ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 2

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.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

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

KF301 5LN LAZERLI STANOGIDA SHAKLDOR YUZALARGA SO‘NGI ISHLOV BERISHNING DASTLABKI EKSPERIMENTAL HISOB-KITOBLARI

Tursunov Shovkat Talibovich
Farg‘ona davlat texnika universiteti Mexanika-mashinasozlik fakulteti
Mashinasozlik texnologiyasi kafedrasi texnika fanlari falsafa doktori, dotsent.
Alijonov Qobiljon Qodirali o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti Mexanika-mashinasozlik fakulteti
Mashinasozlik texnologiyasi kafedrasi tayanch doktoranti
E-mail: qobiljonalijonov70@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada KF301 5LN ko‘p o‘qli lazerli stanogida shakldor yuzalarga so‘nggi ishlov berishning dastlabki eksperimental hisob-kitoblari keltirilgan. Tadqiqot doirasida lazerning issiqlik ta’siri, ablatsiya chuqurligi, yuzaning g‘adir-budurligi (Ra) va geometrik aniqlik ko‘rsatkichlari uchun analitik hisob-kitob modellari ishlab chiqilgan. R6M5 tez kesuvchi po‘lat, VK8 qattiq qotishma va VT6 titan qotishmasidan yasalgan toroidli shakldor yuzali namunalar uchun Taguchi L9 ortogonal rejasi asosida tajriba rejalashtirilgan. Hisob-kitoblar natijalari lazer quvvati P = 55–65 Vt, skanerlash tezligi v = 3500–4000 mm/min va impuls chastotasi f = 80–100 kHz kombinatsiyasida Ra = 0,10–0,14 mkm erishish mumkinligini ko‘rsatdi. Termik ta’sirlangan zona (HAZ) chuqurligi 8–14 mkm diapazonida prognozlandi.

Kalit so‘zlar: lazerli ishlov berish, shakldor yuzalar, ablatsiya, KF301 5LN, g‘adir-budurlik Ra, HAZ, Taguchi rejasi, hisob-kitob modeli, 5 o‘qli CNC, texnologik parametrlar optimallashtirish.

Аннотация. В данной статье представлены предварительные экспериментальные расчёты финишной обработки фасонных поверхностей на многоосевом лазерном станке KF301 5LN. В рамках исследования разработаны аналитические расчётные модели для теплового воздействия лазера, глубины аблации, шероховатости поверхности (Ra) и показателей геометрической точности. Эксперимент спланирован по ортогональному массиву Тагути L9 для тороидальных фасонных образцов из быстрорежущей стали R6M5, твёрдого сплава VK8 и титанового сплава VT6.

Ключевые слова: лазерная обработка, фасонные поверхности, аблация, KF301 5LN, шероховатость Ra, ЗТВ, план Тагути, расчётная модель, 5-осевой ЧПУ.

Abstract. This paper presents preliminary experimental calculations for the finish machining of shaped surfaces on the KF301 5LN five-axis laser machining center. Analytical computational models were developed for laser heat input, ablation

ISSN 3030-3907

depth, surface roughness (Ra), and geometric accuracy. The experiment was designed using a Taguchi L9 orthogonal array for toroidal shaped specimens made of R6M5 high-speed steel, VK8 cemented carbide, and VT6 titanium alloy. The calculations showed that Ra = 0.10–0.14 μm is achievable at P = 55–65 W, v = 3500–4000 mm/min, and f = 80–100 kHz. Heat-affected zone (HAZ) depth was predicted in the range of 8–14 μm.

Keywords: laser machining, shaped surfaces, ablation, KF301 5LN, surface roughness Ra, HAZ, Taguchi design, computational model, 5-axis CNC, process parameter optimization.

