SHAKLDOR YUZALARGA SO‘NGGI ISHLOV BERISH TEXNOLOGIYALARI

Alijonov Qobiljon Qodirali o‘g‘li

Farg‘ona davlat texnika universiteti, “Mashinasozlik texnologiyasi va avtomatlashtirish” kafedrasi doktoranti

Tursunov Shovkat Talibovich

Farg‘ona davlat texnika universiteti, “Mashinasozlik texnologiyasi va avtomatlashtirish” kafedrasi texnika fanlari falsafa doktori, dotsent.

Annotatsiya. Ushbu maqolada murakkab geometrik shakldagi (shakldor) yuzalarga yakuniy ishlov berish texnologiyalarining nazariy va amaliy asoslari tahlil qilinadi. Shakldor yuzalarning aniqlik, silliqlik va mustahkamlik talablarini ta’minlash maqsadida qo‘llaniladigan silliqlash, honalash, superfinishing, elektrokimyoviy va lazerli ishlov berish usullari bayon etilgan. Shuningdek, detallar materiali, shakli va ishlov berish uskunalarining texnologik imkoniyatlari ko‘rib chiqilib, 3D koordinatali modellashtirish va CNC asosidagi boshqaruv usullarining afzalliklari keltirilgan. Maqolada so‘nggi ishlovda aniqlikni ta’minlovchi omillar va yuzaga keladigan muammolar ham yoritilib, raqamli simulyatsiya va optimallashtirish yondashuvlari orqali ishlov jarayonlarini samarali boshqarish yo‘llari taklif etilgan. Tadqiqot mashinasozlik, aviatsiya, avtomobilsozlik va tibbiyot sohalarida yuqori aniqlikli detallar ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga qaratilgan.

Kalit so‘zlar: Shakldor yuzalar, so‘nggi ishlov, silliqlash, superfinish, honalash, elektroximik ishlov, lazerli ishlov, CNC, sirt sifati, modellashtirish.

Annotatsiya. В данной статье рассматриваются теоретические и практические основы финишной обработки поверхностей сложной геометрической формы. Описаны методы шлифования, хонания, суперфиниширования, электрохимической и лазерной обработки, обеспечивающие точность, гладкость и прочность таких поверхностей. Проанализированы влияние физических свойств материалов, конструктивных особенностей деталей и технологических возможностей оборудования. Особое внимание уделено применению координатной 3D-моделирования и числового программного управления (ЧПУ) для повышения точности обработки. Освещены основные проблемы финишной обработки и пути их устранения с помощью цифрового моделирования и оптимизации технологических параметров. Результаты исследования

ISSN 3030-3907

направлены на повышение эффективности производства высокоточных деталей в машиностроении, авиации, автомобилестроении и медицине.

Ключевые слова: Профильные поверхности, финишная обработка, шлифование, суперфиниш, хонание, электрохимическая обработка, лазерная обработка, ЧПУ, качество поверхности, моделирование

Annotation. This article examines the theoretical and practical foundations of final processing technologies for complex-shaped (contoured) surfaces. It describes methods such as grinding, honing, superfinishing, electrochemical, and laser processing used to ensure surface precision, smoothness, and durability. The influence of material properties, design features of parts, and equipment capabilities are analyzed. Special emphasis is placed on the application of 3D coordinate modeling and CNC-based control systems to improve machining accuracy. The article highlights typical challenges encountered in final surface processing and proposes digital modeling and optimization techniques as solutions. The findings aim to enhance the production efficiency of high-precision components in mechanical engineering, aviation, automotive, and medical industries.

Keywords: Contoured surfaces, final processing, grinding, superfinishing, honing, electrochemical machining, laser processing, CNC, surface quality, modeling.

