ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 4

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

QIYIN ISHLOV BERILADIGAN MATERIALLARNI PARMALASHDA MINIMAL MOYLASH (MQL) PARAMETRLARINI SIRT SIFATIGA TA'SIRINI TADQIQ ETISH

Umarov Talibjon Umarovich
"Mashinasozlik texnologiyasi"kafedrasi, Proffesori Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
Ruzmetov Abror Akmal o'g'li
"Mashinasozlik texnologiyasi" kafedrasi Magistratura o'quvchisi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Mazkur maqolada peroli parma yordamida qiyin ishlov beriladigan konstruktsion materiallar (Inconel 718 va VT6)ni parmalash jarayonida minimal miqdorda moylash (MQL) texnologiyasi parametrlarining sirt g'adir-budirligiga (Ra) ta'siri keng yoritilgan. Tadqiqot jarayonida havo bosimi va moy sarfi miqdorining sirt morfologiyasini shakllantirishdagi fizik-mexanik qonuniyatlari kompleks o'rganildi. Natijalar asosida parmalash jarayonining energetik samaradorligini oshirish va mahsulot sirt sifatini 7-klass darajasiga yetkazishga qaratilgan optimal texnologik rejimlar taklif qilindi.

Kalit so'zlar: Minimal miqdorda moylash (MQL), peroli parma, qiyin ishlov beriladigan materiallar, Inconel 718, VT6 titan qotishmasi, sirt g'adir-budirligi (Ra), havo bosimi, moy sarfi, aerozol penetratsiyasi, tribologik parda, chip evakuatsiyasi (qirindi chiqarish), sirt morfologiyasi.

Аннотация. В статье подробно рассмотрены физико-механические основы влияния параметров технологии минимального количества смазки (MQL) на шероховатость поверхности (Ra) при сверлении труднообрабатываемых материалов (Inconel 718 и BT6) перьевым сверлом. Исследованы закономерности влияния давления воздуха и расхода масла на формирование морфологии поверхности. На основе полученных результатов предложены оптимальные технологические режимы, направленные на повышение энергетической эффективности процесса и обеспечение качества поверхности до 7-го класса.

Ключевые слова: Минимальное количество смазки (МКС), перовое сверло, труднообрабатываемые материалы, Inconel 718, титановый сплав BT6, шероховатость поверхности (Ra), давление воздуха, расход масла, проникновение аэрозоля, трибологическая пленка, эвакуация стружки, морфология поверхности.

Abstract. This paper presents a comprehensive study of the physical and mechanical effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) parameters on surface roughness (Ra) when drilling difficult-to-machine materials (Inconel 718

ISSN 3030-3907

and VT6) using a feather drill. The laws governing the influence of air pressure and oil flow rate on surface morphology formation were investigated in detail. Based on the results, optimal technological regimes aimed at increasing energy efficiency and improving surface quality to the 7th-grade level were proposed.

Keywords: Minimum Quantity Lubrication (MQL), spade drill, difficult-to-cut materials, Inconel 718, VT6 titanium alloy, surface roughness (Ra), air pressure, oil flow rate, aerosol penetration, tribological film, chip evacuation, surface morphology.

KIRISH.

Zamonaviy mashinasozlik, aerokosmik texnika va aviatsiya sanoatining jadal rivojlanishi yuqori ekspluatatsion xususiyatlarga ega bo‘lgan materiallarni qo‘llashni talab etmoqda. Ayniqsa, Inconel 718 kabi nikel asosli superqotishmalar va VT6 rusumli titan qotishmalari o‘zining o‘ta yuqori mexanik mustahkamligi, agressiv muhitdagi korroziyabardoshligi hamda yuqori haroratlarda o‘z xossalarini saqlab qolishi bilan strategik ahamiyatga ega. Biroq, ushbu materiallarning fizik-mexanik xususiyatlari, xususan, issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentining pastligi ularga mexanik ishlov berish jarayonini nihoyatda murakkablashtiradi. Parmalash jarayonida issiqlikning material ichiga tarqalishi qiyin bo‘lganligi sababli, barcha termik energiya kesish zonasida to‘planib, haroratning 900-1000°C gacha ko‘tarilishiga sabab bo‘ladi. Bu holat peroli parmalarning kesuvchi qirralarida intensiv termik yuklanishni yuzaga keltirib, asbobning mikrotuzilmasi o‘zgarishiga, plastik deformatsiyaga va muddatidan oldin yeyilishiga olib keladi.

Teshik ochish jarayonining yopiq zonada kechishi muammoni yanada chuqurlashtiradi, chunki hosil bo‘lgan issiqlik va qirindi teshik ichidan samarali chiqib ketmasa, sirt morfologiyasi va o‘lcham aniqligi sezilarli darajada yomonlashadi. Uzoq yillar davomida ushbu muammoni hal etish uchun an’anaviy sovituvchi-moylovchi suyuqliklar (SOY) katta bosim ostida oqim ko‘rinishida ishlatib kelindi. Biroq, zamonaviy ishlab chiqarishning ekologik standartlari (ISO 14001) va iqtisodiy samaradorlikka bo‘lgan talablari an’anaviy usullarning kamchiliklarini — suyuqlikni utilizatsiya qilish xarajatlari yuqoriligi, ishchi salomatligiga zarari va atrof-muhitning ifloslanishini yaqqol ko‘rsatib berdi.

Shu nuqtai nazardan, hozirgi kunda Minimal miqdorda moylash (MQL) texnologiyasi an’anaviy sovitish usullariga eng samarali muqobil yechim sifatida namoyon bo‘lmoqda. MQL tizimida siqilgan havo va mikron darajasidagi moy zarrachalari aralashmasi kesish zonasidagi ishqalanish koeffitsiyentini tribologik jihatdan boshqarish imkonini beradi. Bunda havo bosimi aerozolning penetratsiya qobiliyatini, moy miqdori esa himoya pardasining barqarorligini ta’minlovchi asosiy texnologik omillar hisoblanadi. Mazkur tadqiqot ishining maqsadi — qiyin

ISSN 3030-3907

ishlov beriladigan konstruktsion materiallarni peroli parma bilan parmalashda aynan MQL parametrlarining sirt g‘adir-budirligiga ta’sir qilish qonuniyatlarini ilmiy asoslash va optimal ishlov berish rejimlarini ishlab chiqishdan iborat.

TADQIQOT METODI

Mazkur tadqiqot eksperimental va statistik tahlil usullariga asoslangan holda bajarildi Tadqiqotning asosiy maqsadi MQL tizimi parametrlarining sirt g‘adir budirligiga ta’sirini miqdoriy baholash hamda optimal texnologik rejimlarni aniqlashdan iborat bo‘ldi Ish jarayonida nazariy tahlil, laboratoriya eksperimenti va matematik modellashtirish usullari kompleks qo‘llanildi

Tadqiqot obyekti sifatida qiyin ishlov beriladigan konstruktsion materiallar tanlandi Bular Inconel 718 va VT6 titan qotishmasidan iborat Ushbu materiallar yuqori mustahkamlik, past issiqlik o‘tkazuvchanlik va yuqori adgezion xususiyatlari bilan tavsiflanadi Bu esa ularni parmalash jarayonini murakkablashtiradi va kesish zonasida yuqori termik yuklanish hosil qiladi

Eksperimental ishlar vertikal frezalash va parmalash imkoniyatiga ega bo‘lgan universal metall kesish dastgohida olib borildi Parmalash operatsiyasi diametri 12 mm bo‘lgan AlCrN qoplamali qattiq qotishmali peroli parma yordamida bajarildi Asbob materiali yuqori issiqlikka chidamliligi va aşinishga bardoshliligi bilan tanlandi

MQL tizimi siqilgan havo va o‘simlik asosidagi moy aralashmasini mikron o‘lchamdagi aerozol ko‘rinishida kesish zonasiga yetkazib beruvchi qurilma orqali amalga oshirildi Aerozol oqimi tashqi va ichki kanalli usulda sinovdan o‘tkazildi Havo bosimi va moy sarfi maxsus regulyatorlar yordamida nazorat qilindi.

Tajriba davomida asosiy o‘zgaruvchi parametrlar sifatida havo bosimi va moy sarfi qabul qilindi Havo bosimi 0.4 dan 0.7 MPa gacha oraliqda o‘zgartirildi Moy sarfi esa 40 dan 160 ml soatgacha diapazonda tanlandi Kesish tezligi va surish qiymatlari materialning tavsiya etilgan ishlov berish rejimlariga mos holda barqaror saqlandi Bu esa MQL parametrlarining ta’sirini aniq baholash imkonini berdi.

Har bir tajriba kombinatsiyasi kamida uch marotaba takrorlandi va o‘rtacha arifmetik qiymat qabul qilindi Olingan natijalar statistik jihatdan qayta ishlanib dispersiya va regressiya tahlili bajarildi Natijalarning ishonchlilik darajasi 95 foizlik ehtimollik bilan baholandi

Sirt g‘adir budirligi kontakt tipidagi profilometr yordamida o‘lchandi Har bir namunada bir necha nuqtada o‘lchov o‘tkazilib o‘rtacha Ra qiymati aniqlandi O‘lchash jarayonida xalqaro standart talablariga mos keluvchi parametrlar qo‘llanildi.

ISSN 3030-3907

Sirt morfologiyasi va deformatsiyalangan qatlam chuqurligi skanerlovchi elektron mikroskop yordamida tahlil qilindi Mikroyoriqlar adgezion o‘simtalar va plastik deformatsiya izlari mikrotuzilma darajasida o‘rganildi Qo‘shimcha ravishda mikroqattiqlik o‘lchovlari bajarilib sirt qatlamining qattiqlashish darajasi baholandi. Asbob yeyilishi optik kattalashtiruvchi qurilma yordamida nazorat qilindi Kesuvchi qirraning yeyilish kengligi o‘lchanib uning MQL parametrlariga bog‘liqligi aniqlashtirildi Energetik ko‘rsatkichlarni baholash uchun kesish jarayonidagi moment va quvvat sarfi kuzatildi. Eksperimental ma’lumotlar asosida sirt g‘adir budirligining ko‘p omilli matematik modeli ishlab chiqildi Modelda kesish tezligi surish havo bosimi va moy sarfi o‘zgaruvchilar sifatida kiritildi Olingan model determinatsiya koeffitsiyenti yuqori bo‘lgan ishonchli bog‘lanishni ko‘rsatdi.

MQL TIZIMINING ISHLASH PRINSIPI VA PARAMETRLARI

MQL (Minimal Quantity Lubrication) texnologiyasi an’anaviy sovitish usullaridan tubdan farq qilib, kesish zonasida “moyli tuman” (aerozol) effekti orqali ta’sir ko‘rsatadi. Bu texnologiyaning asosi moylash materialining siqilgan havo oqimi yordamida dispersiyalanib, mikron o‘lchamdagi zarrachalar holatida kesish nuqtasiga yetkazilishidan iborat.

1. Aerozol hosil bo‘lishi va yetkazib berish mexanizmi

MQL tizimi ishchi suyuqlikni aerozol holatiga keltirishda asosan ikki xil usuldan foydalanadi:

Tashqi aralashtirish: aerozol purkagich uchligining chiqish qismida hosil bo‘ladi.

Ichki aralashtirish: moy va havo aralashmasi maxsus rezervuarda shakllanib, asbob ichidagi kanallar (internal cooling channels) orqali bevosita kesuvchi qirraga uzatiladi.

Peroli parma bilan ishlashda ichki kanalli tizimlar samaraliroq hisoblanadi, chunki ular aerozolning teshik tubiga yo‘naltirilgan holda bosim yo‘qotishlarisiz yetib borishini ta’minlaydi.

2. Tizimning asosiy parametrlari va ularning fizik roli

Tizimning samaradorligi quyidagi o‘zgaruvchilarning o‘zaro nisbati bilan belgilanadi:

Havo bosimi (P). Bu parametr aerozol zarrachalarining kinetik energiyasini belgilaydi. Yuqori bosim (0.5–0.7 MPa) zarrachalarni kesish zonasidagi aerodinamik qarshilikni yengib o‘tishga va asbob-detal kontakt yuzasidagi mikroskopik tirqishlarga penetratsiya qilishiga imkon beradi. Shuningdek, havo oqimi teshik tubidan qirindilarni yuqori tezlikda chiqarib tashlash vazifasini bajaradi, bu esa sirtning qirindi tomonidan qayta tirnalishini oldini oladi.

ISSN 3030-3907

Moy sarfi (Q). Moy sarfi odatda 40–160 ml/soat oralig‘ida bo‘lib, kesish yuzasida hosil bo‘ladigan molekulyar moy pardasining qalinligini belgilaydi. Ushbu parda tribologik nuqtai nazardan asbob va detal o‘rtasidagi ishqalanish koeffitsiyentini keskin kamaytiradi. Moyning kam miqdorda berilishi uning kesish zonasida to‘liq bug‘lanishiga imkon beradi, bu esa qo‘shimcha sovitish effektini ta’minlaydi.

3. Peroli parma bilan ishlashning o‘ziga xos xususiyatlari

Peroli parmalarning konstruksiyasi qirindi chiqib ketishi uchun katta hajmdagi ariqchalarga ega. MQL sharoitida aerozol oqimi ushbu ariqchalar bo‘ylab harakatlanib, quyidagi vazifalarni bajaradi:

Termik zarbani kamaytirish. An’anaviy usulda sovituvchi suyuqlik to‘satdan berilganda asbobda mikroyoriqlar hosil bo‘lishi mumkin. MQL sharoitida esa sovitish jarayoni bir tekisda kechadi.

Ikkinchi darajali kesishni cheklash. Teshik tubida qolib ketgan qirindi parmaning yon qirralari bilan detal devori orasida qisilib qoladi. MQL tizimidagi havo bosimi ushbu qirindilarni markazdan qochma kuch ta’siri bilan yuqoriga haydaydi.

Eslatma: Inconel 718 va VT6 kabi yopishqoq materiallarni parmalashda aerozol tarkibidagi havo bosimining yetarli bo‘lmasligi parma ariqchalarining qirindi bilan to‘lib qolishiga va asbobning teshik ichida sinishiga sabab bo‘lishi mumkin.

TADQIQOT METODIKASI VA EKSPERIMENTAL QISM

Ushbu tadqiqot ishida qiyin ishlov beriladigan konstruktsion materiallarni parmalash jarayonida Minimal miqdorda moylash tizimining sirt sifati va g‘adir-budirlikka ta’sirini aniqlash maqsad qilindi. Eksperiment diametri o‘n ikki millimetr bo‘lgan peroli parmalar yordamida o‘tkazildi. Parmalashda ishlatilgan asboblar qattiq qotishmali bo‘lib, AlCrN qoplamasi bilan qoplangan edi. Bu qoplama yuqori issiqlik va ishqalanish sharoitlariga chidamli bo‘lib, kesish zonasida parma sirtining tez eskirishining oldini oladi.

Tadqiqotda quyidagi parametrlar o‘zgaruvchi sifatida tanlandi. Havo bosimi parametr sifatida 0.4 dan 0.7 megapaskalacha o‘zgartirildi. Ushbu diapazon aerozol zarrachalarining kesish zonasiga yetib borish tezligini va penetratsiya darajasini aniqlash uchun tanlandi. Moy sarfi esa 40 dan 160 millilitr/soatgacha o‘zgartirildi. Bu parametr molekulyar moy pardasining qalinligini va sirt yuzasidagi ishqalanish koeffitsiyentini baholash imkonini berdi.

Tadqiqotda ishlatilgan materiallar Inconel 718 nikel asosli superqotishmasi va VT6 titan qotishmasi bo‘ldi. Inconel 718 o‘zining yuqori qattiqligi va abraziv xususiyati bilan mashinasozlikda strategik ahamiyatga ega, VT6 esa yuqori harorat

ISSN 3030-3907

va yuqori mexanik yuk ostida o‘z xossalarini saqlab qoladi. Har ikki materialning fizik-mexanik xususiyatlari ularni mexanik ishlov berish jarayonida murakkab qiladi, shuning uchun sirt sifatini barqaror saqlash va asbob eskirishini kamaytirish muhim ahamiyat kasb etdi.

Sirt g‘adir-budirligi Ra qiymati profilometr yordamida o‘lchandi. Tajriba natijalari asosida sirt sifatining ko‘p omilli bog‘lanish modeli ishlab chiqildi. Ushbu modelda havo bosimi, moy sarfi, kesish tezligi va dastlabki sirt holati kabi parametrlar o‘zaro ta’sirini hisobga olgan holda Ra qiymatini oldindan baholash imkonini beradi. Model quyidagi ko‘rinishda ifodalandi:

$$R_a = 0.942 \cdot V^{-0.16} \cdot S^{0.74} \cdot P^{-0.52} \cdot Q^{-0.19}$$

Bu yerda V kesish tezligi, S dastlabki sirt xossalari, P havo bosimi, Q esa moy sarfini ifodalaydi. Model natijalari ko‘rsatdiki, havo bosimi va moy sarfi sirt morfologiyasini shakllantirishda eng muhim omillar hisoblanadi. Havo bosimi ortishi aerozol zarrachalarini kesish zonasiga chuqur kirib borishini ta’minlab, teshik tubidagi qirindilarni samarali chiqarib yuboradi. Moy sarfi esa himoya pardasini barqaror saqlab, ishqalanish va termik zarbani kamaytiradi.

Shuningdek, eksperiment davomida sirt morfologiyasini skanerlovchi elektron mikroskop yordamida ham tahlil qilish rejalashtirildi. SEM tahlillari mikroyoriqlar, plastiklik yoyilishi va materialning work hardening darajasini aniqlash imkonini berdi. Ushbu usul sirtning 7-klass sifat standartlariga javob berishini tekshirishda muhim rol o‘ynadi.

Eksperiment natijalari asosida optimal MQL parametrlarini aniqlash, sirt sifatini yaxshilash va energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan tavsiyalar ishlab chiqildi. Shu bilan birga, tahlil qilinadigan parametrlar kombinatsiyasi turli xil qiyin ishlov beriladigan materiallarga moslashtirilishi mumkinligi ko‘rsatildi.

TAJRIBA NATIJALARI VA MUHOKAMASI

O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, MQL tizimidagi havo bosimi (P) va moy sarfi (Q) parametrlarining o‘zaro mutanosibligi sirt g‘adir-budirligini (Ra) shakllantirishda fundamental rol o‘ynaydi. Ko‘p omilli tahlil natijalariga ko‘ra, sirt sifatiga eng katta ta’sir havo bosimiga to‘g‘ri keladi, undan keyingi o‘rinda moy sarfi turadi.

1. Havo bosimining (P) sirt sifatiga ta’siri va fizik asosi

Havo bosimi aerozol zarrachalarining kinetik energiyasini hamda ularning teshik tubiga yetib borish qobiliyatini belgilovchi asosiy omildir. Tajribalar davomida bosim 0.4 MPa dan 0.6 MPa gacha oshirilganda Inconel 718 qotishmasi uchun Ra ko‘rsatkichi o‘rtacha 22 foizga, VT6 titan qotishmasi uchun esa 18 foizga yaxshilangani aniqlandi.

Ushbu ijobiy o‘zgarish quyidagi fizik jarayonlar bilan izohlanadi:

ISSN 3030-3907

Penetratsiya effekti. Yuqori bosimli havo oqimi moy mikrozarrachalarini parmaning kesuvchi qirrasi va detal orasidagi mikron o‘lchamdagi tirqishlarga samarali yetkazib beradi. Natijada asbobning orqa yuzasidagi ishqalanish kamayadi va sirtda termik kuyish izlari hosil bo‘lishi oldi olinadi.

Evakuatsiya jarayoni. Parmalashda teshik tubida to‘planib qolgan qirindilar ikkinchi darajali kesish hisobiga sirtni tirnab, g‘adir-budirlikni oshiradi. Yuqori bosim 0.5 MPa dan yuqori bo‘lganda qirindilar parma ariqchalari bo‘ylab majburiy ravishda chiqarib yuboriladi, natijada teshik devorlarining silliqligi saqlanadi.

Turbulent oqim va konvektiv sovitish. Bosim ortishi bilan aerozol oqimi turbulent rejimga o‘tadi. Bu kesish zonasida issiqlik almashinuvini jadallashtirib, harorat gradientini kamaytiradi. Natijada asbobning termik deformatsiyasi va mikrostrukturaviy o‘zgarishlari cheklanadi.

Qo‘shimcha ravishda aniqlanishicha, havo bosimining optimal diapazondan ortiq oshirilishi aerozolning kesish zonasidan qaytib sochilishiga va moy plyonkasining barqarorligi pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli bosimni nazoratli oshirish muhim hisoblanadi.

2. Moy sarfining (Q) tribologik va issiqlik balansi tahlili

Moy sarfi kesish zonasida hosil bo‘ladigan himoya pardasining barqarorligini ta’minlaydi. Tajribada moy sarfi 40 ml/soatdan 120 ml/soatgacha oshirilganda Ra qiymatining izchil kamayishi kuzatildi. Bu ishqalanish koeffitsiyentining pasayishi va adgezion hodisalarning kamayishi bilan bog‘liq.

Biroq moy sarfi 120 ml/soatdan oshirilganda, masalan 160 ml/soatgacha yetkazilganda, Ra qiymatida barqarorlashuv holati kuzatildi.

Gidrodinamik chegara. Ma’lum bir miqdordan so‘ng kesish yuzasida moy pardasi maksimal qalinlikka erishadi. Undan ortiqcha moy berilishi ishqalanishni sezilarli kamaytirmaydi, balki aerozolning ortiqcha quyuqlashishiga olib keladi.

Materialga xoslik. Inconel 718 uchun yuqori moy sarfi 130 ml/soat atrofida maqsadga muvofiq bo‘lib, bu nikel asosli qotishmaning abraziv yeyilish xususiyatini kompensatsiya qiladi. VT6 titan qotishmasida esa yopishqoqlik yuqori bo‘lgani sababli moydan ko‘ra havo oqimining stabil penetratsiyasi muhimroq omil hisoblanadi.

Energetik ko‘rsatkichlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, optimal Q qiymatlarida kesish momenti 8–12 foizga kamaygan. Bu esa jarayonning umumiy energiya sarfini pasaytiradi va asbobning xizmat muddatini oshiradi.

3. Sirt morfologiyasi va mikroskopik (SEM) tahlillar

Skanerlovchi elektron mikroskop yordamida olingan natijalar quruq parmalash va MQL sharoitidagi ishlov o‘rtasidagi sezilarli farqlarni ko‘rsatdi.

ISSN 3030-3907

Mikroyoriqlar va material yoyilishi. MQL qo‘llanilganda sirtda mikroyoriqlar hamda plastik yoyilish 30–35 foizga kamaygani aniqlandi. Bu kesish zonasidagi maksimal haroratning 700°C dan oshmaganligi bilan izohlanadi, quruq usulda esa harorat 900–950°C gacha yetgan.

Adgezion o‘simtalar. VT6 titan qotishmasini parmalashda MQL sharoitida built-up edge hodisasi deyarli kuzatilmadi. Natijada teshik devorlarida material ko‘chishi kamaydi va sirt sifati 7-klass darajasiga yetkazildi, ya’ni Ra 1.6 mkm dan past bo‘ldi.

Sirt qatlamining qattiqlashishi. SEM va mikroqattiqlik o‘lchovlari natijalariga ko‘ra, MQL muhitida hosil bo‘lgan deformatsiyalangan qatlam chuqurligi 15–20 foizga kamroq bo‘ldi. Bu detalning charchash mustahkamligini oshiradi va ekspluatatsion muddatini uzaytiradi.

Qo‘shimcha ravishda aniqlanishicha, MQL sharoitida sirtning mikrogeometrik profili muntazamroq bo‘lib, to‘lqinsimonlik amplitudasi pasaygan. Bu ayniqsa yuqori aniqlik talab qilinadigan aerokosmik detallar uchun muhim ahamiyatga ega.

Umuman olganda, tajriba natijalari MQL parametrlarini optimallashtirish orqali nafaqat sirt g‘adir-budirligini kamaytirish, balki issiqlik yuklanishini, asbob yeyilishini va energiya sarfini ham kompleks ravishda boshqarish mumkinligini ko‘rsatdi.

TEXNOLOGIK TAVSIYALAR VA OPTIMALLASHTIRISH

Tadqiqot natijalari asosida sirt sifatini 7-klass darajasiga (Ra < 1.6 mkm) ta’minlash va jarayon barqarorligini oshirish maqsadida quyidagi kengaytirilgan texnologik tavsiyalar ishlab chiqildi.

1. Titan qotishmalari (VT6) uchun

Titan qotishmalarining yopishqoqligi va asbobga adgeziyasi yuqori bo‘lgani sababli built-up edge hosil bo‘lish ehtimoli katta. Shu bois P = 0.55 MPa va Q = 80 ml/soat rejimi optimal deb topildi.

Mazkur sharoitda havo bosimi moyli tumanning kesish zonasiga barqaror kirib borishini ta’minlaydi va titan zarrachalarining kesuvchi qirraga yopishib qolishini kamaytiradi. Moy sarfi ishqalanish koeffitsiyentini pasaytirib, plastik deformatsiyani cheklaydi.

Qo‘shimcha ravishda surish tezligini me’yoriy darajada ushlab turish tavsiya etiladi, chunki haddan tashqari yuqori surish adgezion hodisalarni kuchaytirishi mumkin.

2. Nikel asosli qotishmalar (Inconel 718) uchun

ISSN 3030-3907

Inconel 718 yuqori qattiqlik va abraziv xususiyatga ega bo‘lgani sababli kesish zonasida intensiv issiqlik ajraladi. Shu sababli P = 0.65 MPa va Q = 130 ml/soat rejimi tavsiya etiladi.

Yuqori havo bosimi aerozolning penetratsiya qobiliyatini oshiradi va qirindilarni samarali evakuatsiya qiladi. Moy sarfining nisbatan yuqori qiymati kesish zonasidagi ishqalanishni kamaytiradi hamda haroratni barqarorlashtiradi. Aniqlanishicha, ushbu parametrlar ostida asbob yeyilishi 15–20 foizga kamayadi va teshik devorlarida termik kuyish izlari kuzatilmaydi.

3. MQL aerozolining yo‘nalishi va yetkazish tizimi

Purkagich uchini parmaning qirindi chiqarish ariqchasiga nisbatan 35–40° burchak ostida o‘rnatish aerozolning teshik tubiga maksimal darajada yetib borishini ta’minlaydi. Bu sirt sifatini qo‘shimcha 8–10 foizga yaxshilaydi.

Ichki kanalli MQL tizimlaridan foydalanish chuqur teshiklarda samaradorlikni yanada oshiradi, chunki aerozol to‘g‘ridan-to‘g‘ri kesuvchi qirraga uzatiladi va bosim yo‘qotishlari kamayadi.

4. Chuqur teshiklarni parmalashda tizimli yondashuv

L/D > 5 bo‘lgan hollarda havo bosimini bosqichma-bosqich oshirib borish tavsiya etiladi. Amaliy jihatdan har 10 mm chuqurlik uchun bosimni 0.05 MPa ga oshirish qirindining tiqilib qolishini oldini oladi.

Shuningdek, chuqur teshiklarda impulsli havo berish rejimi qo‘llanilishi mumkin, bu qirindi chiqarishni yaxshilaydi va issiqlik to‘planishini kamaytiradi.

5. Qo‘shimcha optimallashtirish omillari

Kesish tezligi va surish parametrlari MQL tizimi bilan moslashtirilishi zarur. Juda past tezlikda moy plyonkasi yetarli darajada shakllanmasligi mumkin, juda yuqori tezlikda esa harorat keskin ortadi.

Aerozol tomchilari dispersiyasining bir xil bo‘lishi muhim omil hisoblanadi. Zarrachalar diametri 5–50 mkm oralig‘ida bo‘lganda tribologik samaradorlik maksimal darajada kuzatiladi.

Ekologik va iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan MQL qo‘llanilishi an’anaviy sovituvchi suyuqliklar sarfini 90–95 foizgacha kamaytiradi, ishlab chiqarish maydonida zararli aerozol konsentratsiyasini pasaytiradi va utilizatsiya xarajatlarini qisqartiradi.

Umuman olganda, MQL parametrlarini kompleks optimallashtirish orqali sirt sifatini yaxshilash, asbob xizmat muddatini uzaytirish, energiya sarfini kamaytirish va ishlab chiqarish jarayonining ekologik xavfsizligini oshirish mumkin.

XULOSA

ISSN 3030-3907

Qiyin ishlov beriladigan Inconel 718 va VT6 qotishmalarini peroli parma bilan parmalash jarayonida MQL texnologiyasini qo‘llash bo‘yicha o‘tkazilgan kompleks tadqiqotlar bir qator muhim ilmiy va amaliy xulosalar chiqarishga imkon beradi. Tadqiqot natijalari shuni tasdiqladiki, MQL tizimining parametrlari, xususan havo bosimi sirt sifatini shakllantirishda eng yuqori ulushga, taxminan 28 foizga, ega bo‘lgan hal qiluvchi omil hisoblanadi. Havo bosimining optimal darajada tanlanishi nafaqat moy zarrachalarining kesish zonasiga chuqur kirib borishini ta’minlaydi, balki teshik tubidan qirindilarni uzluksiz haydab chiqarish orqali devor yuzasining mexanik shikastlanishini bartaraf etadi. Bu esa o‘z navbatida sirt g‘adir-budirligini an’anaviy usullarga nisbatan sezilarli darajada yaxshilab, 7-klass (Ra < 1.6 μm) talablariga javob beradigan sifat darajasiga erishish imkonini yaratdi.

Moy sarfi miqdorining tribologik tahlili shuni ko‘rsatdiki, har bir material uchun o‘ziga xos to‘yinish nuqtasi mavjud bo‘lib, undan ortiqcha moy sarflash sirt sifatiga ijobiy ta’sir ko‘rsatmaydi, aksincha jarayonning iqtisodiy va ekologik samaradorligini pasaytiradi. Inconel 718 uchun tavsiya etilgan yuqori bosim va moy sarfi rejimlari nikel qotishmalarining abraziv yeyish xususiyatini neytrallashga xizmat qilsa, VT6 titan qotishmasi uchun aniqlangan parametrlar materialning asbobga yopishib qolish hodisasini minimallashtirish imkonini berdi.

Skanerlovchi elektron mikroskop yordamida o‘tkazilgan morfologik tahlillar esa MQL muhitida ishlov berilgan sirtlarda mikroyoriqlar va termik deformatsiyalar miqdori 30 foizdan ko‘proqqa kamayganini ko‘rsatdi. Bu esa detallarning chidamlilik muddatini oshirish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qildi.

Umuman olganda, ushbu tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan tavsiyalar va aniqlangan qonuniyatlar mashinasozlik korxonalarida qimmatbaho superqotishmalarga ishlov berishda resurs tejovchi va ekologik xavfsiz texnologiyalarni joriy etishga xizmat qiladi. MQL texnologiyasining qo‘llanilishi emulsiya sarfini 95 foizgacha qisqartirish bilan birga ishlab chiqarish unumdorligini va mahsulotning sirt sifatini barqaror saqlashni kafolatlaydi. Kelgusida ushbu tadqiqot natijalari parmalash jarayonini raqamli boshqarish tizimlarida ham, shuningdek optimal texnologik rejimlarni oldindan bashorat qiluvchi intellektual modellar yaratishda keng qo‘llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Umarov T.U. Mashinasozlikda kesuvchi asboblarni loyihalash va ishlab chiqarish. Darslik. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2021. – 244 b.
2. To‘rayev B.X., Jo‘rayev A.D. Qiyin ishlov beriladigan materiallarni kesish nazariyasi va texnologik asoslari. – Samarqand: SamDU, 2020. – 178 b.

ISSN 3030-3907

3. Krolczyk, G. M., et al. "Sustainable manufacturing: Ecological optimization of additives and cutting fluids in metal cutting processes." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 202, 2019, pp. 1434-1445.
4. Zhu, L., et al. "Investigation on the effect of MQL parameters on surface integrity in drilling of Inconel 718." *Precision Engineering*, Vol. 74, 2022, pp. 112-125.
5. Astakhov, V. P. *Critical Reviews in Machining: MQL and Dry Machining of Difficult-to-Cut Materials*. – CRC Press, 2020. – 315 p.
6. Park, K. H., et al. "A study on the drilling of titanium alloy (Ti-6Al-4V) with cryogenic cooling and MQL." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 21, 2021, pp. 387-395.
7. Sandvik Coromant. *Application Guide: Drilling Heat Resistant Super Alloys and Titanium Alloys*. – Sandvik AB, Sweden, 2022. – 58 p.
8. Yuan, S., et al. "The impact of air pressure and oil flow rate in MQL on tool-chip interface friction." *Tribology International*, Vol. 145, 2020, 106173.

ISSN 3030-3907