

**ADDITIV TEXNOLOGIYADA METALL KUKUNLARINI LAZERLI
SINTEZLASHNING MUAMMOLARI VA IMKONIYATLARI**

Asatillayev Yo'ldashali Malikovich, dotsent, Isroilov Nizomjon Nozimjon o'g'li,
stajyor o'qituvchi, Namangan muhandislik-qurilish instituti

E-mail: yaldash@umail.uz

G-mail: nizom5094@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada nanostrukturali kukunlardan additiv texnologiyalar maqsadlarida foydalanish samaradorligini, mexanokimyoviy sintez usullarining mohiyatini va imkoniyatlarini nazariy tahlili bayon qilingan. Metall birikmalarining mexanokimyoviy sintezi natijasida nanokristalli tuzilishga o'tish jarayonlarida o'tkazilgan tadqiqot natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: additiv, ultrabinafsha, lazer, kukun, sintez, qatlam, zarrachalar, o'stirish, mexanokimyoviy, birikma.

**ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Асатиллаев Йулдашали Маликович, доцент, Исраилов Низамжан
Назимжан угли, учитель-стажер, Наманганский инженерно-строительный
институт

E-mail: yaldash@umail.uz

G-mail: nizom5094@gmail.com

Аннотация. В статье изложены теоретический анализ эффективности использования наноструктурированных порошков для целей аддитивных технологий, сущность и возможности методов механохимического синтеза. Приведены результаты исследования процессов перехода к нанокристаллической структуре в результате механохимического синтеза металлических сплавов.

Ключевые слова: аддитив, ультрафиолетовый, лазер, порошок, слой, синтез, частицы, механохимический, наращивание, соединений.

PROBLEMS AND POSSIBILITIES OF LASER SYNTHESIS OF METAL POWDERS IN ADDITIVE TECHNOLOGIES

Asatillayev Yoldashali Malikovich, associate professor, Israilov is the son of Nizamjon Nozimjon, intern teacher, Namangan Institute of Engineering and

Construction Gmail:

E-mail: yaldash@umail.uz

G-mail: nizom5094@gmail.com

Annotation. The article describes a theoretical analysis of the effectiveness of the use of nanostructured powders for the purposes of additive technologies, the essence and possibilities of mechanochemical synthesis methods. The results of studying the processes of transition to a nanocrystalline structure as a result of the mechanochemical synthesis of metal alloys are presented.

Key words: additive, ultraviolet, laser, powder, synthesis, layer, particles, growth, mechanochemical, combination.

KIRISH

Hozirgi vaqtda insoniyat ishlab chiqarish jarayonlariga kiberfizik tizimlarning kiritilishi bilan tavsiflangan to'rtinchi sanoat inqilobi davriga kirmoqda. Ilmiy texnologiyalarning tabiiy, biologik va raqamli integratsiyalashuvi sun'iy intellekt, robototexnika, nano va biotexnologiyalar, energetika, materialshunoslik va boshqalar kabi sohalarda yangi yutuqlarga erishmoqda. Ushbu texnologiyalarning asosiylaridan metall kukunni qatlam-qatlam eritib sintezlash jarayoni avtomatlashtirilgan rejimda, komp'yuter modeliga muvofiq uch o'lchamli mahsulotlarni olishni amalda qurish imkonini beradi. Bunda mahsulotni olish uchun vaqt va xarajatlar kamayadi, chunki asboblarni va qoliplarni ishlab chiqarishning oraliq bosqichlari bundan mustasno, quyma nuqsonlari yo'q va pardoqlash ishlov berishning mehnat sarfi kamayadi [1].

ADABIYOTLAR TAHLILI

Rivojlangan sanoat mamlakatlarida metall, metall-keramika va nanostrukturali kukunli kompozitsiyalarni qatlam-qatlam sintez qilishning texnologik jarayonlarini o'rganish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Additiv texnologiyaga birinchi ijodiy yondoshuv 1956 yilda Kaliforniya universiteti professori Otto Munzning shaffof fotografik emulsiyani selektiv (qatlam-qatlam) sintez qilish usulini ishlab chiqishi bilan boshlandi.

1981 yilda R.F. Housholder kukunli materialni tekis platformaga joylashtirish orqali yupqa qatlam hosil qilish usulini taklif qildi. Xuddi shu yili Xideo Kodama ultrabinafsha chiroq va lazer yordamida birinchi funktsional fotopolimerizatsiya tizimlarining natijalarini e'lon qildi. 1982 yilda A.J. Gerbert X-Y koordinata o'qlari yo'nalishida ultrabinafsha chiroq va nometall tizimi yordamida 3D modellarni yaratdi.

