

**МЕТОДИ ЗА ОБРАБОТКА НА МАТЕРИАЛИ БАЗИРАНИ НА
ИНТЕНЗИВНИ ЕНЕРГИЙНИ ПОТОЦИ****Даниела Недева¹, Фатме Падикова^{2,3}, Георги Котларски³**¹*Технически университет Габрово*²*Технически университет Габрово*³*Институт по електроника - БАН***HIGH-ENERGY MATERIALS PROCESSING METHODS****Daniela Nedeva¹, Fatme Padikova^{2,3}, Georgi Kotlarski³**¹*Technical University Gabrovo*²*Technical University Gabrovo*³*Institute of Electronics-BAS***Abstract**

In this paper, methods for materials processing by high-energy fluxes are synthesized. The factors influencing the processes involved in the processing of metals and alloys are discussed. The advantages and disadvantages of ion, laser, and electron beam processing technologies are presented.

Keywords: high-energy methods, ion, laser, and electron beam, advantages

ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на съвременното общество зависи от три взаимосвързани основни фактора: икономика, енергийни ресурси и екология, които определят развитието на така наречената важна триада: наука – технология – производство. Това, от своя страна, означава наличие на мобилна и високоефективна наuchнотехническа база, която да позволи да се разработят и внедрят в производствения процес нови ресурсоспестяващи и екологично чисти технологии. Тези нови технологии са подходящи както за създаване на нови материали, така и за модифициране на повърхностни слоеве.

В съответствие с природния носител на енергия – лазерно лъчение, йонни лъчи, електронни снопове, тези технологии носят общото название “технологии, базирани на интензивни енергийни потоци”.

Когато се говори за модифициране на повърхностния слой на материала, то трябва да се каже, че това може да се осъществи след протичане на редица физични процеси [1]: бързо нагриване и охлаждане на повърхностния слой, имплантиране на атоми (йони) в материала, разтопяване или изпарение на повърхностния слой, образуване на течна фаза в материала, образуване на дефекти и др. Структурно-фазовите промени, които настъпват в обработвания материал са [1,2]: увеличаване параметрите на кристалната решетка, образуване на аморфна и ултрадисперсна фаза, образуване на слоисти структури и др.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В днешно време едни от основните изисквания предявявани към материалите, които се използват за направата на

детайли и елементи за оборудване, се явяват дългият живот и надеждност при експлоатацията. За да се обезпечи това металите и сплавите трябва да се характеризират с високи функционални свойства като твърдост, износоустойчивост, топлоустойчивост, корозионна устойчивост и др.

В последните години се наблюдава, че най-перспективните за обработката на материали се явяват високоенергийните методи за въздействие.

Целта на това изследване е да се направи сравнение между три различни високоенергийни технологии, като се представят техните особености и предимства.

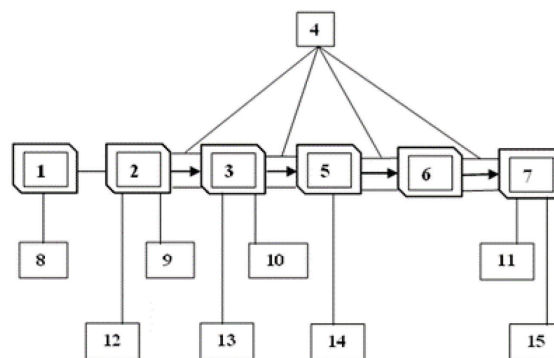
1. Йонно-лъчева обработка на материали

Йонно-лъчевата технология представлява набор от методи за обработка на материали с енергийни йонни потоци, в резултат на което се променят формата, физикохимичните, механичните, електрическите и магнитните свойства на обработваните продукти.

В йонно-лъчевите технологии се използват ускорени йони. За бомбардиране повърхността на твърдо тяло се използват йони на различно химични елементи, които са получени в газов или твърдотелен йонен източник. Параметрите на йонния лъч се избират в зависимост от това каква технологична задача ще се решава при обработката на материала. Този метод има следните предимства: универсалност, т.е. способността за въвеждане на всякакви примеси във всеки материал; локалност на въздействието; без нагряване на основата; възможност за строго дозиране на примесите; лесно управление; висока чистота на въведените примеси и др.