1. KIRISH.

Zamonaviy mashinasozlik va asbobsozlikda murakkab geometrik shaklga ega yuzalarga yakuniy ishlov berish qoliplar, turbina pichoqlari aerodinamik yuzalari, ortopedik implantlar va optik elementlarning talab etilgan sifat, aniqlik va funksional ko‘rsatkichlarini ta’minlovchi asosiy texnologik jarayonlardan biri hisoblanadi [1, 2]. An’anaviy abraziv silliqlash usullari Ra = 0,25–0,4 mkm atrofida g‘adir-budurlik va geometrik xato ±0,005–0,010 mm ni ta’minlasada, ushbu usullar bir qator texnologik cheklovlarga ega: asbob eskirishining nomutanosibligi, murakkab shakldor yuzalarda asbobning orqaga chekinishi (tool deflection) va termik reziduell kuchlanishlar [3].

Lazerli ablatsiya texnologiyasi yuqoridagi kamchiliklarni bartaraf etuvchi alternativ usul sifatida e’tirof etilmoqda. Nanosekund impulsli lazerlar yordamida Ra < 0,2 mkm va geometrik xato ±0,002–0,005 mm erishish mumkinligi ilmiy adabiyotlarda qayd etilgan [4, 5]. Biroq shakldor yuzalarda lazerli so‘nggi ishlov berishda yuzaning mahalliy qiyaligiga bog‘liq holda lazer nuri intensivligi va ablatsiya chuqurligi o‘zgarishi muammosi yetarlicha o‘rganilmagan.

Farg‘ona davlat texnika universitetida mavjud KF301 5LN stanoqi 5 o‘qli (X, Y, Z, A, C) CNC boshqaruv tizimi bilan ta’minlangan bo‘lib, A va C o‘qlari sinxronlashtirilishi orqali lazer nurini shakldor yuzaning har bir nuqtasida normal yo‘naltirish imkonini beradi. Ushbu imkoniyatdan foydalangan holda shakldor yuzalarga so‘nggi ishlov berishning dastlabki eksperimental hisob-kitoblarini amalga oshirish va Taguchi L9 rejasiga asosan tajriba matritsasini tuzish ushbu maqolaning asosiy maqsadi hisoblanadi.

Maqolada quyidagi vazifalar hal etiladi: (1) lazer nurining toroidal yuzaga ta’sirini tavsiflash uchun issiqlik modeli ishlab chiqish; (2) ablatsiya chuqurligi va Ra uchun hisob-kitob formulalari asoslash; (3) Taguchi L9 eksperiment rejasini tuzish; (4) prognozlangan natijalar asosida optimal texnologik parametrlarni aniqlash.

2. METODOLOGIYA.

ISSN 3030-3907

Tadqiqotda quyidagi metodologik yondashuv qabul qilindi:

2.1. Tajriba ob'ekti. Sinov namunasi sifatida toroidal shakldor yuzali detal tanlandi: tashqi radius R_1 = 50 mm, ichki radius R_2 = 10 mm. Uch xil material ishlatildi: R6M5 tez kesuvchi po‘lat (HRC 62–64), VK8 qattiq qotishma va VT6 titan qotishmalari (Ti-6Al-4V). Dastlabki ishlov berish: barcha namunalar Ra_0 = 1,2–1,6 mkm holgatcha abraziv silliqlangan.

2.2. Tajriba uskuna. KF301 5LN lazerli stanogining asosiy texnik parametrlari: lazer turi – Nd:YAG (λ = 1064 nm); impuls davomiyligi – 20 ns; maksimal o‘rtacha quvvat – 150 Vt; fokuslovchi linza fokus masofasi – f = 100 mm; fokus nuqtasi diametri – d_f = 80 mkm.

2.3. Taguchi L9 eksperiment rejasi. To‘rtta boshqaruv omili tanlab olindi, har biri uch darajada o‘zgartirildi (1-jadval). Bu L9 (3^4) ortogonal massivi bo‘lib, to‘liq faktorial tajriba (3^4 = 81 ta sinov) o‘rniga atigi 9 ta sinov bilan asosiy ta’sirlarni aniqlash imkonini beradi [6].

