ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТОЙ РЕЙКИ ШВЕЙНОЙ МАШИНЫ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

Алиев Шавкат Бахтияр угли
Преподаватель, "University of Business and Science", Республика Узбекистан, г. Наманган
E-mail: aliyev.shavkat7775@gmail.com

Аннотация. В статье приводятся сведения по теоретическим основам, технологическим процессам и оборудованию для лазерная термическая обработка малоуглеродистой стали, которая из всех технологий лазерной обработки получила наиболее широкое промышленное применение. Рассмотрены физические явления закалки, модели для расчета основных технологических параметров процесса. Даны рекомендации по выбору режимов обработки стальных материалов с использованием непрерывного и импульсно-периодического излучения промышленных лазеров.

Ключевые слова: лазерная термообработка, сталь, технология, непрерывно, промышленное применение, плазменной, электронно-лучевой излучения, луч, световой поток, закаления материала, эффективность.

Abstract. The article provides information on the theoretical foundations, technological processes and equipment for laser heat treatment of low-carbon steel, which has received the widest industrial application of all laser processing technologies. Physical phenomena of hardening, models for calculating the main technological parameters of the process are considered. Recommendations are given for choosing modes of processing steel materials using continuous and pulse-periodic radiation of industrial lasers.

Keywords: laser heat treatment, steel, technology, continuous, industrial application, plasma, electron beam radiation, beam, luminous flux, material hardening, efficiency.

Annotatsiya. Maqolada kam uglerodli po‘latlarga lazer yordamida termik ishlov berishning nazariy asoslari, texnologik jarayonlari va uskunalari haqida ma’lumotlar keltirilgan. Lazerli ishlov berish texnologiyalari ichida aynan lazerli termik ishlov berish sanoatda eng keng qo‘llaniladigan usullardan biri hisoblanadi. Ishda toblash jarayonida yuz beradigan fizik hodisalar hamda jarayonning asosiy texnologik parametrlarini hisoblash uchun qo‘llaniladigan modellar ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, sanoat lazerlarining uzluksiz va impulsli-davriy nurlanishidan foydalangan holda po‘lat materiallarga ishlov berish rejimlarini tanlash bo‘yicha tavsiyalar berilgan.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: lazerli termik ishlov berish, po‘lat, texnologiya, uzluksiz nurlanish, sanoat qo‘llanilishi, plazma, elektron-nurli nurlanish, nur, yorug‘lik oqimi, materialni toblash, samaradorlik.

ВВЕДЕНИЕ.

Характер физических явлений на лицевой поверхности сечения определяется плотностью мощности светового потока. По мере увеличения удельной мощности увеличивается температура передней поверхности сечения и средняя скорость его движения. По сравнению с традиционными источниками тепла, используемыми в кислородных, плазменных и электронных процессах обработки, сфокусированные лазерные лучи обеспечивают в полтора раза более высокую плотность энергии, доставляемую в аномально малую зону воздействия.

За секунду такой световой поток не только расплавляет трудноплавкие материалы, но и частично испаряет их поверхность. В процессе резки световой поток, падающий на материал, частично поглощается поверхностью материала, расплавленной пленкой и боковыми поверхностями реза, а частично отражается. При высокой плотности энергии часть излучения поглощается продуктами распада материала, в результате чего снижается эффективность резки.

Основными физическими процессами лазерных технологий являются следующие [1]:

Испарение (и абляция в расплавленной фазе) — наиболее популярный процесс, лежащий в основе большинства промышленных технологий любых материалов в микроэлектронике, микромеханике и микрооптике; проблемы точности и качества остаются актуальными и в настоящее время;

Нагрев до температуры размягчения (или плавления) и деформация в вязко-жидкой фазе (наполненной механическими воздействиями - растяжение, вращение и т.п.), применяемые для изготовления ближнепольных оптических зондов, медицинских оптических приборов и т.д.;

Направленный локальный нагрев, создающий контролируемое поле напряжений, приводит к контролируемой деформации листовых материалов не только для целей формования, но и для точной сборки и центровки микромеханических компонентов(laser forming);

Локальный нагрев, приводящий к появлению избыточного давления газа (пара) между двумя участками среды (например, пленка-подложка) с целью создания направленных микродеформаций и смещений;

ISSN 3030-3907

Послойный синтез трехмерных объектов послойным методом, включая стереолитографию, селективный лазерный нагрев и изготовление ламинированных объектов;

Лазерные процессы в сочетании с другим излучением или плазмой для индукции поглощения;

Манипулирование микрочастицами (молекулярная сборка) основано на захвате частиц в центре лазерного излучения световым давлением и последующем построении микроструктур.

