بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۳-۱۵۷۷-۱۰-A

# شبیه‌سازی تأثیرضخامت پوشش جاذب بر قدرت عمق نفوذ موج شوک در فرآیند شوک‌دهی لیزری ماده Ti-6Al-4V

**دکتر جواد خلیل‌زاده، محمد سعید قهرمانی***

**گروه فوتونیک، دانشگاه امام حسین، تهران، ایران**

jkhalil@ihu.ac.ir , m_ghahramani3035@yahoo.com*

**چکیده –ماده Ti-6Al-4V به دلیل چگالی پایین، مقاومت بالا در برابر خوردگی، سازگاری بیولوژیکی خوب و نسبت مقاومت بـه وزن زیاد فلز بسیار جذابی برای صنایع مختلف هستند. ازاین‌رو تحقیقات زیادی با هدف بهبود ویژگی‌های سـطح و خـواص مکـانیکی Ti-6Al-4V صورت گرفته است. یکی از عوامل بسیار مهم در فرآیند شوک‌دهی لیزری تعیین ضخامت پوشـش جـاذب اسـت. انتخـاب ضخامت کم پوشش جاذب باعث آسیبرسیدن به سطح ماده و انتخاب ضخامت زیاد آن باعث کاهش عمق نفوذ موج شوک درون ماده می‌شود. در این پژوهش اثر پوشش جاذب را بر روی فرآیند شوک‌دهی لیزری Ti-6Al-4Vبررسی و ضخامت بهینه پوشش جـاذب در این فرآیند ۰.۳ میلیمتر محاسبه شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در زمینه بهینه‌سازی شوک‌دهی لیزری ماده Ti-6Al-4V در صـنعت مورد استفاده قرار گیرد.**

کلیدواژه- شوک‌دهی لیزری، پوشش جاذب، آثار حرارتی، شبیه‌سازی

# Simulation of the effect of adsorbent coating thickness on shock wave penetration depth in Ti-6Al-4V laser shock process

**Dr. JavadKhalilzadeh, Mohammad Saeed Ghahremani**

**Department of Photonics, Imam Hossain University, Tehran, Iran**

**Abstract- Ti-6Al-4V is a very attractive metal for various industriesdue to its low density, high corrosion resistance, good biological compatibility and high weight resistance ratio. Therefore, much research has been done to improve the surface properties and mechanical properties of Ti-6Al-4V. One of the most important factors in the laser shocking process is determining the thickness of the adsorbent coating.Selecting the low thickness of the adsorbent coating will damage the surface of the material and selecting its high thickness will reduce the depth of shock wave penetration into the material. In this study, the effect of adsorbent coating on Ti-6Al-4V laser shocking process was investigated and the optimal thickness of adsorbent coating in this process was calculated to be 0.3 mm. The results of this study can be used in the field of optimization of Ti-6Al-4V laser shock in industry.**

Keywords: Laser shock, adsorbent coating, thermal effects, simulation



این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

## مقدمه

تیتانیوم و آلیاژهای آن به دلیل چگالی پایین، مقاومت بالا در برابر خوردگی، سازگاری بیولوژیکی خوب و نسبت مقاومت به وزن زیاد فلزات بسیار جذابی برای صنایع مختلف هستند[۱]. یکی از آلیاژهای پرکاربرد و متداول فلز تیتانیوم Ti-6Al-4V است. از این رو تحقیقات زیادی با هدف بهبود ویژگی‌های سطح و خواص مکانیکی Ti-6Al-4Vآن صورت گرفته است[۲].

در گذشته روش‌های مختلفی برای بهبود ویژگی‌های سطحی ماده مانند سختی سازی سطحی[۳]، روکش‌دهی[۴]، پاشش حرارتی[۵] و پاشش پلاسما[۶] استفاده می‌شد. پس از آن از شوک‌دهی لیزری به عنوان یک روش جدید توسط عسکریون و همکارانش مطرح شد[۷]. روش شوک‌دهی لیزری مقدار تنش فشاری بیشتری در ماده ایجاد می‌کند که این موضوع باعث افزایش چشم‌گیری خواص مواد نسبت به دیگر روش‌ها و در عین حال آسیب کمتر به ماده می‌شود. فابرو و همکارانش این موضوع را با مقایسه روش فوق با روش ساچمه زنی اثبت کردند[۸]. پس از آن در سال ۲۰۱۲توماس و همکارانش با شوک‌دهی لیزری آلیاژ تیتانیوم باعث بهبود ۱۰ درصدی مقاومت خستگی این ماده شدند و این روش را به‌عنوان یک روش مؤثر به دنیا معرفی کردند[۹].