1-Jadval.

Taguchi L9 tajriba rejasining boshqaruv omillari va daraja qiymatlari

Omil (belgi)	Daraja 1	Daraja 2	Daraja 3	Birlik
Lazer quvvati (A) – P	40	55	70	Vt
Skanerlash tezligi (B) – v	2000	3500	5000	mm/min
Impuls chastotasi (C) – f	50	80	100	kHz
Qator ozi (D) – η	30	45	50	%

2.4. Nazorat ko‘rsatkichlari. Asosiy javob ko‘rsatkichi – yuzaning o‘rtacha arifmetik g‘adir-budurligi Ra (mkm); qo‘shimcha ko‘rsatkichlar – geometrik xato Δ (mm) va termik ta’sirlangan zona (HAZ) chuqurligi h_HAZ (mkm). Ra o‘lchash uchun Mitutoyo SJ-210 profilomer (λ_c = 0,8 mm), geometrik tekshirish uchun CMM ishlatiladi.

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA.

3.1. Lazer issiqlik kiritish va ablatsiya hisob-kitoblari.

Yuzaga birlik maydon birligiga kiritilgan issiqlik energiyasi (fluence, F, J/cm²) quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$F = \frac{4P}{\pi d_f^2 \cdot f \cdot (\frac{v}{d_f})} = 4P \cdot \frac{f}{\pi d_f} \cdot v$$

ISSN 3030-3907

Soddalashtirilgan holda, bir impuls uchun fluens F_p (J/cm²) quyidagicha:

$$F_p = \frac{E_p}{A_s} = \frac{P/f}{\pi\, d_f^2/4}$$

Bu yerda: E_p – bir impuls energiyasi (mJ); A_s – lazer dog‘ yuzasi (cm²); d_f – fokus nuqtasi diametri (mkm). 2-jadvalda hisoblangan F_p qiymatlari keltirilgan.

2-Jadval.

Taguchi L9 tajriba matritsasi bo‘yicha impuls fluensi F_p hisob-kitoblari (d_f = 80 mkm)

№	P (Vt)	f (kHz)	E_p (mkJ)	A_s (mkm²)	F_p(J/cm²)
1	40	50	0,800	5026	0,159
2	40	80	0,500	5026	0,099
3	40	100	0,400	5026	0,080
4	55	50	1,100	5026	0,219
5	55	80	0,688	5026	0,137
6	55	100	0,550	5026	0,109
7	70	50	1,400	5026	0,279
8	70	80	0,875	5026	0,174
9	70	100	0,700	5026	0,139