1990-yillarning o'rtalarida birinchi stereolitografik (SLA mashinalari) lazerli mashinalar, keyin kukun (SLS mashinalari) yaratildi. Bu mashinalar asosan mudofaa sanoati bilan bog'liq ilmiy-tadqiqot ishlarida qo'llanilgan, sababi mashinaning narxi haddan tashqari qimmatligi sababli, ishlab chiqarishda mahsulot olish o'zini harajatlarini qoplamagan. Biroq, 1995 yilda Massachuset Texnologiyalar universiteti talabalari Jim Bredt va Tim Anderson an'anaviy ish stoli printeri korpusiga qatlam-qatlam material sintezi texnologiyasini joriy etish bilan, ushbu texnologiyani ommaviylashib ketishiga yo'l ochdilar [1,2].

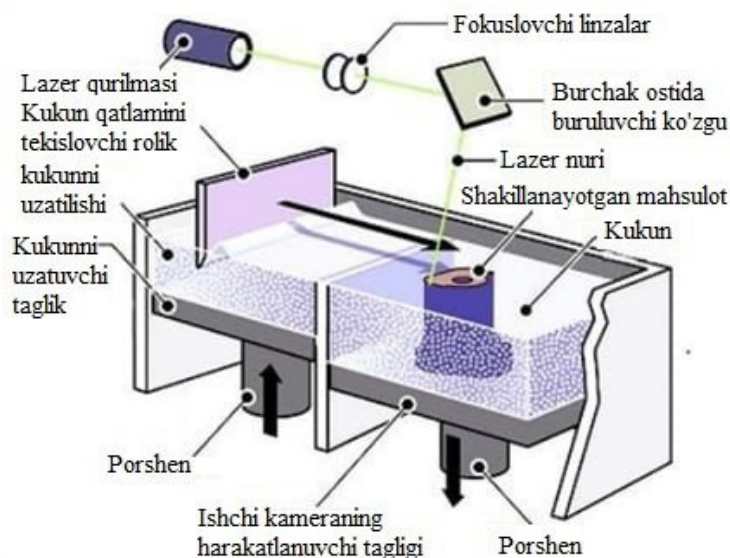
Shu sababli, ko'proq sanoat tarmoqlari additiv texnologiyalarini faol o'zlashtirmoqdalar. Ushbu texnologiya ilmiy - tadqiqot tashkilotlarida, arxitektura va konstruktorlik byurolarida, dizayn studiyalarida va yakka tartibda ishlaydigan shaxslar tomonidan ijodkorlik-loyihalash ishlarida sevimli mashg'ulot sifatida tobora ko'proq foydalanilmoqda. Ko'pgina kollej va universitetlarda additiv (qatlam-qatlam o'stirish mashinasi) mashinalar yoki 3D-printerlar professional-muhandislik ta'limi uchun o'quv dasturining ajralmas qismi hisoblanadi.

TADQIQOT OB'EKTI VA METODOLOGIYASI

SLA (Steriolithography Apparatus), lazerli stereolitografiya - fotopolimerizatsiya texnologiyasi bilan: quyma detalning yuqori aniqlikdagi asosiy modelini, mikroasboblarning yupqa devorli korpus detallarini va yuqori aniqlikdagi membranalar (klapanlar)ni olish mumkin. Bu texnologiya hozirgi

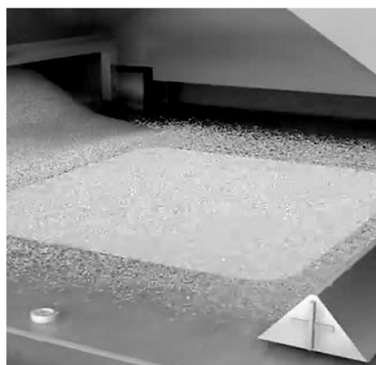
baqtda ham juda istiqbolli hisoblanadi. Asosiy xom-ashyo hisoblanadigan fotopolimer materiallarning doimiy rivojlanishi, turli xil texnik xususiyatlarga ega bo'lgan ko'proq detallarni olish imkonini beradi.