Две са основните направления на приложение на йонните снопове: нанасяне на покритие върху подложка чрез йонно разпрашване на специално избрана мишена и модифициране на повърхностния слой на материали с цел да се получат точно определени свойства на повърхността. Когато се говори за модифицира-

не на повърхностния слой, то това означава, че се променят елементният и фазовият състав, както и структурата на повърхността. Този технологичен процес се нарича йонно легиране или йонна имплантация. Йонното легиране е процес на внедряване на легиращ елемент в повърхностния слой на детайла в следствие на бомбардирането му с високоенергийни частици (йони). (фиг. 1) Взаимодействието на имплантирания йон с частица от твърдото тяло води до постепенно понижаване на неговата кинетична енергия [3,4]. Изминатото разстояние в твърдото тяло зависи от неговата начална кинетична енергия и масата му, но също и от характеристиките на материала за обработка.



Фиг. 1. 1 система за впръскване на работно вещество; 2 - източник на йони; 3 - система за формиране на йонен лъч; 4 - йонопровод; 5 - йонен сепаратор; 6 - помпена система; 7 - камера с образец; 8-11 - помпени системи; 12 - хранване на източника на йони; 13 - блок за контролиране на напрежението; 14 - хранващ блок за йонен сепаратор; 15 - блок за контрол на дозата [3]

Всички видове установки, базирани на системи за йонно ускоряване, могат да бъдат разделени на две групи: с ускорение преди сепаратора и (или) след сепаратора. При избора на типа на установка дозата на легиращия примес е съществена величина и на тази основа установките се разделят на три типа: ниски и средни дози, високи дози с интензивни йонни токове и високоенергийни.

В случаи, когато се цели да се постигне по-голяма износоустойчивост, се използва многократно легиране с високи дози на бор (В) при различни енергии. Резултатът е създаване на повърхностен слой със съдържание на бориди. Изборът на бор се обяснява с факта, че новият слой метал-бор е много твърд и устойчив на износване.[4]

2. Лазерна обработка на материали

Лазерното лъчение представлява принудено монохроматично излъчване с широк диапазон на дължина на вълната. Лазерните източници, които се използват в технологиите генерират лъчение с дължина на вълната $\lambda=0,3-10 \mu\text{m}$. При това лъчение енергетичната характеристика се явява енергията на фотона $E=h\nu$.

Лазерната обработка на материалите е основана на възможността лазерното лъчение да създава в малък участък от повърхността висока плътност на топлинния поток, необходима за интензивно нагряване и разтопяване на материала за обработка. Лазерните технологии се развиват с много бързи темпове и за това говори приложението им в различните отрасли на промишлеността [5,6,]. В зависимост от агрегатното състояние на активната среда има твърдотелни и газови лазери. Лазерите също се делят на импулсни и с непрекъснато действие.

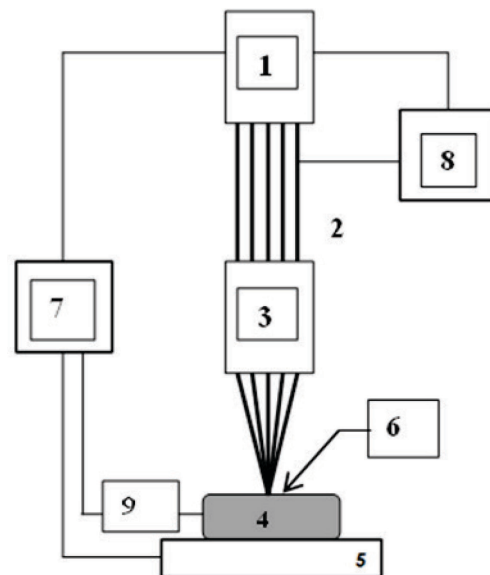
За нуждите на технологичните цели са важни параметрите на лазерното лъчение[7,8]:

- Монохроматичност и кохерентност
- Интензивност (плътност на мощността в непрекъснат режим или енергия на импулса в импулсен режим)
- Дължина на вълната
- Ъгъл на разходимост
- Време на въздействие върху материала.

Лазерното лъчение се отличава с високи плътности на енергията (до 100 J/cm^2) и на мощността (до 10^{10} W/cm^2)[9].

