فشار و کار مکانیکی ناشی از آن عملاً ممکن نیست ؛ ولی لیزر زنی این کار را بخوبی انجام می‌دهد و به تنش های پسماند بالا و عمیق می‌رسد . زاویه‌ها و گوشه‌ها ، سوراخ‌ها و جاهای مشابه و به طور کلی جاهای که یک تغییر ناگهانی در سطح مقطع وجود دارد قابل ساچمه‌زنی نیستند و اگر هم ساچمه‌زنی شوند ، معمولاً اثرات تخریبی آنها بیشتر است . ولی به راحتی از لیزرزنی برای اینجاها استفاده می‌شود . یک مزیت منحصر به فرد لیزرزنی این است که اشعه لیزر با سیستم‌های کامپیوتری به دقت قابل تنظیم و کنترل است و تمامی پارامترها ، قابل تغییر و کنترل و ثبت هستند . اندازه‌گیری شدت ساچمه‌زنی هم یکنواخت نیست ؛ زیرا که اندازه‌گیری آن با یک روش نیمه کمی و توسط سنجه آلمن (Almen type gage) انجام می‌شود . در ساچمه‌زنی آلومینیوم معمولا پوسته پوسته شدن دیده می‌شود که در لیزرزنی آن بسیار کم می‌شود . در فولادهای زنگ نزن هم مقدار استحاله فازی در اثر کرنش ، در لیزر زنی نسبت به ساچمه‌زنی بسیار کمتر است . [3,6]

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در آلیاژهای آلومینیوم ، فولادها و آلیاژهای تیتانیم ، عملیات لیزرزنی بسیار بیش از ساچمه زنی موجب بهبود عمر و استحکام خستگی می‌شود . در یک نمونه ، تاثیر عملیات‌های ساچمه‌زنی و لیزرزنی

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

بر روی نمونه شیاردار آلیاژ 7075 – T7351 در دو مرحله جوانی‌زنی ترک و رشد آن در مقدار تنش MPa ۲۶۰ بررسی شد . (شکل ۴) در مقایسه حالت لیزرزنی با حالت بدون عملیات ، عمر مرحله جوانه‌زنی ۷ برابر و عمر مرحله رشد ترک و شکست ۳ برابر شده است . در مقایسه حالت لیزرزنی با حالت ساچمه‌زنی نیز ، عمر جوانه‌زنی ترک ۳ برابر و عمر مرحله رشد ۲ برابر شده است . ضمن اینکه دیده می‌شود که عمر مرحله جوانه‌زنی ترک ، بسیار بسیار بیش از عمر مرحله دیگر افزوده شده است و این نشان می‌دهد که تأخیر در جوانه‌زنی یکی از مهمترین اثرات لیزرزنی است . استحکام خستگی همین آلیاژ نیز در همان شکل مشخص و مقایسه شده است . در 10^7 چرخه اعمال بار خستگی ، در اثر عملیات ساچمه‌زنی استحکام خستگی ۱۱ ٪ و در اثر عملیات لیزرزنی ۲۲ ٪ نسبت به حالت بدون عملیات افزایش یافته‌اند. [3]

در مورد دور نمای آینده این فن آوری باید گفت که از لحاظ متالورژی فیزیکی ، اثر این فرآیند به طور دقیق و کامل بررسی نشده است و تحقیقات جدی بر روی این جنبه از فرآیند نیاز است . تاثیر آن بر Scc نیز باید مورد توجه باشد . فرآیندهای شبیه سازی زیادی هم برای فهم نحوه توزیع تنش پسماند فشاری در عملیات لیزرزنی لازم است . پیش‌بینی می‌شود که با ترکیب دو فرآیند لیزرزنی و ساچمه زنی ، به نتایج و خواص جالبی دست یافته شود . یک معضل مهم در زمینه تحقیقات در این فن‌آوری ، سود اقتصادی کلان کاربرد این فن‌آوری است و به دلیل همین سود اقتصادی کلان ، پایه علمی و تجربه عملی آن توسط شرکتهای مختلف مخفی نگه داشته شده است و یا به دلیل توجه فراوان به مسائل اقتصادی ، در جنبه های علمی آن توجه کافی و وافی نمی‌شود . [1,2,3]

نتیجه گیری :

۱- اولین کاربرد اقتصادی و مقرون به صرفه لیزرزنی ، در سال ۱۹۹۷ در مورد پره‌های توربین موتور هواپیماهای نظامی GE در ایالات سین‌سیناتی آمریکا برای کاهش آثار مخرب اشیای خارجی (FOD) بود و تا سال ۲۰۰۳ ، قابلیت‌ها و توانایی‌های این فرآیند به شدت و به سرعت ارتقا داده شد.