Основная часть

Лазерные технологии могут быть основаны не только на высокой плотности мощности, но и на высокой плотности фотонов, что важно для нелинейных процессов (нелинейное поглощение в слабопоглощающей среде), селективных технологий (химических, биомедицинских технологий). В зоне фокусировки луча могут использоваться сильные и чрезвычайно сильные электромагнитные поля. В последнее время появились технологии, использующие световое давление (манипуляции с микрочастицами, атомно-молекулярная сборка - лазерный захват, световое давление $P_{\hat{n}\check{a}} = \varepsilon(1 + R)$определяется выражением, где ε – объемная плотность энергии излучения, R – коэффициент поверхностного отражения) [2].

В то же время большинство лазерных технологий основано на тепловом воздействии излучения. Давайте посмотрим на это подробно.

Когда луч лазерного излучения падает на поверхность материала, часть излучения отражается от него, а часть проникает вглубь материала и поглощается им.

Распространение излучения в веществе обычно описывается законом Бугера[3]:

$$q(x) = q_0(1 - R)\exp(-\alpha x),$$

где $q(x) -$ плотность мощности излучения, расположенного на расстоянии x от поверхности вещества; $q(x)$ –плотность мощности падающего излучения; R- коэффициент отражения поверхности; $\alpha -$ показатель ослабления света в веществе. Материя нагревается, когда поглощает излучение. Режимы нагрева материала, соответствующие сильному (внешнему) и слабому (объемному) поглощению излучения.

Для многих технологических процессов используется лазерное излучение с длинами волн, расположенными в спектральной области сильного поглощения вещества, поскольку оно обеспечивает локальный эффект и высокую эффективность использования существующей энергии.

ISSN 3030-3907

Сильное поглощение света происходит в полупроводниках и металлах при их «металлизации» достаточно сильным излучением, а также в полупроводниках и диэлектриках, когда длина волны излучения находится в их основной области поглощения. При этом глубина поглощения излучения обычно значительно меньше характерного значения теплопроводности.($1/\alpha \ll \sqrt{a\tau}$, где τ – время воздействия излучения, α – теплопроводность материала). В таких условиях источник тепла в материале практически поверхностный. При математическом решении уравнения теплопередачи (1.2) учитывается это поверхностное граничное условие (1.3). Толщина нагретого слоя в материале определяется характеристическим значением теплопроводности $\sqrt{a\tau}$. Режимы излучения, обеспечивающие объемное поглощение излучения $1/\alpha > \sqrt{a\tau}$, используются при необходимости создания объемного источника тепла в обрабатываемом материале или при коррекции излучения внутри объема (и локальной обработки) [4].

Существуют различные математические методы решения уравнений теплопередачи, среди которых наиболее часто используются методы интегрального преобразования (в том числе преобразование Лапласа), метод Фуре (разделения переменных) и метод источника. Следует отметить, что при нагревании материала изменяются его оптические и теплофизические свойства, особенно коэффициент восстановления R. Кроме того, на процесс нагрева большое влияние оказывает временная и пространственная структура излучения. Эти факторы иногда необходимо учитывать, чтобы точно определить временное и пространственное распределение температуры нагреваемого излучением объекта.

При нагревании тела лазерным излучением в нем активируются различные процессы. К ним относятся эмиссионные процессы (эмиссия электронов, ионов, нейтральных молекул), поверхностные и объемные химические реакции, структурные изменения, тепловое расширение и термомеханические процессы, плавление, испарение и др. В основе этих изменений может лежать определенный технологический процесс — например, испарение и плавление при резке и сверлении отверстий, плавление при сварке, структурные изменения при термической отделке материалов.