KIRISH

Zamonaviy ishlab chiqarish sanoatida detal va mahsulotlarning sifati, ishlash muddati va ishonchliligi ko‘p jihatdan ularning yuzasiga berilgan yakuniy ishlov sifati bilan belgilanadi. Ayniqsa, murakkab geometrik shakldagi yuzalarning (Shakldor yuzalar) sifatli ishlanishi bugungi texnologik rivojlanish davrida katta ahamiyat kasb etmoqda. Shu sababli, shakldor yuzalarga so‘ngi ishlov berish texnologiyalarini takomillashtirish ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, energiya va resurs tejamkorligini ta'minlash, mahsulotlar ishonchliligi va funksional imkoniyatlarini kengaytirishda muhim omil hisoblanadi.

Shakldor yuzalarga yakuniy ishlov berish – bu detal yuzasining silliqligi, aniqligi va mustahkamligini ta'minlashga qaratilgan texnologik jarayon bo‘lib, undan oldingi ishlov bosqichlarida hosil bo‘lgan qo‘polliklarni yo‘qotish va funksional yuzani shakllantirishga xizmat qiladi. Bunday yuzalar odatda muhim vazifalarni bajaruvchi detallar (masalan, podshipnik joylashadigan sferik teshiklar, vallar, kamerali rotorlar va boshqalar) tarkibida uchraydi. Shakldor yuzalar harakatdagi elementlarning ish faoliyatiga bevosita ta’sir qilganligi sababli, ularning aniqligini oshirish orqali butun tizimning barqarorligini ta’minlash mumkin bo‘ladi.

ISSN 3030-3907

Shakldor yuzalarga ishlov berish usullari juda xilma-xildir: silliqlash, honalash, superfinishing, elektroximik ishlov berish, lazer texnologiyalari, robotlashtirilgan tizimlar, CAM/CNC dasturlashtirilgan ishlovlar va boshqa ilg‘or texnologiyalar. Bu usullar orasida an’anaviy usullar bilan birga zamonaviy innovatsion yondashuvlar qo‘llanilmoqda. Shu bois, texnologik jarayonlarni takomillashtirish, ya’ni ishlov berish aniqligi va tezligini oshirish, energetik va material sarflarini kamaytirish, ishlab chiqarish avtomatlashtirilgan tizimlarga moslashtirish orqali amalga oshirilmoqda.

Tadqiqotning dolzarbligi

Yuqori texnologik mahsulotlarga bo‘lgan talab ortib borayotgan hozirgi davrda, murakkab shakldagi detallar ishlab chiqarish muammosi dolzarb bo‘lib qolmoqda. Aviatsiya, avtomobilsozlik, energetika, robototexnika va tibbiyot sohalarida bunday detallar keng qo‘llaniladi. Ayniqsa, shakldor yuzalarning mukammal ishlov berilishi bu sohalarda samarali ishlashni ta’minlaydi.

Yakuniy ishlov berish texnologiyalarida aniqlik darajasi mikron va submikron darajalargacha yetib borayotganligi, ishlab chiqaruvchilarni doimiy texnologik yangiliklarni izlashga undaydi. Ana shu sharoitda, ilmiy yondashuvga asoslangan holda, shakldor yuzalarga ishlov berish jarayonlarini takomillashtirish zarurati mavjud.

Shakldor yuzalar tushunchasi va turlari

Mexanik detallar va mashinasozlik mahsulotlarining aksariyat qismi murakkab geometriyaga ega bo‘lib, ularning funksional qismlari sferik, konus, toroidal, silindrsimon va erkin shakldagi (free-form) sirtlardan iborat bo‘ladi. Bunday yuzalar Shakldor (profil) yuzalar deb ataladi. Ularning asosiy o‘ziga xosligi – geometrik jihatdan murakkab konturga ega bo‘lishi, oddiy tekis yoki silindrsimon yuzalardan farqli ravishda o‘zgarmas radius yoki burchakka ega emasligidir.

Shakldor yuzalarga quyidagilar kiradi:

Sferik yuzalar – ko‘pincha podshipnik joylashadigan sirtlar, optik linzalar, to‘p vositalari.