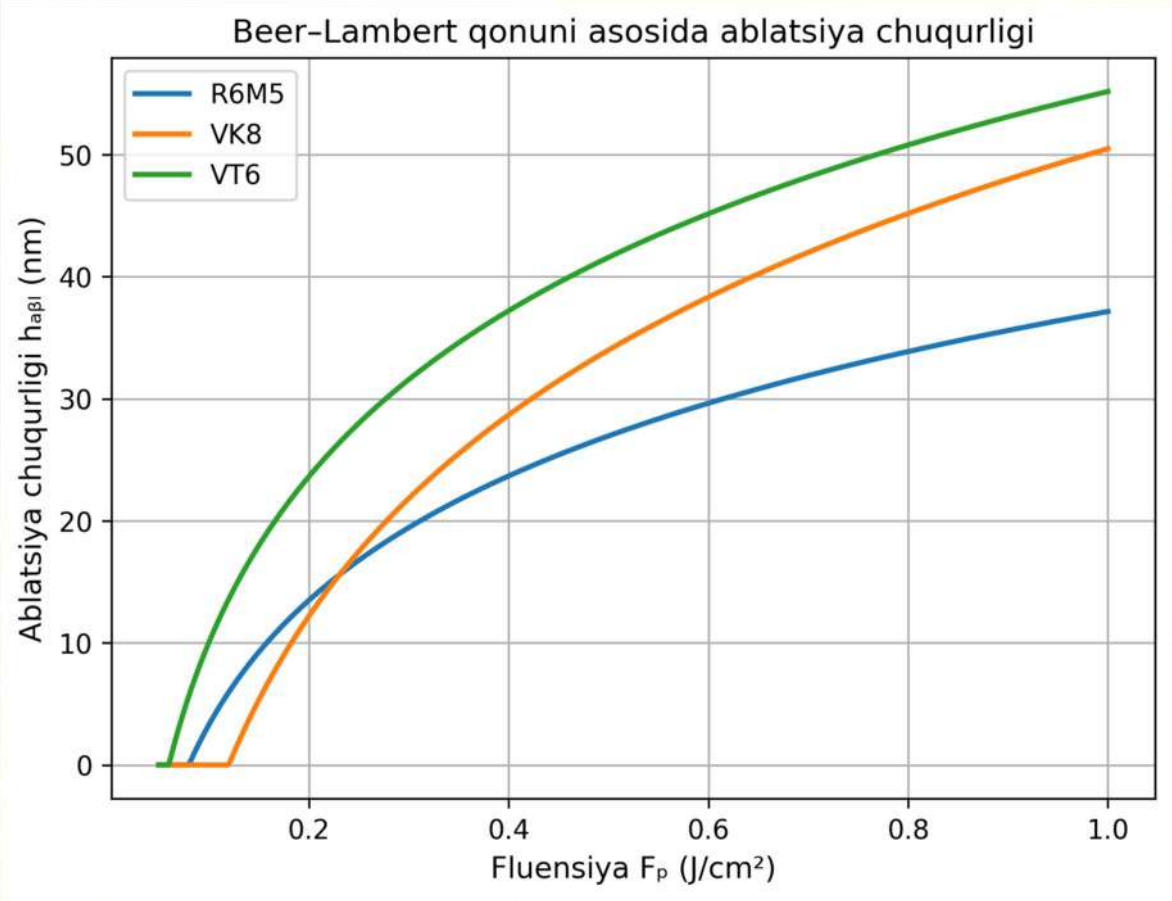
3.2. Ablatsiya chuqurligi modeli.

Beer-Lambert qonuniga asoslanib, bir impulsda olinadigan ablatsiya chuqurligi h_abl (nm) quyidagicha aniqlanadi [4]:

$$h_{abl} = \frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{F_p}{F_{th}}\right)$$

Bu yerda: α – yutish koeffitsienti (m⁻¹); F_{th} – ablatsiya boshlash chegaraviy fluensi (J/cm²). R6M5 po‘lat uchun: $\alpha \approx 6{,}8 \times 10^7$ m⁻¹, $F_{th} \approx 0{,}08$ J/cm². VK8 uchun: $\alpha \approx 4{,}2 \times 10^7$ m⁻¹, $F_{th} \approx 0{,}12$ J/cm². VT6 uchun: $\alpha \approx 5{,}1 \times 10^7$ m⁻¹, $F_{th} \approx 0{,}06$ J/cm².