В зависимост от съотношението на времето на въздействие и плътността на

мощността на лазерното лъчение могат да възникнат различни процеси от взаимодействието на лъчението с металната повърхност. В съответствие с това са разработени различни методи за лазерна обработка на материали: лазерно заваряване[10], рязане [11], пробиване на отвори и някои видове повърхностна лазерна обработка: термична обработка, аморфизация, ударно закаляване. Независимо от вида на използвания лазер и предназначението, лазерните технологични установки се състоят от редица подобни функционални връзки и имат обща структурна схема (фиг. 2):



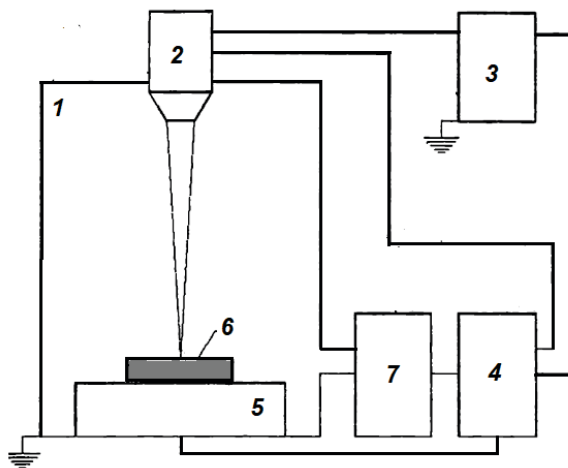
Фиг. 2. Блокова схема на лазерна технологична инсталация: 1 - оптичен квантов генератор (лазер); 2 - лазерно лъчение; 3 - оптична система; 4 - обект, който се обработва; 5 – механизъм за преместване на обекта, който се обработва; 6 - устройство за подаване на защитен газ; 7 - софтуерно устройство; 8 - сензор за наблюдение параметрите на лъчението; 9 - сензор за технологични параметри[3]

Лазерните технологии са сред най-бързо развиващите се индустриални технологии, поради редица доказани свои предимства като висока ефективност, надеждност, бързодействие и екологична чистота на процеса. Лазерното заварява-

не е технологичен процес, при който погълнатата в зоната на обработка лазерна енергия води до топене и кристализация с големи температурни градиент и скорости на нагряване и охлаждане.

3 Електронно-лъчева обработка (ЕЛО) на материали

За методите на електронно-лъчевата обработка е характерно, че тя се осъществява във вакуум при наличие на специално оборудване: технологична камера с вакуумна система и електронна „пушка“ с високоволтов източник на захранване. (фиг. 3)



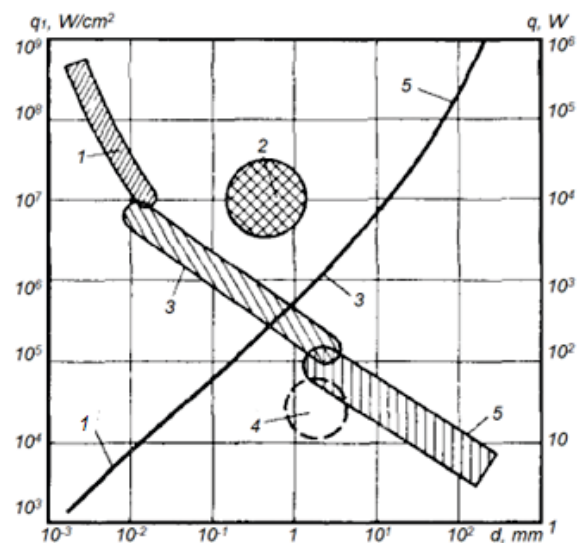
Фиг. 3. Функционална схема на технологична електронно-лъчева установка: 1 - вакуумна камера; 2 - електронна „пушка“;

3 - токоизправител за високо напрежение; 4 - контролен панел; 5 - механизъм за преместване на детайла; 6 - детайл за обработка; 7 - вакуумна система. [3]

Вакуумът при електронно-лъчевата технология е необходим за създаване и формиране на електронния сноп, но също и за защита на обработвания материал от действието на кислорода и азота във въздуха, ускоряване на процеса на обезгазяване на метала при разтопяване, отделяне на някои вредни примеси и др.