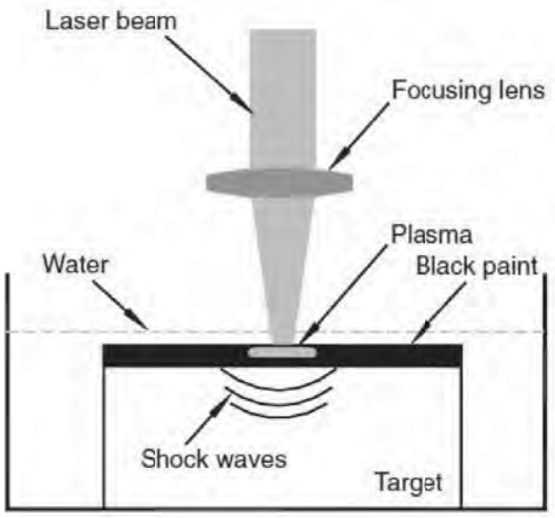
یکی از عوامل بسیار مهم در فرآیند شوک‌دهی لیزری قرار دادن پوشش برای ماده است. این کار برای افزایش جذب لیزر و درنتیجه افزایش قدرت موج شوک و جلوگیری از آسیب رسیدن به ماده انجام می‌شود. گونزالس و همکارانش این موضوع را درسال ۲۰۰۶ به اثبات رساندند [۱۰]. همچنین استفاده از پوشش جاذب باعث می‌شود فرآیند درون ماده از ترمودینامیک به مکانیک انتقال یابد و بررسی آن آسان‌تر شود.

در این پژوهش ما اثر پوشش جاذب را بر روی فرآیند شوک‌دهی لیزری Ti-6Al-4Vبررسی کردیم. در این بررسی اثر ضخامت ماده بر روی میزان قدرت موج شوک در فرآیند شوک‌دهی لیزری ماده Ti-6Al-4Vمورد بررسی قرار گرفت. برای فرآیند شبیه‌سازی از نرم‌افزارAbaqusو روش تابع گرین استفاده شد و ضخامت بهینه برای این فرآیند محاسبه شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در زمینه بهینه‌سازی شوک‌دهی لیزری ماده Ti-6Al-4Vدر صنعت مورد استفاده قرار گرید.

## شوک‌دهی لیزری

شوک‌دهی لیزری روشی است که بر پایه ایجاد موج شوک لیزری کار می‌کند و اولین بار توسط عسکریون در سال ۱۹۶۳ در آمریکا پایه‌گذاری شد. در این روش افزایش انرژی ناگهانی در یک حجم کوچک باعث ایجاد پلاسما می‌شود. ذرات پلاسما به‌صورت انفجاری از سطح ماده جدا شوند و ایجاد یک موج شوک می‌کنند. این موج شوک که یک موج آکوستیکی با فشار بالا است، در ماده نفوذ می‌کند و باعث از بین رفتن فضای خالی میان اتم‌ها و افزایش چگالی و درنهایت باعث بهبود خواص مکانیکی، بهبود فرسایش سطح، افزایش طول عمر خستگی، افزایش استحکام مواد و افزایش مقاومت در برابر خوردگی ماده می‌شود. شکل زیر به‌صورت شماتیک اجزاء مختلف این روش را نشان می‌دهد.