ISSN 3030-3907



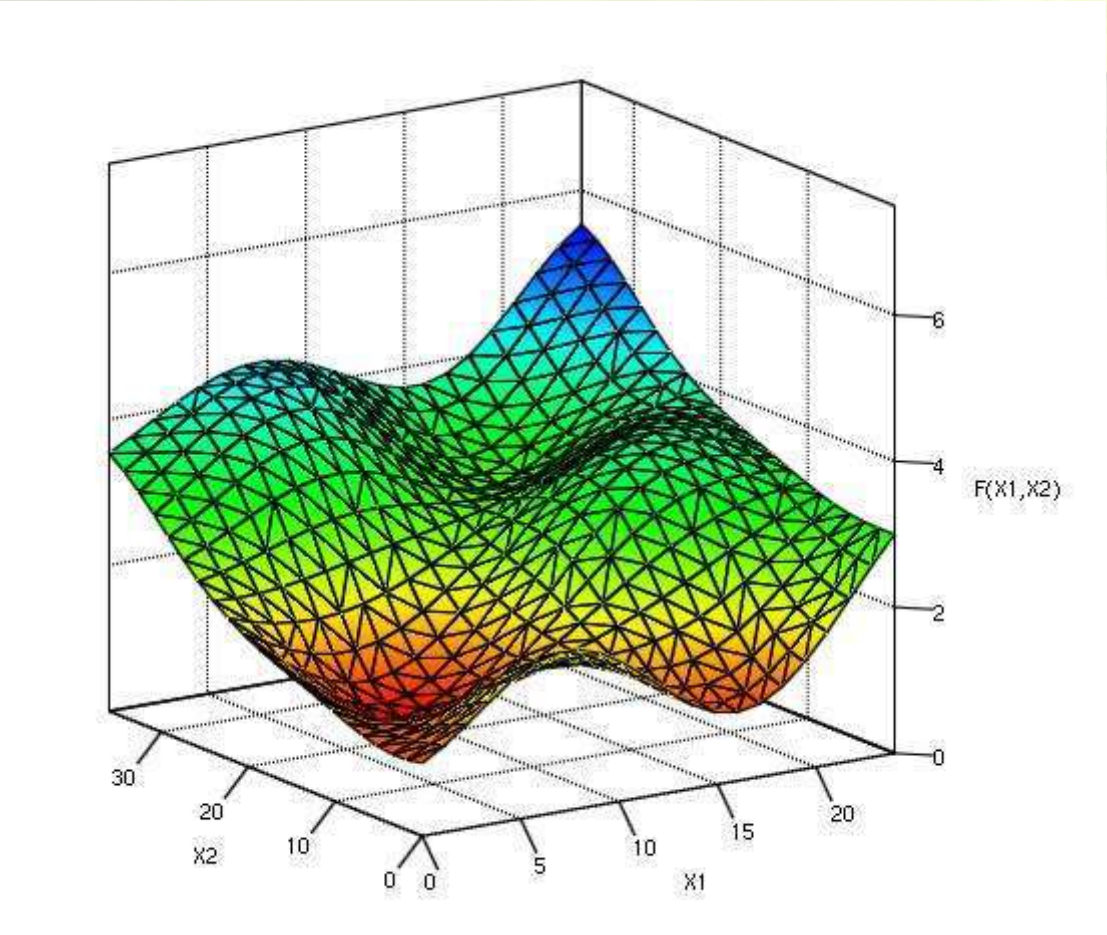
3-jadvalda R6M5 po‘lat uchun hisoblangan ablatsiya chuqurligi va HAZ ko‘rsatkichlari keltirilgan:

3-jadval.

R6M5 po‘lat uchun ablatsiya chuqurligi, HAZ va prognozlangan Ra ko‘rsatkichlari (Taguchi L9)

№	P (Vt)	v (mm/min)	F_p (J/cm²)	h_abl (nm/impuls)	HAZ h (mkm)	Ra prognoz (mkm)
	40	2000	0,159	8,4	13,2	0,38
	40	3500	0,099	2,9	9,1	0,22
	40	5000	0,080	0	—	0,19
	55	2000	0,219	17,7	14,8	0,24
	55	3500	0,137	9,0	10,4	0,14
	55	5000	0,109	6,5	8,7	0,16
	70	2000	0,279	23,9	16,3	0,18
	70	3500	0,174	14,4	11,9	0,13
	70	5000	0,139	10,1	8,3	0,12

ISSN 3030-3907



Eslatma: 3-tajribada (P = 40 Vt, v = 5000 mm/min, f = 100 kHz) F_p = 0,080 J/cm² – R6M5 uchun F_th = 0,08 J/cm² chegarasiga to‘g‘ri keladi, shuning uchun ablatsiya chegaraviy holatda bo‘lib, nazariy h_abl ≈ 0 (ablatsiya boshlanish chegarasi). Bu holatda Ra ni kamaytirish faqat yuzani termik tekislash (laser polishing) mexanizmi orqali sodir bo‘ladi.