۲- سیستم لیزر MIC-LLNL بر پایه یک صفحه نئودیمیم (Nd) و شیشه (glass) است . (Nd:glass slab)

۳- عملیات لیزر زنی با توجه به ایجاد زبری سطحی کمتر (۴ تا ۸ برابر)، عمق بیشتر تنش پسماند فشاری (حدود ۴ برابر)، مقدار بیشتر تنش پسماند فشاری (حدود ۲۵٪) و نرخ کرنش بیشتر (تا ۱۰۰۰ برابر) همراه با کارسرد و چگالی نابجایی کمتر نسبت به ساچمه زنی، باعث بهبود بیشتری در رفتار خستگی می شود

۴- در جاهایی که نیاز به عمق و مقدار تنش پسماند بیشتر ، در کنار حداقل زبری است باید از لیزر زنی استفاده شود . ساچمه‌زنی مقاطع نازک به دلیل بالا بودن فشار و کار مکانیکی ناشی از آن عملاً ممکن نیست ؛ ولی لیزر زنی این کار را بخوبی انجام می‌دهد و به تنش های پسماند بالا و عمیق می‌رسد . زاویه‌ها و گوشه‌ها ، سوراخ‌ها و جاهای مشابه و به طور کلی جاهای که یک تغییر ناگهانی در سطح مقطع وجود دارد قابل ساچمه‌زنی نیستند ولی به راحتی از لیزرزنی برای اینجاها استفاده می‌شود . اشعه لیزر با سیستم‌های کامپیوتری به دقت قابل تنظیم و کنترل است و تمامی پارامترها ، قابل تغییر و کنترل و ثبت هستند .

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۵- متالورژی فیزیکی فرآیند ، تاثیر آن بر Scc ، فرآیندهای شبیه سازی آن و ترکیب با ساچمه زنی از جمله مواردی هستند که بررسی نشده اند . به دلیل سود اقتصادی کلان ، پایه علمی و تجربه عملی آن توسط شرکتهای مختلف مخفی نگه داشته شده است و به آن توجه کافی و وافی نمی‌شود .

مراجع :

1- Hill MR , Dewald AT , Demma AG , Hackel LA , Chen HL , Dane CB , Specht RC , Harris FB . Laser peening technology. Advanced materials & processes August 2003, pp 65 - 67

2- Hackel LA , Dane CB , Harrison J , Dalg J . Shot peening with lasers. Advanced materials & processes May 1998, pp 37 – 38

3- Montross CS, Wei T, Ye L, Clark G, Mai YW. Laser shock processing and its effect on microstructure and properties of metal alloys. International journal of fatigue 2002, pp 1021 – 1036

4- Hill MR , Dewald AT , Rankin JE , Lee MJ . Measurement of laser peening residual stresses. Materials Science and technology January 2005 , pp 3 – 9