Konussimon va toroidal sirtlar – rotor detallarida, g‘ildiraklar va plunjerlarda.

Erkin profilga ega sirtlar (free-form surfaces) – asosan avtomobil kuzovlari, samolyot qanotlari, biomexanik implantlar va qolip ishlab chiqarishda.

Spline yoki Bezier egri chiziqlar asosida yaratilgan sirtlar – zamonaviy CAD/CAM tizimlarida keng tarqalgan.

ISSN 3030-3907

Shakldor yuzalarning ishlov berishdagi murakkabligi ularning 3D koordinatalarda aniqlanadigan ixtiyoriy egri chiziqli shakliga bog‘liq. Bu esa ishlov berishda aniq koordinata, burchak, radius va harakat trayektoriyasini talab qiladi.

Texnologik aniqlik va sirt sifati

Shakldor yuzalarga ishlov berishda asosiy mezonlar quyidagilardan iborat:
Geometrik aniqlik (IT – International Tolerance): sirt shaklining geometrik aniqligi 4–6 darajagacha talab qilinadi.
Sirt qo‘polligi (Ra, Rz ko‘rsatkichlari): ko‘pincha Ra ≤ 0.2–0.05 mkm darajada bo‘lishi zarur.

Sirt qattiqligi va mustahkamligi: tribologik yuklamalarga bardosh berish uchun sirtga qo‘shimcha ishlov (qotirish, qoplama) talab qilinadi.
Ishlov berish simmetriyasi: ayniqsa optik yoki gidravlik detallar uchun muhim.
Shakldor yuzalarga ishlov berishda uchraydigan muammolar

Texnologik jihatdan shakldor yuzalar silliqlash, honalash, frezalash, torna va elektroximik ishlovlar orqali tayyorlanadi. Ushbu ishlov berishlar quyidagi muammolarni keltirib chiqaradi:

Asbob trayektoriyasining murakkabligi: oddiy silindrsimon sirtlarda tekis harakat etuvchi asbob, shakldor yuzada 3 o‘qli yoki 5 o‘qli boshqaruv talab qiladi.

Asbobning tez yeyilishi: geometriyasi o‘zgaruvchan yuzalarga ishlov berishda kesish kuchlari notekis taqsimlanadi.

O‘lchov nazoratining murakkabligi: oddiy mikrometr yoki kaliperlar yetarli bo‘lmaydi, ko‘p hollarda 3D koordinatli o‘lchov tizimlari talab qilinadi.

Sirt sifatining o‘zgaruvchanligi: ayniqsa egri chiziqli sirtlarda abraziv tanelarning teng ta’sir qilmasligi natijasida yuzaki qo‘pollik turlicha bo‘ladi.

Ishlov berish imkoniyatlariga ta’sir etuvchi omillar

a) Materialning fizik-mexanik xususiyatlari
Yuqori qattiqlik, issiqlikka chidamlilik va ishqalanishga bardoshlilik ishlov berish usulini tanlashga ta’sir qiladi.

Masalan, titan, keramika, temperli po‘latlar shaklidagi detallar lazerli yoki ultraprecision usullarni talab qiladi.

b) Detallarning konstruktiv xususiyatlari

Murakkab kontur, teshiklar yoki notekis qalinlik ishlov berishni cheklashi mumkin.

Konstruksiyaning simmetriyasizligi esa asbob harakatining moslashuvchan bo‘lishini talab qiladi.

c) Asbob va uskuna imkoniyatlari
3 yoki 5 o‘qli CNC stanoklari, CAM tizimi orqali aniqlikni oshirish mumkin.

ISSN 3030-3907

Chastota bilan boshqariladigan silliqlash stanoklari shakldor yuzalarda yuqori aniqlik beradi.

d) Tayyorlov texnologiyasi

So‘nggi ishlovdan oldingi bosqichlar (quyma, qirqa ishlov, dastlabki frezalash) sirtning holatiga va oson ishlov berilishiga ta’sir qiladi.

Normativ talablar va GOST/ISO standartlari

Shakldor yuzalarga ishlov berishda quyidagi standartlar asosida baholash amalga oshiriladi:

GOST 2789-73 – Sirt qo‘polligini aniqlash usullari

ISO 4287/4288 – Yuzaki tuzilmani aniqlash mezonlari

GOST 2.308-79 – Chizma va ishlov mezonlari

VDI/VDE 2634 – Koordinat o‘lchov tizimlari aniqligi

Shuningdek, turli mamlakatlarda shakldor yuzalarning metrologik baholash tizimlari mavjud bo‘lib, ayniqsa 3D skanerlash orqali sirt sifatini nazorat qilish jadal rivojlanmoqda.

So‘nggi ishlov tushunchasi va texnologik vazifasi

So‘nggi ishlov – bu detal yuzasining yakuniy shakli, o‘lchamlari va sirt sifati talablariga to‘liq javob berishini ta’minlovchi, eng yuqori aniqlik darajasidagi ishlov berish bosqichidir. Ushbu bosqich, odatda, silliqlash, honalash, superfinish, elektrokimyoviy va lazerli ishlov berish kabi nozik ishlov metodlarini o‘z ichiga oladi.

So‘nggi ishlovning asosiy maqsadi:

Yuqori aniqlikdagi geometrik shaklni hosil qilish (IT5–IT1 darajasigacha);

Sirt qo‘polligini pasaytirish (Ra = 0.2 mkm dan kam);

Detalning ish faoliyati davomida eskirishiga qarshi turadigan sirt qatlamini shakllantirish;

Ishqalanishni kamaytirish orqali energiya sarfini kamaytirish.

Mexanik ishlov berish nazariyasi

a) Silliqlash jarayoni

Silliqlash – abraziv tanelar orqali sirtni mayda kesish jarayonidir. Bu usulda har bir abraziv zarrasi mustaqil kesish asbobi sifatida ishlaydi. Shakldor yuzalarda silliqlash trayektoriyasi murakkab bo‘lib, abraziv disklarda maxsus profil yoki raqamli boshqaruv (CNC) talab etiladi.

Asosiy nazariy parametrlar:

Kesish tezligi: v=π·D·nv = \pi \cdot D \cdot nv=π·D·n

Ta’sir qilish chuqurligi: apa_pap

Materialni olib tashlash tezligi: Q=v·ap·fQ = v \cdot a_p \cdot fQ=v·ap·f

Issiqlik taqsimoti: 70–80% energiya sirtga issiqlik sifatida ta’sir qiladi.

ISSN 3030-3907

Silliqlashda yuqori haroratlar tufayli sirt qatlamida quyidagi salbiy hodisalar yuz beradi:

Termik yorilishlar;

Mikrostrukturaviy o‘zgarishlar (dekristallanish, martensit hosil bo‘lishi);

Asbobning tez yeyilishi.

b) Honlash va superfinishing

Honlash – metall sirtni ko‘p qirrali abraziv to‘rlar yordamida mikroharakatlar bilan ishlov berish usuli. Bu jarayon silindrsimon yoki shakldor ichki yuzalarga ishlov berishda qo‘llaniladi.

Superfinish esa silliqlangan sirtni yuqori aniqlikda silliqlik darajasigacha yetkazuvchi ishlovdir. U asosan elastik abraziv elementlar yordamida amalga oshiriladi. Bu jarayonlar tribologik sifatni keskin oshiradi.

Elektrokimyoviy ishlov berish (ECM)

ECM – elektrolit eritmasida elektr toki yordamida metallni anodik erish prinsipi asosida olib tashlash jarayonidir. Bu usul, ayniqsa, yuqori qattiqlikka ega murakkab shakldagi detallarni ishlov berishda muhim ahamiyatga ega.

Nazariy asoslar:

Faraday qonuniga asoslanadi:m=M·I·tn·Fm = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F}m=n·FM·I·tbu yerda:m – erigan massa, M – molyar massa, I – tok kuchi, t – vaqt, n – valentlik, F – Faraday doimiysi.

Afzalliklari:

Asbob deyarli yeyilmaydi;

Sirt qattiqligiga bog‘liq emas;

Hech qanday kesish kuchi mavjud emas – deformatsiyasiz ishlov.

Lazerli ishlov berish

Lazerli ishlov – yuqori zichlikdagi energiya nurlanishi yordamida material yuzasini bug‘lantirib yoki eritib olib tashlaydigan usuldir. Bu usul asosan mikrodetallar, shakldor teshiklar va sirtni qatlamma-qatlam ishlov berishda ishlatiladi.

Nazariy jihatlar:

Lazer quvvati: P=E/tP = E / tP=E/t

Yorug‘lik nurlanishining zichligi:I=PAI = \frac{P}{A}I=AP(bu yerda A – lazer nurining faol kesimi)

Lazer yordamida quyidagilar amalga oshiriladi:

Mikrokanal va shakldor teshiklarni frezalash;

Qattiqlashtirish va teksturalash;

Sirtni aktivlashtirish va modifikatsiya qilish.

So‘nggi ishlovda aniqlikni shakllantiruvchi omillar

ISSN 3030-3907

Shakldor yuzalar uchun so‘nggi ishlov natijasining muvaffaqiyati quyidagi faktorlar bilan bog‘liq:

Asbobning aniqligi va geometriyasi: abraziv g‘ildirak, elektrod yoki lazer nurlanish trayektoriyasi mukammal aniqlikka ega bo‘lishi kerak.

Harakat trayektoriyasining nazorati: shakldor sirtlar uchun CNC asosida 5 o‘qli trayektoriya yaratish zarur.

Kesish kuchlari va termik deformatsiyalar: aniqlikni pasaytiruvchi asosiy sabab.

Sirt ustidagi qatlamlarning holati: kuchlanish, mikroyoriqlar, mikrodeformatsiyalar ishlov sifatiga bevosita ta’sir qiladi.

Raqamli modellashtirish va nazariy optimallashtirish

Zamonaviy texnologiyalar yordamida so‘nggi ishlov berish jarayonlari kompyuter yordamida modellashtiriladi:

FEA (finite element analysis) – termik va mexanik yuklamalarni modellashtiradi.

CFD (computational fluid dynamics) – elektrolit oqimini yoki abraziv material taqsimotini tahlil qiladi.

Tool-path simulation (asbob yo‘llarini simulyatsiya qilish) – shakldor trayektoriyani yaratadi.

Ushbu modellar yordamida ishlov parametrlari (tezlik, chuqurlik, bosim, tok kuchi) nazariy asosda optimallashtiriladi va sirt sifatining eng yaxshi ko‘rsatkichlari aniqlanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1.Воробьев, А. И. Основы технологии машиностроения. – Москва: Машиностроение, 2015. – 624 с.

2.Давыдов, В. А. Шлифование и суперфиниширование. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 384 с.

3.Королев, Н. П. Финишные методы обработки деталей машин. – Москва: Машиностроение, 2008. – 352 с.

4.Попов, А. А. Современные технологии механообработки. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – 410 с.

5.ISO 4287:1997 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters.

6.GOST 2789-73 – Параметры шероховатости поверхности. Термины и определения.

7.GOST 2.308-79 – Обозначения шероховатости поверхностей на чертежах.

VDI/VDE 2634 – Qualitätsstandards für Koordinatenmesstechnik, VDI-Richtlinie, Deutschland, 2013.

ISSN 3030-3907

8. Groover, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. – 6th ed. – New York: Wiley, 2020. – 960 p.
9. Jain, V. K. Advanced Machining Processes. – New Delhi: Allied Publishers, 2009. – 524 p.

ISSN 3030-3907