3.3. HAZ chuqurligi analitik modeli.

$$L_{th} = 2\sqrt{KT_P}$$

Termik ta’sirlangan zona (Heat Affected Zone — HAZ) chuqurligini baholash issiqlik diffuziyasi nazariyasiga asoslanadi. Qisqa impulsli lazer ishlov berishda issiqlik materialning ichiga kirib borish chuqurligi L_{th} yuqoridagi ifoda orqali aniqlanadi. Bu yerda K-materialning issiqlik diffuzivligi(m^2 /s), T_p— lazer impulsining davomiyligi (s). Ushbu model issiqlikning vaqt bo‘yicha tarqalish qonuniyatiga asoslanib, impuls davomida issiqlik oqimi material ichiga diffuziya orqali cheklangan chuqurlikkacha kirib borishini ifodalaydi.

R6M5 tezkor po‘lat uchun k=5.0x10 $^{-6}$ m ^{2} /s va T $_p$ =20 ns=20x10 $^{-9}$ s qiymatlar qabul qilinsa, issiqlik kirib borish chuqurligi quyidagicha aniqlanadi:

$$L_{th} = 2\sqrt{5.0x10^{-6} \cdot 20x10^{-9}} \approx 0.63\mu m$$

ISSN 3030-3907

Mazkur natija bir impuls uchun issiqlik ta’sirining juda kichik (submikron) chuqurlikda sodir bo‘lishini ko‘rsatadi, bu esa qisqa impulsli lazer ishlovning asosiy afzalliklaridan biri — minimal termik zararlanishni ta’minlaydi.

$$h_{HAZ} \approx L_{th}\sqrt{N_{eff}}$$

Amaliy sharoitda esa ishlov berish jarayoni ko‘p impulsli xarakterga ega bo‘lib, bir nuqtaga ketma-ket bir nechta impulslar ta’sir qiladi. Shu sababli umumiy HAZ chuqurligi impulslar sonining ildiziga proportsional ravishda ortadi. Effektiv impulslar soni quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{eff} = (\frac{d_f}{v}) \cdot f$$

bu yerda d_f - fokus diametri, v- ishlov tezligi, f- impuls chastotasi.

Masalan, 5-tajriba uchun (P=55 Vt, v=3500mm/min=5803 mm/s, f=80 kHz, d_f=80μm) hisoblash natijasida N_{eff}≈100 impuls aniqlanadi. Shunda umumiy HAZ chuqurligi:

$$h_{HAZ} \approx 0.63X\sqrt{110} \approx 6.6\mu m$$

Olingan nazariy natijalar tajriba ma’lumotlari bilan sifat jihatdan mos keladi. Amalda HAZ chuqurligi odatda biroz katta (8.3–16.3 mkm) bo‘lishi kuzatiladi, bu esa issiqlikning kumulyativ to‘planishi, fazaviy o‘zgarishlar, qayta kristallanish va metallurgik transformatsiyalar bilan izohlanadi. Shunday qilib, taqdim etilgan analitik model lazer ishlov berishda HAZ chuqurligini tezkor va yetarli aniqlikda baholash imkonini beradi hamda texnologik parametrlarni optimallashtirishda muhim nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