Електронно-лъчевото въздействие върху различни материали е иновативно решение за обработката им. Процесите, които протичат са нагряване, разтопяване и изпарение. За разлика от лазерната обработка процесът при електронно-лъ-

чевата обработка протича във вакуум. От физична гледна точка при електронно-лъчевото въздействие кинетичната енергия на електронния лъч се превръща в топлина в зоната на обработка. И тъй като диапазонът от мощности и концентрацията на енергията в лъча са много високи, практически може да се получат всички видове термично въздействие на материалите (фиг. 4): нагряване до зададена температура, разтопяване и изпарение с много високи скорости.



Фиг. 4. Връзка между мощността q , плътността на мощността q_1 и диаметъра на лъча d (енергетични параметри на електронно-лъчево въздействие) при различните видове обработка на материала; 1-получаване на отвори; 2-изпарение; 3-заваряване; 4-зоново почистване; 5-топене [12].

Някои от основните предимства на електронно-лъчевата обработка са [12]:

- Висока плътност на мощността от 10^3 до $5 \cdot 10^8$ W/cm²;
- Процесът протича във вакуум, което обезпечава чистотата на обработвания материал;
- Пълна автоматизация на процеса;
- Ниска производствена цена;
- Висока степен на повтаряемост на технологичните условия на процеса.

В сравнение с лазерната обработка на материали електронно-лъчевата има пре-

имущества като по-високо КПД, по-висока мощност, по-ниска цена.

Едно от най-значимите приложения на електронно-лъчевата технология, е модифицирането на структурата и свойствата на редица метали и сплави на повърхността. Към днешна дата, тези методи се считат за особено перспективни, тъй като материалите са най-интензивно изложени на експлоатация именно на своята повърхност. В случай на ЕЛО при непрекъснат електронен снап, обработката се осъществява чрез сканиране на повърхността, където образецът се движи под електронния лъч с постоянна скорост. При този експеримент електроните могат да бъдат отклонени от нормалната ос и може да се реализира различна траектория на сканиране на електронния лъч. Основните параметри, чрез които могат да бъдат контролирани технологичните условия на процеса са както следва:

- ускоряващо напрежение U [kV];
- ток на електронния снап I [mA];
- диаметър на електронния лъч d [mm];
- скорост на движение на образца [mm/s];
- честота на сканиране на електронния лъч.

Промяната на тока на електронния снап, както и ускоряващото напрежение водят до прецизен контрол на неговата мощност, което от своя страна е в пряка връзка с температурата на повърхността, както и скоростите на загряване и охлаждане. Честотата на сканиране на електронния лъч и скоростта на движение на образца по време на процеса на обработка също са важни параметри, тъй като са пряко свързани с времето на облъчване и времетраенето на течната фаза. Особено перспективно е формирането на повърхнинни сплави и покрития чрез тези методи. За тази цел, върху предварително подготвена подложка се нанасят легиращи елементи във вид на покритие, след което пробата е обект на електроннолъчева обработка, която до-

вежда модифицираната повърхност до течна фаза. Като резултат, покритята от легиращи елементи се въвеждат в течната фаза и след застиването и е формирана повърхнинна сплав със значително подобрени експлоатационни свойства.

В работа [13] е демонстрирано влиянието на скоростта на движение на образца по време на процеса на формиране на повърхнинни интерметални сплави в системата Al-Ti-Nb върху алуминиеви подложки, като е установено, че по-ниската скорост на движение води до значително по-хомогенно разпределение на добавените Ti и Nb елементи. Авторите на [14] са изследвали възможността за модифициране на повърхността на титанови подложки чрез добавяне на въглерод посредством електроннолъчева модификация, като е изследвано влиянието на скоростта на движение на образца по време на електроннолъчевата модификация върху резултантната структура и механични характеристики на получените повърхнинни сплави и покрития. Резултатите свидетелстват за значително повишени стойности на микротвърдостта на получените повърхнинни структури в сравнение с тези на титановата подложка. Установен факт е, че прилагането на по-ниска скорост на движение на образца по време на модификацията на повърхността води до по-високи стойности на микротвърдостта [14]. В друга работа [15] са изследвани възможностите за повърхнинна модификация на Co-Cr-Mo сплави. По-специално е изучавано влиянието на мощността на електронния снап върху структурата, повърхностната топография и корозионните свойства на третираните сплави. Резултатите показват слабо увеличение на повърхнинната грапавост и по-симетрично разпределение на издатините и вдлъбнатините в сравнение с необработената проба. Също така е установено, че модификацията на повърхността със сканиращ електронен снап води до значително подобрене на корозионните свойства на тези материали [15].