На практике при определении основных параметров процесса в большинстве случаев не требуется точно решать тепловую задачу, наоборот, достаточно оценить предельную плотность мощности излучения q_n)(или предельную мощность (P_n), предельная энергия (W_n)). Пороговая

ISSN 3030-3907

плотность мощности излучения – это величина, при которой в облучаемом материале происходят определенные изменения. Теоретически величина q_n определяется как значение плотности мощности падающего излучения (q_0), при котором максимальная температура обрабатываемого материала достигает значения T_*, соответствующего началу этого процесса (например, это его кипение точка испарения материала). По окончании воздействия исходные характеристики можно определить из выражения, определяющего температуру на поверхности объекта в центре облучаемого поля в виде круга радиусом r_0. Эти выражения для излучения в режиме сильного поглощения таковы:

$$T = \frac{2q_0(1-R)\sqrt{a\tau}}{k}\left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} - ierfc\frac{r_0}{2\sqrt[2]{a\tau}}\right) + T_N, \quad (2.1)$$

$$T = \frac{2q_0(1-R)r_0}{k} + T_N, \quad (2.2)$$

Для излучения в режиме объемного поглощения

$$T = \frac{2q_0(1-R)\tau}{\rho c\delta}\left\{1 - exp\left(-\frac{r_0^2}{4a\tau}\right) - \frac{r_0^2}{4a\tau}Ei\left(-\frac{r_0^2}{4a}\right)\right\} + T_N, \quad (2.3)$$

здесь $\delta -$ глубина поглощения света веществом ($\delta = 1/\alpha$ –- интегральная функция отображения в поглощении Бугера; T_N – начальная температура.

(2.3) выражение имеет два особых случая [5]:

$$a)\ r_0 \gg \sqrt{a\tau}$$

$$T = \frac{2q_0(1-R)\tau}{\rho c\delta} + T_N$$

$$b)\ r_0 \ll \sqrt{a\tau}$$

$$T = \frac{2q_0(1-R)r_0^2}{4k} ln\left(19{,}4\frac{a\tau}{r_0^2}\right) + T_N \quad (2.4)$$

здесь $k -$ теплопроводность материала.

В ряде технологических процессов лазерной обработки используется сканирование обрабатываемой поверхности лазерными лучами. При этом результаты термообработки зависят от скорости сканирования (V_{sk}).

Максимальная температура на обрабатываемой поверхности, сильно поглощающая материал в быстро движущемся источнике $\left(\frac{V_{sk}r_0}{a} \gg 1\right)$:

$$T \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}}\frac{q_0(1-R)}{k}\sqrt{\frac{2ar_0}{V_{sk}}} + T_N \quad (2.5)$$

В медленно движущемся источнике:

$$\left(\frac{V_{sk}r_0}{a} \ll 1\right)$$

ISSN 3030-3907

$$T \approx \frac{q_0(1-R)r_0}{k}\left(1-\frac{V_{sk}r_0}{4a}\right)+T_N \qquad (2.6)$$

Другим важным параметром лазерной обработки является скорость активизируемого процесса в облучаемом материале. Для многих термоактивационных процессов, испарения, различных термохимических реакций скорость процесса V экспоненциально зависит от температуры T, что в наиболее общем виде описывается уравнением Френкеля [6]:

$$V(T) = c_0 exp\left(-\frac{L^m \mu}{R_G T}\right) \qquad (2.7)$$

здесь $L^m -$ энергия активации процесса на единицу массы (теплота парообразования и др.); $c_0 -$ скорость звука в твердом теле; $R_G -$ универсальная газовая постоянная; $\mu -$ молярная (атомная) масса перерабатываемого материала.

В частности, фронт испарения — граница между паром и конденсированной (расплавленной) средой — проникает глубже в материал с определенной скоростью $V(T)$, которая является функцией температуры поверхности T.

При испарении вещества возникает механический импульс отдачи за счет реактивного воздействия вырывающихся паров. Давление возврата можно оценить как половину давления насыщенного пара P_T , давление возврата R_{qay} и давление пара над поверхностью материала R_{bomb} представляют собой равные величины бомбардировки:

$$P_T = R_{qay} + R_{bomb}, \qquad (2.8)$$

При лазерном испарении мы предполагаем, что $R_{bomb} = 0$, и получаем уравнение $P = 0{,}5 \cdot R_{qay}$.