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

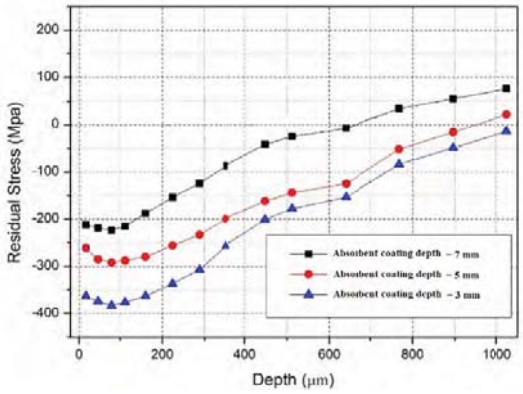



شکل ۱– شماتیک اجزاء مختلف فرآیند شوک‌دهی لیزری

یکی از قسمت‌های مهم در فرآیند شوک‌دهی لیزری پوشش جاذب است. این پوشش برای جلوگیری از آسیب‌های سطحی ناشی از باریکه لیزر و افزایش جذب باریکه لیزر روی ماده قرار استفاده می‌شود. به‌طور معمول از موادی مانند الومنیوم، مس و پوشش‌های عالی استفاده می‌شود. جنس پوشش جاذب باید به‌گونه‌ای باشد که در طول موج لیزر بیشترین جذب را داشته باشد تا بتوان پلاسمای قوی‌تر و درنتیجه موج شوک قوی‌تری ایجاد کرد. پارامتر تأثیرگذار دیگر در انتخاب پوشش جاذب ضخامت آن است. انتخاب ضخامت کم این پوشش باعث آسیب رسیدن به سطح ماده و انتخاب ضخامت زیاد آن باعث کاهش عمق نفوذ موج شوک درون ماده می‌شود.

## بررسی ضخامت پوشش جاذب در فرآیند شوک‌دهی

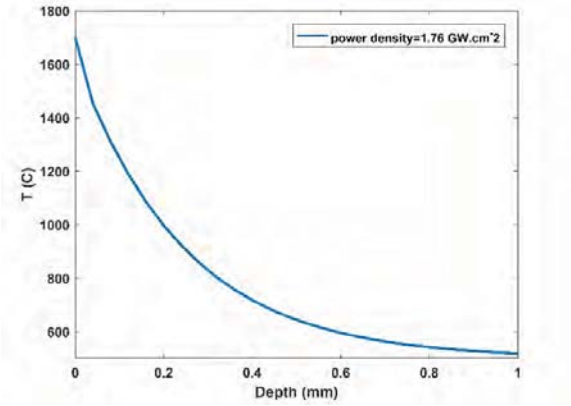
با استفاده از نرم‌افزار Abaqus فرآیند شوک‌دهی لیزری برای ضخامت‌های مختلف شبیه‌سازی شد. در این شبیه‌سازی منبع انرژی لیزر ND:YAG با عرض پالس ۱۰ نانوثانیه، انرژی ۵ ژول و شعاع باریکه ۳ میلی‌متر درنظر گرفته شد. نتیجه به‌دست‌آمده بیان می‌کند که ضخامت کمتر باعث افزایش قدرت موج شده می‌شود. شکل زیر نمودار تغییرات فشار در راستای عمق ماده را در ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد.




شکل ۲– نمودار تغییرات فشار در راستای عمق ماده Ti-6Al-4V

همان‌طور که در شکل مشخص است با کاهش میزان ضخامت ماده می‌توان انتظار موج شوک قوی‌تری را داشت. نکته دیگر که باید در کاهش ضخامت به آن توجه کرد آسیب‌های حرارتی ناشی از لیزر است. انتخاب پوشش جاذب با ضخامت کم باعث انتقال حرارت به ماده و در نتیجه ایجاد آسیب حرارتی سطح ماده می‌شود. به همین علت باید یک حالت بهینه را انتخاب کرد. حالت بهینه انتخاب ضخامتی از است که از آسیب حرارتی سطح ماده جلوگیری کند و همچنین در فرآیند انتقال موج شوک کمترین اتلاف را داشته باشد. برای این منظور باید فرآیند برهمکنش حرارتی لیزر و ماده را شبیه‌سازی کرد تا بتوان ضخامت مناسب را بدست آورد. فرآیند برهمکنش حرارتی لیزر و پوشش جاذب (ماده گرافن) به کمک روش تابع گرین شبیه‌سازی شد و تغییرات دما در راستای عمق ماده بدست آمد [۱۱].نتیجه این شبیه‌سازی به صورت زیر است.


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.




شکل ۳- نمودار تغییرات دما در راستای عمق پوشش جاذب (گرافن)

مطابق شکل و با توجه به دمای نرم شدگی تیتانیوم (۹۰۰ درجه سانتی گراد) انتخاب پوشش جاذب با ضخامت کمتر از ۰.۳ میلی‌متر باعث آسیب رسیدن (آسیب کندگی و حرارتی ناشی از پلاسما) به سطح ماده می‌شود. درنتیجه ضخامت مناسب برای پوشش جاذب۰.۳ میلی‌متر است.

## نتایج بررسی

در انتخاب پوشش جاذب در فرآیند شوک‌دهی لیزری نوع پوشش باتوجه به طول‌موج لیزر به کار گرفته‌شده انتخاب می‌شود. این پوشش باید در طول‌موجموردنظر بیشترین جذب را داشته باشد تا بتواند پلاسمای با قدرت بیشتری تولید کند. در طول موج ۱۰۶۴ (لیزر ND:YAG) بهترین پوشش جاذب برای شوک‌دهی لیزری ماده گرافن است. گرافن علاوه بر جذب بسیار خوب در این طول‌موج، دمای ذوب (دمای ذوب ۳۶۰۰ درجه سانتی گراد) بالای دارد که امکان استفاده از لیزرهای با انرژی بالا را فراهم شود.

یکی از موارد بسیار مهم در شوک‌دهی لیزری انتخاب ضخامت مناسب پوشش جاذب است. ضخامت کم پوشش باعث آسیب رسیدن به سطح ماده و ضخامت زیاد آن باعث کاهش عمق نفوذ موج شوک درون ماده می‌شود. بنابراین باید قبل از انجام فرآیند شوک‌دهی لیزری با انجام شبیه‌سازی ضخامت مناسب را محاسبه کرد. برای ماده Ti-6Al-4Vدر طول‌موج لیزر مناسب‌ترین ضخامت در حد چند دهم میلی‌متر است.

## مرجع‌ها

**[1]** Biomaterials 26 (2005) 5153–5157. M. Frede, R. Wilhelm, D. Kracht, “250 W end-pumped Nd:YAG laser with direct pumping into the upper laser level”,Opt. Lett., Vol. 31, No. 6, pp. 3618-3619, 2006.

**[2]** A. King, A. Steuwer, C. Woodward, P.J. Withers, Effects of fatigue and fretting on residual stresses introduced by laser shock peening, Mater. Sci. Eng. A 435 (2006) 12–18

**[3]** HeydarzadehSohi M, Ebrahimi M, Ghasemi HM, Shahripour A. Microstructural study of surface meltedand chromium surface alloyed ductile iron. Appl Surf Sci 2012;258(19):7348–53.

**[4]** Vamsi Krishna B, Misra VN, Mukherjee PS, Sharma P. Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coatings. Int J Refractory Metals Hard Material 2002;20(5–6):355–74.

**[5]** Hua G, Huang Y, Zhao J, Wang L, Tian Z, Zhang J, Zhang Y. Plasma-sprayed ceramic coating by lasercladding of Al2O3 nano-particles. J Nonferrous Metals 2004;14:199–203.

**[6]** Alabeedi KF, Abboud JH, Benyounis KY. Microstructure and erosion resistance enhancement ofnodular cast iron by laser melting. Wear 2009;266(9–10):925–33 2009.

**[7]** G. Askaryon and E. Morez, JETP Lett, 16(1963)1638.

**[8]** Fabbro R, Peyre P, Berthe L, Scherpereel X. Physics and applications of laser-shock processing. J Laser Appl 1998;10(265):265–79

**[9]** Thomas M, Jackson M. The role of temperature and alloy chemistry on subsurface deformation mechanisms during shot peening of titanium alloys. Scr Mater 2012;66(12):1065–8.

**[10]** Rubio-González, C., Gomez-Rosas, G., Ocaña, J. L., Molpeceres, C., Banderas, A., Porro, J., & Morales, M. (2006). Effect of an absorbent overlay on the residual stress field induced by laser shock processing on aluminum samples. Applied Surface Science, 252(18), 6201-6205.

**[11]** Ghahramani, M. S., Khalilzadeh, J., Karimi, M. R., &Siahvashi, N. (2020). Introducing a novel Green’s function-based method for laser and matter thermal interaction. Laser Physics, 30(7), 076001.


این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.