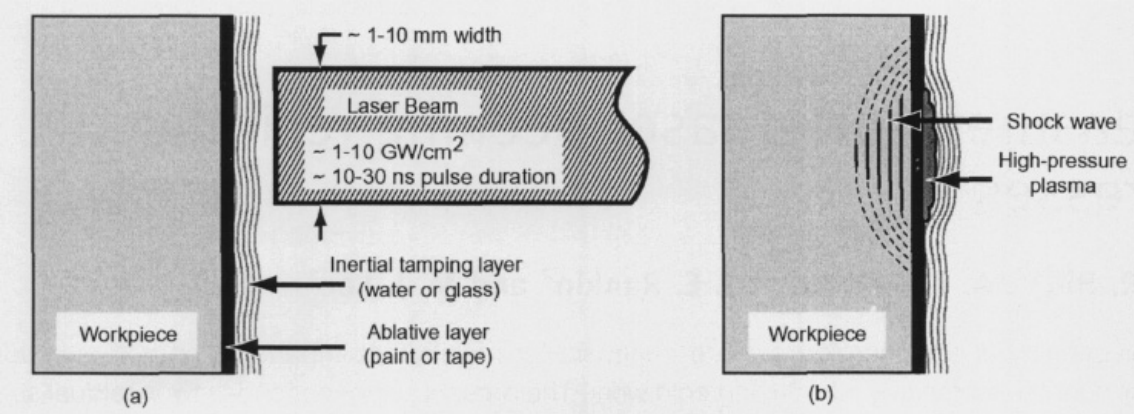
5- Altenberger I. , Alternative mechanical surface treatments : Microstraucture , Residual stress & fatigue behaviour . Shot peening conference 2003 , pp 423 – 433

6- Ashley S , Powerful lasers means better peening . Mechanical engineering March 1998 , pg. 12

7- Sano Y , Obata M , Kubo T , Mukai N , Yoda M , Masaki K , Ochi Y . Retardation of crack initiation and growth in austenitic stainless steel by laser peening without protective coating . Materials science and engineering A417 (2006) , pp 334 – 340

جدول ۱) مقایسه پارامترهای مختلف در ساچمه زنی و لیزرزنی [5]

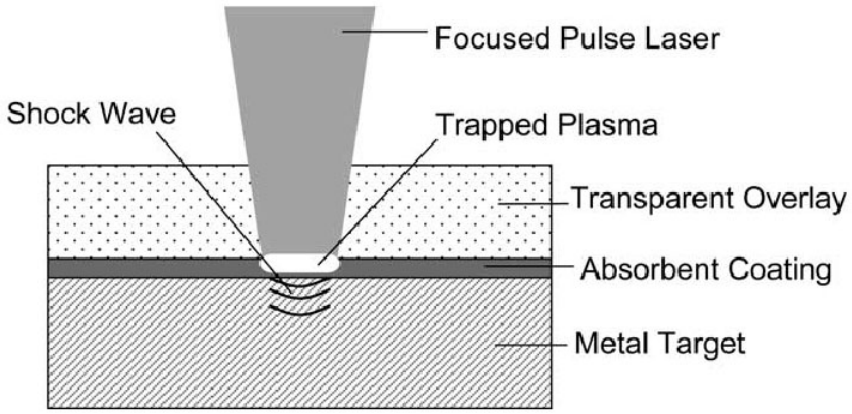
نام فرآیند	چگالی نابجائیها	نرخ کرنش	حداکثر عمق تنش	زبری R_z	حداکثر کار سرد
ساچمه زنی	بسیار زیاد	زیاد	0.3 mm	4 – 8 μ	٪ ۵۰
لیزر زنی	متوسط	بسیار زیاد	2 mm	1 – 5 μ	٪ ۲۰



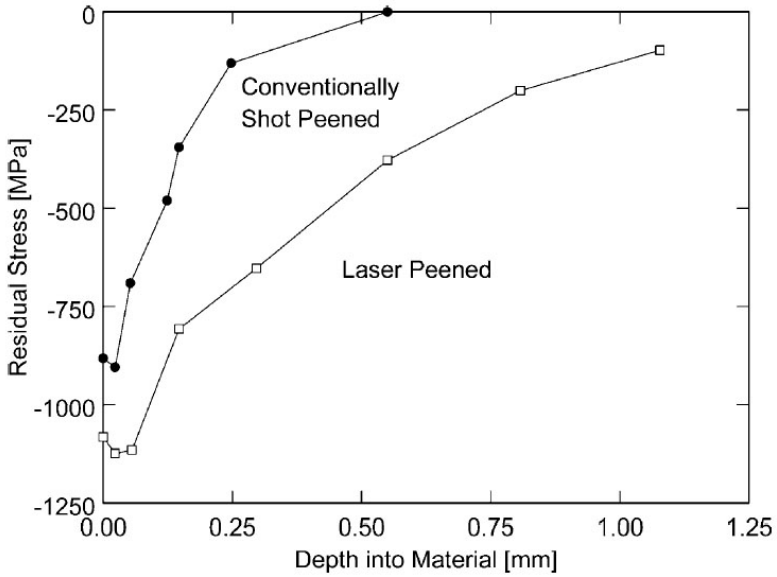
شکل ۱) موقعیت لایه ها و اجزای سیستم لیزر زنی [4]