Ushbu texnologiyaning ishlash tamoyili – material kukun tarzida qizdirish kamerasiga kiritiladi va minimal material qatlami ruxsat etilgan qalinligigacha rolik bilan tekislanadi, so'ngra, lazerli eritish jarayoni materialni erish haroratigacha qizdirish bilan boshlanadi, shundan keyin detal shakli kesimining geometriyasiga mos keladigan kukun qatlamini lazer nurlari bilan tanlab eritish bosqichida, namunadagi detal shakli kukun qatlami qalinligiga teng balandlikka o'stiriladi (1-rasm).

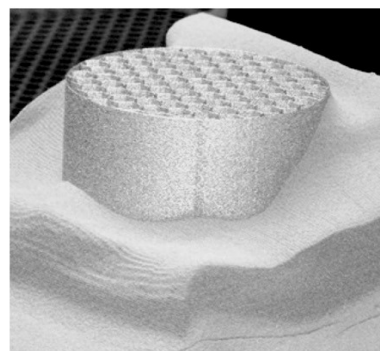


1-rasm. Lazerli stereolitografiya usuli bilan uch o'lchamli modelni o'stirish jarayonining sxemasi

Keyingi bosqichda kukunning yangi qatlami qizdirish kamerasiga kiritiladi, qatlamni lazer nurlari bilan tanlab eritish bosqichi takrorlanadi va detal shakli kesimi yana bir kukun qatlami qalinligiga teng balandlikka o'stiriladi. Shunday qilib, detalning to'liq shaklini hosil qilingungacha qatlam-qatlam holatida o'stirib boriladi. Additiv texnologiyasi bilan mahsulot tayyorlash jarayonida energiya quvvat manbai, ishlov berish tezligi va materialning fizik-kimyoviy xususiyatlari va boshqa ko'rsatkichlar orqali detal shaklini o'stirish sharoiti va usuli tavsiflanadi (2- rasm).



a)



b)

2- rasm. Kukun materialidan selektiv lazerli eritish usuli bilan mahsulot tayyorlash: a – kukun qatlamini ishchi yuzaga yoyilishi; b – detall shaklini qatlam-qatlam o‘stirish jarayoni

Additiv texnologiyasi bilan mahsulotlar olishda foydalaniladigan kukun materiallarini ishlab chiqarishda o‘rnatilgan standartlar mavjud emas, an’anaviy texnologiyalar bilan olingan materiallarda anizotropiya mavjudligi sababli, qo‘llashni imkoniyati yo‘q. Kukun materialiga qo‘yiladigan umumiy talab zarrachalarning sferik shaklidir. Sferik shakl ma’lum hajmdagi zarrachalarning yanada ixcham taqsimlanishini, shuningdek, kukun materialini minimal qarshilik bilan ishchi kamersiga bir tekis oqimli uzatilishini ta’minlaydi [3].

Kukunli materiallarni olish muammosi nafaqat additiv texnologiyalarni rivojlantirish, balki kukun metallurgiya maqsadlari uchun ham dolzarbdir. Metall kukunli kompozitsiyalar samolyotsozlik, kosmik texnologiyalar, kemasozlik, energetika, harbiy va asbobsozlik kabi yuqori texnologiyali sohalarda qo‘llaniladi.

TAHLILLAR VA NATIJALAR

Sanoatda metall kukunlarini olishning fizik-kimyoviy va mexanik usullari mavjud bo‘lib, fizik - kimyoviy usullarga xomashyoning fizik - kimyoviy o‘zgarishlari bilan bog‘liq bo‘lgan usullar kiradi, shu bilan birga yakuniy mahsulot – kukunning kimyoviy tarkibi va tuzilishi dastlabki materialdan sezilarli farq qiladi. Mexanik usullar kimyoviy tarkibida sezilarli o‘zgarishsiz xomashyodan kukun ishlab chiqarishni ta’minlaydi. Mexanik usullar, masalan, tegirmonlarda maydalashning ko‘p turlarini, shuningdek, gaz yoki suyuqlik oqimi yordamida eritmalarning tarqalishini o‘z ichiga oladi, bu jarayon atomlashtirish deb ham

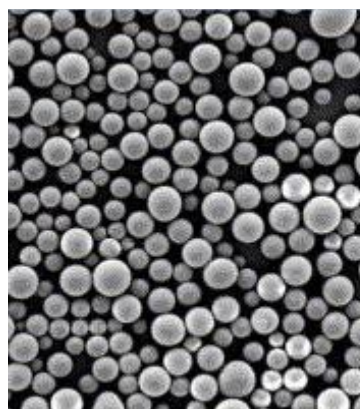
ataladi. Mexanik usullar bilan maydalash orqali olingan kukunlarning zarralari parchalangan, tartibsiz shaklga ega. Ishlab chiqarilgan kukun nisbatan ko'p miqdordagi begona aralashmalarni o'z ichiga oladi, shuning uchun bu usullar additiv texnologiyalarda qo'llaniladigan kukunlarni olish uchun ishlatilmaydi (3,a-rasm).

Eritma dispersiyasi mayda va o'rta metall kukunlarini olishning eng tejamkor va samarali usuli hisoblanadi. Bu usul bilan barcha sanoat kukunlari hajmining 60-70% olinadi. Atomlashtirish ko'p komponentli, amorf tuzilishga ega bo'lgan qotishmalarining kukunlarini ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi, bu hatto qotishma komponentlarning tarkibi eruvchanlik chegarasidan yuqori bo'lsa ham, kompozitsiyaning asosiy qotishma komponentida bir xil kimyoviy tarkibga erishishga imkon beradi. Bundan tashqari, eritilgan dispersiya usullari yordamida olingan kukunlar zarrachasi sfera shakliga ega [3,4].

Zarracha o'lchami, morfologiyasi va teksturasi nanomateriallarni olish jarayonining texnologik parametrlariga qarab farqlanadi (3a,b-rasm). Zarra hajmining kamayishi bilan uch yoqli birikish chegarasining hajmiy ulushi ortadi, 10 nm dan kam zarracha o'lchamlarida uch tomonlama birikmalarning hajm ulushi sezilarli darajada oshadi. Nanokristalli materiallarni tayyorlash usullari bilan aniqlangan strukturaning (zarra o'lchami, birikma chegara ulushi, g'ovakligi va boshqalar) xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Zarra hajmining kichiklashishi bilan plastikligini saqlab qolgan holda, mustahkamligi ortadi, past harorat va yuqori tezlikda o'ta plastiklik ta'siri namoyon bo'ladi (3,b-rasm).



a)



b)

3-rasm. Kukun materialini olish usuliga qarab, zarrachalarning morfologiyasi va teksturasini namoyon bo'lishi: a) mexanik usul bilan olingan kukun zarrachalari; b) eritib dispersiyalash usuli bilan olingan kukun zarrachalari.

Metall birikmalarini sintez qilish jarayonini tavsiflashning makro rasmi "sovuq" va "yuqori haroratli" sintez uchun xosdir. "Yuqori haroratli" sintezning "sovuq" sintezdan farqi shundaki, "yuqori haroratli" sintez natijasida o'z-o'zidan yonish uchun qulay sharoitlar yaratiladi va kimyoviy reaksiyaning issiqligi hisobiga keyingi sintez jarayoni amalga oshiriladi[5,6].

Sintezlash jarayoni ikkita komponent o'rtasida bitta birikma hosil bo'lgan holda amalga oshirilganda, eng oddiy holatni ko'rib chiqamiz: $A+B \rightarrow AB$. Biz shartli ravishda boshlang'ich komponentlarning erish va qaynash nuqtalarini, mos ravishda T_{erish}^A , T_{erish}^B , $T_{qaynash}^A$, $T_{qaynash}^B$, yonish harorati – T_{yonish} ni belgilaymiz, T_{yonish} ning T_{erish} va $T_{qaynash}$ ga nisbatiga qarab, boshlang'ich komponentlarning agregat holati o'zgaradi va reaksiya turli mexanizmlar bo'yicha amalga oshirilishi mumkin.

Reaksiya zonasida boshlang'ich komponentlarning agregat holatiga qarab, reaksiya jarayonining uchta asosiy turi mavjud: qattiq fazali, gazsiz va gazli.

Qattiq fazali yonish mexanizmi. Qattiq fazali reaksiyalarning xarakterli xususiyati shundaki, reaksiya faqat qattiq fazada, suyuqlik ishtirokisiz sodir bo'ladi, reaksiya tezligi nihoyatda past bo'ladi. Reaksiyalarni agregat holatiga ko'ra, qattiq fazali reaksiyaning o'tish sharti: $T_{yonish} < T_{erish}^{A,B}$ (T_{erish}^{evtet}) ko'rinishda bo'ladi, bunda T_{erish}^{evtet} - evtektikaning erish nuqtasidir. Ushbu yonish mexanizmi karbidlar, boridlar, silitsidlar va intermetall birikmalarda bajariladi. Ko'pincha qattiq fazali yonish mexanizmi qiyin eriydigan volfram, tantal, molibden va niobiy kabi metallarni o'z ichiga olgan tizimlarda sodir bo'ladi. Qattiq fazali gazsiz yonish usulida, o'z-o'zidan tarqaladigan yuqori haroratli sintezlanish (CBC) jarayonida qiyin eriydigan metallar (Ta, Nb, Mo), bor va uglerod bilan aralashgan holda kukun tarkibida aniqlangan [8].

Qattiq fazali reaksiya vaqtida chuqur sintezlash sodir bo'lmaydi, kukun aralashma tarkibidagi metall zarralari dastlabki o'lcham hajmini saqlaydi. Gazsiz qattiq holatda yonish mexanizmi reaksiya jarayoni joyida ishchi parametrlarning (zarralar orasidagi o'zaro birikishning yomonlashishi, zarrachalar hajmining ortishi va yonish haroratining kamayishi) o'zgarishiga juda sezgirliigi aniqlandi[5,6,7].

Gazsiz yonish mexanizmi. Ushbu mexanizmning o'ziga xos xususiyati shundaki – jarayon vaqtida sintezlanish reaksiya tezligining bosimga bog'liq emasligi va hosil bo'lgan zarraning doimiy massasi saqlanishidir. T_{yonish} ning dastlabki komponentlarning erish va qaynash temperaturalariga bog'liq nisbatiga qarab jarayonning sodir bo'lishi turli xil ko'rinishda bo'ladi, bunda ikki holatni ko'rib chiqamiz:

A holat. $nA + mB = A_nB_m$ reaksiya ishtirokchilari ($n, m \geq 1$) shart bilan suyuq fazada reaksiyaga kirishadi. Bunday reaksiyaning o'tish sharti $T_{\text{erish}}^A < T_{\text{yonish}} > T_{\text{erish}}^B$, $T_{\text{yonish}} > T_{\text{erish}}^{AB}$ tengsizlik bilan ifodalanadi. Bu holat quyidagi birikmalarni o'z ichiga oladi: boridlar (TiB , TiB_2 , ZrB_2 , HfB_2 , VB_2 , CrB_2 , NiB), silisidlar (Ti_5Si_3 , Zr_2Si , Zr_5Si_3 , $ZrSi$), $NiAl$ intermetallid birikma va MnS sulfid. A holati ba'zi birikmalarning hosil bo'lishi natijasida issiqlik ajralib chiqishi bilan tavsiflanadi, bu nafaqat boshlang'ich komponentni eritish, balki uni bug' holatiga o'tkazish uchun ham etarli. Masalan, $Ti + 2B$ aralashmasini yonish paytida harorat $T_{\text{yonish}} = 2927^\circ S$ ga ko'tariladi. Shunday qilib, T_{yonish} ning yuqori qiymatlari bo'lsa, tarkibiy qismlardan birining bosimi atmosfera bosimidan oshib ketganda, vakuum qiyin eriydigan birikmaning portlovchi mexanik-kimyoviy sintezini "o'chirishga" imkon beradi.

B holat. Ishtirokchi komponentlardan biri suyuq holatda, ikkinchisi qattiq holatda reaksiyaga kirishadi. Bu holatni o'tish sharti $T_{\text{erish}}^A < T_{\text{yonish}} < T_{\text{erish}}^B$ bilan ifodalanadi. Bu holat titan, tsirkoniy, gafniy va kremniy karbidlarini hosil qilish uchun eng xosdir. Karbid sintezi reaksiyasi natijasida metall eriydi va uglerod qattiq holatda bo'ladi. O'z-o'zidan tarqaladigan yuqori haroratli sintezlanish (*CBC*) jarayoni holatida suyuq metallning uglerod bilan o'zaro ta'siri kapillyar tarqalish ta'sirini keltirib chiqaradi, bu esa yonish tezligining keskin tezlashishiga olib

keladi. Olib borilgan tadqiqotlarga ko'ra, kapillyar tarqalish effekti bilan yonayotgan aralashmalar yonish to'liqlinining eng yuqori tarqalish tezligiga ega bo'lib, ba'zi hollarda issiqlik portlashga olib keladi. Shu bilan birga, hisoblangan va eksperimental natijalardan ko'rinib turibdiki, portlovchi mexanik-kimyoviy sintez paytida, titanni eritish uchun etarli bo'lgan harorat haqiqatda paydo bo'ladi.

Gazli yonish mexanizmi. Ushbu yonish mexanizmining xarakterli xususiyati shundaki, yonish tezligining bosimga bog'liqligi va jarayon davomida reagentlar massasining o'zgarishida, bunda ikki holatni ko'rib chiqamiz:

A holat. $T_{\text{qaynash}}^A < T_{\text{yonish}} < T_{\text{qaynash}}^B$ ko'rinishdagi shartli rejim Me–gaz (N_2 , H_2 , O_2) tizimlarida, shuningdek, Me–S, Me–P tizimlarida ham bajarilishi mumkin.

B holat. $T_{\text{yonish}} > T_{\text{qaynash}}^{AB}$ ko'rinishdagi shartli rejim $Mg + S$ tizimida ham bajarilishi mumkin.

Gazli yonish mexanizmi faqat ba'zi nitridlar, sulfidlar, shuningdek oksidlar uchun bajarilishi mumkin. (CBC) holatida nitridlarning aksariyati shu mexanizm yordamida sintez qilinadi, nitridlarning mexanokimyoviy sintezi azotning atmosfera bosimida amalga oshiriladi. (CBC) jarayonidagi gazli yonish mexanizmi ko'pchilik nitridlar, gidridlar va oksidlar uchun yaratilgan. Mexanokimyoviy sintezda portlovchi kinetika bo'yicha metallning gaz bilan o'zaro ta'sirlashishi faqat metallarning kislorod bilan o'zaro ta'sirlashish muhitida aniqlangi [9,10].

O'rganilgan va o'tkazilgan tadqiqotlar natijasiga asoslanib, quyidagi xulosalarni keltiramiz:

- kukun materiali zarrachalariga qo'yiladigan texnik talab, ularning sferik shaklida bo'lishi maqsadga muvofiq. Zarrachalarning sferik shakli ma'lum hajmdagi kukun qatlamini bir tekis taqsimlanishini va minimal qarshilik bilan ishchi kamersiga bir tekis oqimli uzatilishini ta'minlaydi;

- mexanokimyoviy sintezlash jarayonida zarrachalar hajmining kamayishi bilan uch yoqli birikish chegarasining hajmiy ulushi ortadi, 10nm dan kam zarracha o'lchamlarida uch tomonlama birikmalarning hajm ulushi sezilarli darajada oshadi;

-kukun materialini tayyorlash jarayonida aniqlangan strukturaning (zarra o'lchami, birikma chegara ulushi, g'ovakligi va boshqalar) xususiyatlariga sezilarli ta'siri natijasida, zarra hajmining kichiklashishi bilan plastikligini saqlab qolgan holda, mustahkamligi ortadi, past harorat va yuqori tezlikda o'ta plastiklik ta'siri namoyon bo'ladi;

- zarrachalar hajmining kichiklashishi kukun g'ovakliligini pasaytiradi, bu tayyorlanadigan mahsulotning zichligini va mustahkamligini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- 1.Nazarov A.P., Okunkova A.A. Selektiv lazerli eritish texnologiyasi// Mashinasozlik xabarnomasi, № 11, 2012.
- 2.Pavlov M.D., Konov S.G., Okunkova A.A. Nazarov A.P. Lazerli eritish usuli bilan mahsulot tayyorlashda optik nazorat vositasidan foydalanish afzalligi// Nazorat. Diagnostika, № 11, 2012.
3. Engelo H. C., Subramanian R. Powder Metalurge: Science, technology and application. – New Dehli, 2009.
4. Lipson H., Kurman M. Fabricated: The new world of 3D printing. John Wiley & Sons Limited, 2013. 320 c.
5. Boissonneault T. Metal AM Focus 2020 // Additive manufacturing industry: metal. 3D Printing Media Network, 2020. 27 c.
6. Asatillayev Y. M., Pardayev Z. E., Babayev N. O., Isroilov N. N. Texnologik tizimning kesish kuchi ta'sirida elastik deformatsiyalanishidan hosil bo'ladigan xatoliklar // №1(10), 2023.
7. Malikovich, A. Y. (2022, March). Features of the technology of cutting worms with a cutter on cnc machines. In Conference Zone (pp. 11-13).
- 8.Malikovich, A. Y. (2022, March). Development of the technological process of manufacturing and devices for technical support of the body part. In Conference Zone (pp. 9-10).

9. Techel A. et al. Laser Additive Manufacturing of Turbine Components, Precisely and Repeatable. Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (IWS), интернет-издание Laser Institute of America. URL: <http://www.lia.org>.
10. Yasa E., Kruth J. Application of laser re-melting on Selective laser melting parts. Catholic University of Leuven, Dept. of Mech. Eng, Heverlee, Belgium. Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 4, 259-270, Scientific paper [Электронный ресурс]. URL: <https://lirias.kuleuven.be>.