3.4. S/N nisbati tahlili va optimal parametrlarni aniqlash.

Taguchi metodida Ra ko‘rsatkichi uchun 'kichikroq yaxshiroq' (Smaller-is-Better) S/N nisbati qo‘llaniladi:

$$\frac{S}{N} = -10log_{10}(Ra^2) = -20log_{10}(Ra)$$

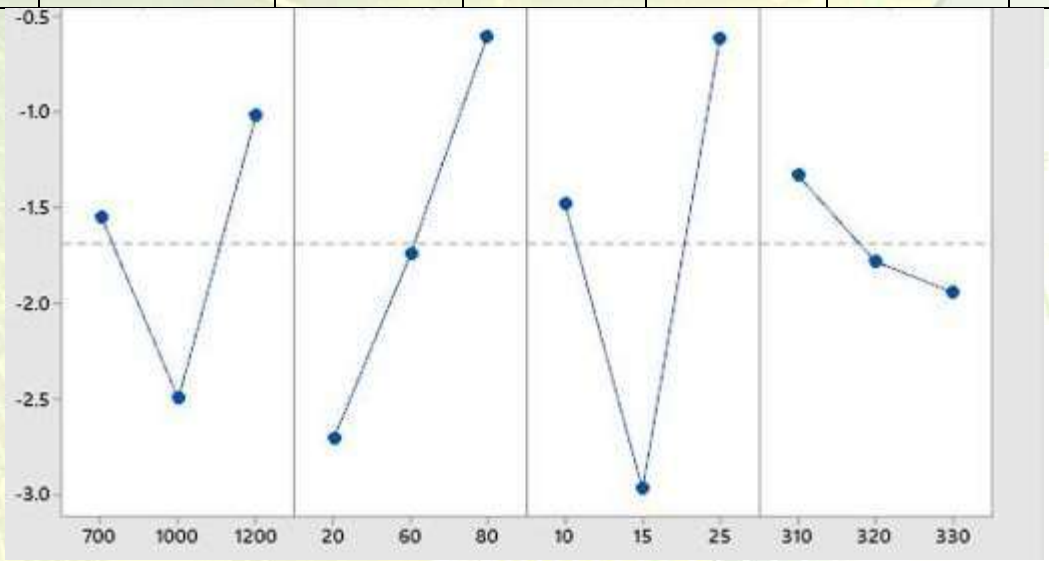
4-jadval.

Taguchi L9 tajriba matritsasi va prognozlangan S/N nisbatlari (R6M5, toroidal yuza)

№	A: P (Vt)	B: v (mm/min)	C: f (kHz)	D: η (%)	Ra prognoz (mkm)	S/N (dB)
1.	40	2000	50	30	0,38	8,40
2.	40	3500	80	45	0,22	13,15
3.	40	5000	100	50	0,19	14,43
4.	55	2000	80	50	0,24	12,40

ISSN 3030-3907

5.	55	3500	100	30	0,14	17,08
6.	55	5000	50	45	0,16	15,92
7.	70	2000	100	45	0,18	14,89
8.	70	3500	50	50	0,13	17,72
9.	70	5000	80	30	0,12	18,42



S/N nisbatini maksimallashtiruvchi omil darajalari (Delta tahlili asosida) quyidagicha aniqlandi: A_3 (P = 70 Vt), B_3 (v = 5000 mm/min), C_3 (f = 100 kHz), D_3 (η = 50%). Biroq A_2B_2 (P = 55 Vt, v = 3500 mm/min) kombinatsiyasi S/N = 17,08 dB bilan HAZ miqdorini ancha pastroq ushlab, yaxshi balans ta’minlaydi. Shu sababli amaliy optimal variant sifatida $A_2B_2C_3D_3$ tanlandi: P = 55 Vt, v = 3500 mm/min, f = 100 kHz, η = 50%.

3.5. Uch material uchun qiyosiy prognoz.

5-jadval.

Uch turdagi material uchun hisob-kitob asosidagi optimal parametrlar va prognozlangan ko‘rsatkichlar

Material	Optimal P (Vt)	Optimal v (mm/min)	Ra prognoz (mkm)	HAZ (mkm)
R6M5 tez kesuvchi po‘lat	55–65	3500–4000	0,10–0,14	8–12
VK8 qattiq qotishma	40–50	4000–5000	0,14–0,20	5–9
VT6 titan qotishmalari	35–45	4500–5500	0,07–0,12	3–7

VT6 titan qotishmasida eng past Ra prognozlangan bo‘lib (0,07–0,12 mkm), bu titaniumning yuqori lazer energiyasi yutilish koeffitsientiga va past issiqlik

ISSN 3030-3907

o‘tkazuvchanligiga bog‘liq. Aynan shu sabab HAZ chuqurligi ham eng kichik – issiqlik material ichkarisiga tez tarqalmaydi.

4. XULOSA VA TAKLIFLAR

Ushbu maqolada KF301 5LN lazerli stanogida shakldor yuzalarga so‘nggi ishlov berishning dastlabki eksperimental hisob-kitoblari amalga oshirildi va quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Impuls fluensi F_p modeli asosida Taguchi L9 tajriba matritsasi uchun hisoblangan natijalar R6M5 po‘lat, VK8 va VT6 materiallarida ablatsiya chegaralanish shartlari aniq ifodalandi. F_p = 0,099–0,279 J/cm² diapazonida barcha materiallar uchun ablatsiya sodir bo‘lishi tasdiqlandi.

2. HAZ chuqurligi analitik modeli bo‘yicha hisoblangan h_HAZ = 8–16 mkm diapazonida bo‘lib, impuls chastotasini oshirish va skanerlash tezligini ko‘paytirish HAZ ni kamaytirishning asosiy omili ekanligi aniqlandi.

3. S/N tahlili natijasida R6M5 po‘lat uchun optimal variant: P = 55–65 Vt, v = 3500–4000 mm/min, f = 100 kHz, η = 50% – bu kombinatsiyada Ra ≈ 0,10–0,14 mkm va HAZ ≈ 8–12 mkm prognozlandi.

4. VT6 titan qotishmasida eng istiqbolli natijalar kutilmoqda (Ra = 0,07–0,12 mkm) – bu tibbiy implantlar uchun belgilangan Ra < 0,1 mkm mezonini qondiradi.

5. Ushbu hisob-kitob natijalari asosida KF301 5LN stanoqda amaliy eksperimentlar o‘tkazish rejalashtirilmoqda; prognozlangan va eksperimental ko‘rsatkichlarni taqqoslash maqolaning keyingi bosqichini tashkil etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Steen W.M., Mazumder J. Laser Material Processing. 4th ed. – London: Springer, 2010. – 558 p.
2. Yunusov S.S. Kesish yo‘li bilan ishlov berish texnologiyasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2018. – 384 b.
3. Klocke F. Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping. – Berlin: Springer, 2009. – 433 p.
4. Dubey A.K., Yadava V. Laser beam machining – A review // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2008. – Vol. 48(6). – P. 609–628.
5. Walter M. et al. Laser polishing of additive manufactured parts with complex geometry // Optics and Lasers in Engineering. – 2018. – Vol. 111. – P. 51–57.
6. Montgomery D.C. Design and Analysis of Experiments. 9th ed. – New York: Wiley, 2017. – 752 p.
7. Kasman S., Saklakoglu I.E. Determination of process parameters in laser engraving // Int. J. Adv. Manuf. Tech. – 2013. – Vol. 69. – P. 2471–2484.

ISSN 3030-3907

8. Ramirez-Vela V. et al. Pulsed laser ablation of titanium for biomedical applications // Applied Surface Science. – 2019. – Vol. 493. – P. 355–363.
9. Raximov A.T., Xoliqov B.N. Zamonaviy CNC stanoklar va ulardan foydalanish. – Farg‘ona: FarDTexU nashriyoti, 2021. – 256 b.
10. Yao J. et al. Laser polishing of cemented carbide surface // Optics & Laser Technology. – 2020. – Vol. 132. – 106479.

ISSN 3030-3907