Давление насыщенного пара при температуре Т, равной температуре поверхности испарения, определяется из уравнения Клаузиуса-Клапейрона:

$$P_T = P_0 \frac{T}{T_0} exp\left[\left[\frac{L_b^m \mu}{R_G T_0}\left(1-\frac{T_0}{T}\right)\right]\right] \qquad (2.9)$$

здесь $L_b^m -$ скрытая теплота испарения единицы массы материала; Давление насыщенного пара при температуре $P_0 - T_0$ (например, $P_0 = 10^5$ Ра при температуре кипения $T = T_Q$ при нормальном давлении) [7].

Определение температуры материала, облучаемого лазерным излучением, и расчет на ее основе скорости испарения позволяют получить интегральные характеристики процесса обработки и определить необходимые параметры режима обработки.

ISSN 3030-3907

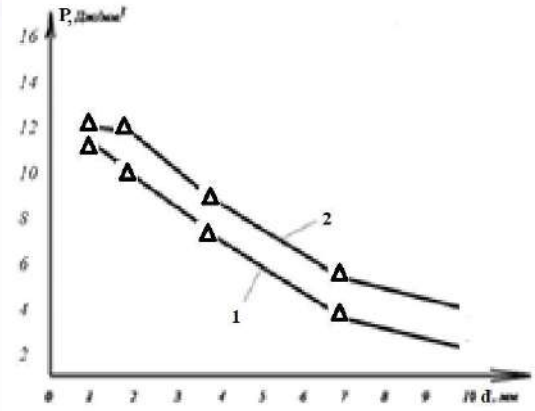


Рисунок 1. Зависимость необходимых энергозатрат от толщины металла при различной мощности излучения:*1* – W=2 kVt; *2* – W=3,5kVt

В ряде случаев тепловой модели радиационного воздействия недостаточно для корректного рассмотрения процессов лазерных технологий. Например, при сверлении глубоких отверстий нельзя не учитывать поглощение излучения парами, образующимися в канале, и т. д. [8,9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Существуют лазерные технологии, основанные на быстром тепловом расширении вещества при нагреве лазерным излучением. Технология сухой лазерной очистки поверхности твердого тела от частиц загрязнений основана на быстром нагреве и термическом расширении поглощающих излучение частиц и/или поверхностного слоя основного материала лазерным импульсом. После окончания импульса частицы отрываются от поверхности и выбрасываются под действием сил инерции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С., Ходыко Ю.В. Действие излучения большой мощности на металлы. - М.: Наука, 1970.
2. Рэди Дж.Ф. Действие лазерного излучения. - М.: Мир, 1974.
3. Вейко В.П., Либенсон М.Н. Лазерная обработка. - Л.: Лениздат, 1973.
4. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Лазерная техника и технология. Лазерная сварка металлов, т. 5. - М.: Высшая школа, 1988.
5. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология. Основы лазерного термоупрочнения сплавов, т. 6. - М.: Высшая школа, 1988.
6. *Аборкин А.В., Бабин Д.М., Бокарев Д.В., Елкин А.И.* Влияние отжига на структуру и свойства алюмоматричных композитов, упрочненных WC1-x/УНТ структурами//Сборник трудов V Международной научно-технической конференции «Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ – 2020)». Москва, 27–29 октября 2020г.С.3-6.

ISSN 3030-3907

7. *Aborkin A., Khorkov K., Prusov E., Ob'edkov A., Kremlev K., Perezhogin I., Alymov M.* Effect of Increasing the Strength of Aluminum Matrix Nanocomposites Reinforced with Microadditions of Multiwalled Carbon Nanotubes Coated with TiC Nanoparticle // Nanomaterials. 2019. Vol.9. Is.11. Article 1596. https://doi.org/ 10.3390/nano9111596.
8. *Animesh B., Eisen W.B.* Hot Consolidation of Powders & Particulates. Metal Powder Industries Federation, Princeton, USA, 2003. 254 p.
9. *German R.M.* (Ed.) Powder Metallurgy Science, 2nd ed.; Metal Powder Industries Federation: Princeton, NJ, USA, 1994. 472 p.