Понастоящем, електроннолъчевите методи за повърхнинна модификация са считани за особено перспективни. Редица изследователи са базирали работата си върху оптимизирането на технологичните условия, структурата и свойствата на електронно-лъчево обработени материали, както и за тяхното внедряване в напълно нови индустриални области. Поради факта, че много електронно-лъчеви машини вече са инсталирани в редица индустриални отрасли и броят им нараства бързо всяка година, използването на тези технологии в съвременната индустрия ще расте още повече. Би могло да се обобщи, че електронно-лъчевите методи за повърхностна обработка са много обещаващи и промишлените им приложения все още се разрастват.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия са представени основите и принципите на методите за повърхнинна модификация, базирани на йонни, електронни и фотонни снопове. Подробно са изложени основите, на базата на които тези методи се реализират. Показано е, че и трите вида модификация (йонна, лазерна и електроннолъчева), обобщени под общото наименование „модификация чрез интензивни енергийни потоци“ водят до значително подобряване на свойствата на редица материали на повърхността, където те са най-интензивно изложени на експлоатация. Би могло да се заключи, че тези методи са изключително перспективни и те ще намират все по-голямо приложение в съвременната индустрия.

Благодарности:

Настоящите изследвания са свързани с изпълнението на задачи по проект BG05M2OP001-1.002-0023 – Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Poate, J.M., G. Foti, D.C. Jacobson, Surface, Modification and Alloying by Laser, Ion and Electron Beams, New York, Plenum Press, 1983.

- [2] Samohvalov, V.N., Visokoenergetičeskie metodi razmernoi i uprochniaushtej obrabotki, Samarski universitet, 2019.
- [3] Belenkii, V. Y., V.M. Yazovskih, Electronno-luchevaya, lazernaya i yonno-luchevaya obrabotka materialov, Permski gosudarstvenoi technitsheskii universitet, 1995.
- [4] Pleshivcev N.V., A.I. Bazhin, Fizika vozdeystviya yonnih puchkov na materialai, Vuzovskaya kniga, Moskva, 1998
- [5] Tittel F. K., I. S. Saidi, G. H. Pettit, P. J. Wisoff, R. Sauerbrey, Excimer Laser in Medicine, Metal Vapor Laser Technology and Applications, 219 (June 1, 1989), Los Angeles, CA, 1989.
- [6] Uwe Stamm, Laserstrahlschweißen im Getriebebau - eine Erfolgsgeschichte, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden, 2010 (<http://www.iws.fraunhofer.de>)
- [7] Rikalin N.N., A.A. Uglov, I.V. Zuev, A.N. Kokora, Lazernaya i electronno-luchevaya obrabotka materialov, Mashinostroenie, 1985.
- [8] Grigoryants, A.G., I.N. Shiganov, A.I. Misyurov, „Technological Processes of Laser Treatment“, Moscow, 2006 (in Russian)
- [9] Dinev S., „Lasers in Modern Technologies“, Alfa, Sofia, 1993.
- [10] Lazov L., D. Nedeva, Lazerno zavariavane na statorni i rotorni paketi na elektrodwigateli, Mashinostroene i mashinoznanie, 2012.
- [11] Deneva Hr. “A Study of The Microhardness in Punching and Laser Cutting”, Mashinostroene i mashinoznanie, 2012.
- [12] Rikalin N.N., I.V. Zuev, A.A. Uglov, Osnovi elektronno-luchevoi obrabotki materialov, Moskva, Mashinostroene, 1978
- [13] Valkov S., P. Petrov, R. Lazarova, R. Bezdushnyi, D. Dechev, Formation and characterization of Al-Ti-Nb alloys by electron-beam surface alloying, Applied Surface Science, 2016 (<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.07.170>)
- [14] Valkov, St., D. Nedeva, Vl. Dunchev, F. Padikova, M. Ormanova, B. Stoyanov, N. Nedyalkov, Fabrication and Characterization of Ti/TiC Composite Layers by an Electron-Beam Surface Modification, journal Coatings, 2023 <https://doi.org/10.3390/coatings13050951>.
- [15] Valkov S., S. Parshorov and all., Influence of beam power on the surface architecture and corrosion behavior of electron-beam treated Co-Cr-Mo alloys, Beam Interactions with Materials and Atoms, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2021.03.007>