www.Iran-mavad.com

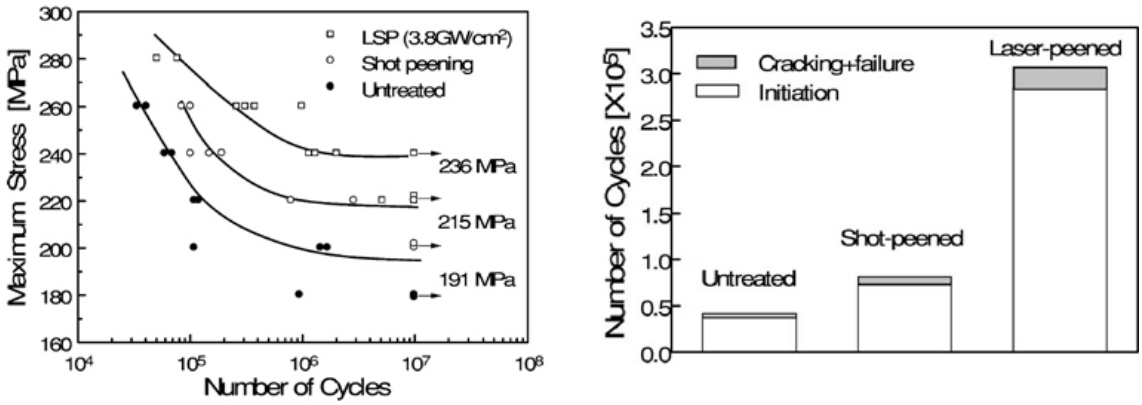
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



شکل ۲) موقعیت لایه های روی سطح و اجزای سیستم لیزر زنی [3]



شکل ۳) توزیع تنش پسماند فشاری در آلیاژ **Inconel 718** در دو حالت لیزرزنی و ساچمه‌زنی [2]



شکل ۴) مراحل جوانه‌زنی ترک و شکست در تنش **۲۶۰ MPa** برای آلیاژ آلومینیوم **7075 – T7351** (سمت چپ)
منحنی تنش – چرخه برای سه حالت بدون عملیات ، ساچمه‌زنی و لیزرزنی در همان آلیاژ (سمت راست) [3]

www.Iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

LASER Peening Technology

Amir Sadighzadeh [1]
Sasan Yazdani [2]

Abstract:

Laser peening is one of the new modern technologies that has entered in all sciences and has has an intresting effects . With the enterance of Laser technology into metallurgy science and industry, great developments has been watched .On of its usese in this field is Laser peening technology that improves fatigue lift and strength of metallic parts more than shot peening . This is one of the newest developments in the world of metallurgy . In this paper , history af Laser peening technology and its procedure and parameters has been studied .Change of surface morphology , amount and depth of compressive residual stress , surface work hardened layer , microstructural changes and its effect on fatigue and SCC behavior compared with shot peening has been reviewed .

The results show that Laser peening technology in comparision with shot peening leads to : less surface roughness (4 to 8 times) , deeper compressive residual stress (almost 4 times) , more amount of compressive residual stress (almost 25%) , more strain rate (up to 1000 times) and less work hardening and less dislocation density . Therfore it improves fatigue behavior of metallic parts more than shot peening . Besides , Laser peening can be performed easily on thin sections , angles and holes with accurate computer control that it is impossible in shot peening .

KEYWORDS: Laser peening , compressive residual stress , work hardening , roughness , fatigue

[1] MS Graduated student, Sahand University of Technology, amir.sadighzadeh@gmail.com

[2] Associate Professor, Sahand University of Technology, Yazdani@sut.ac.ir

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد