



FREZALASH DASTGOHLARIDA PAZLARNI FREZALASH USULLARI VA TEXNOLOGIYASI

Yadgarov Rafuq Xabibullayevich

Andijon shahar 1-son politehnikumi

Ishlab chiqarish ta'lim ustasi

1. Kirish

Mashinasozlik sanoatining rivojlanishi detallarga ishlov berish aniqligi va sifatiga qo'yiladigan talablarning ortishi bilan bevosita bog'liqdir. Zamonaviy mashina va mexanizmlarning ishlash ishonchliligi ko'p jihatdan ularning tarkibiy qismlari bo'lgan vallar, tishli g'ildiraklar, korpus detallari va yo'naltiruvchi sirtlarning tayyorlanish sifatiga bog'liq. Ushbu detallarning konstruksiyasida pazlar (ariqchalar), o'yiqlar va shlitsalar muhim o'rin tutadi. Ular aylanma harakatni uzatish, detallarni o'zaro biriktirish, harakatlanuvchi qismlarni yo'naltirish va boshqa ko'plab funksional vazifalarni bajaradi.

Frezalash – bu materiallarni kesib ishlashning eng keng tarqalgan va samarali usullaridan biri bo'lib, pazlarni ochishda asosiy texnologik jarayon hisoblanadi. Frezalash jarayoni aylanma harakat qiluvchi ko'p tig'li kesuvchi asbob (freza) va ilgirilama harakat qiluvchi zagotovka (yoki asbob) o'rtasidagi o'zaro ta'sirga asoslangan.¹

Ushbu tadqiqot hisobotining maqsadi frezalash dastgohlarida pazlarni ochishning nazariy va amaliy jihatlarini chuqur o'rganish, an'anaviy va zamonaviy usullarni qiyosiy tahlil qilish, texnologik jarayonlarni optimallashtirish yo'llarini ko'rsatish va ishlab chiqarishdagi nuqsonlarning oldini olish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

1.1. Tadqiqot Obyekti va Predmeti

Tadqiqotning obyekti sifatida universal va RDB (Raqamli Dastur bilan Boshqariladigan - CNC) frezalash dastgohlari, predmeti sifatida esa turli xildagi



pazlarni (to'g'ri burchakli, T-simon, "qaldirg'och dumi", shponka ariqchalari, shlitsalar) frezalash texnologiyasi, kesish rejimlari va asbob-uskunalar tanlanadi.

1.2. Dolzarbligi va Sanoatdagi Ahamiyati

Pazlar mashinasozlikning barcha tarmoqlarida – avtomobilsozlikdan tortib aviatsiyagacha keng qo'llaniladi. Masalan, ichki yonuv dvigateli tirsakli valining shponka ariqchasi yoki stanok stolining T-simon pazi sifatsiz bo'lsa, bu butun agregatning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Zamonaviy materiallar (qiyin ishlanadigan qotishmalar) va yuqori aniqlik talablari paz frezalash texnologiyasini doimiy takomillashtirishni taqozo etadi. Shu bois, traxoidal frezalash, ultratovush yordamida frezalash kabi innovatsion usullarni o'rganish bugungi kunning dolzarb masalasi³.

2. Pazlar va O'yiqlar: Tasnifi, Standartlar va Konstruktiv Talablar

Pazlar o'zining geometrik shakli, joylashuvi va bajaradigan funksiyasiga ko'ra xilma-xildir. Texnologik jarayonni to'g'ri loyihalash uchun avvalo pazlarning tasnifini va ularga qo'yiladigan standart talablarni tushunish lozim.

2.1. Geometrik Shakli Bo'yicha Tasnif

Pazlarni ko'ndalang kesim shakliga ko'ra quyidagi asosiy guruhlarga bo'lish mumkin:

1. To'g'ri burchakli pazlar:

- Bu eng oddiy va keng tarqalgan shakl bo'lib, kesimi to'g'ri to'rtburchakdir.
- *Qo'llanilishi:* Shponka ariqchalari, shlitsalar, korpus detallaridagi o'tirgich o'rinlari.
- Ular ochiq (batafsil o'tuvchi), yopiq (ikki tomoni berk) va yarim yopiq (bir tomoni ochiq) turlarga bo'linadi.

2. T-simon pazlar (T-Slots):

- Kesimi "T" harfini eslatuvchi murakkab profil.
- *Tuzilishi:* Tor kirish qismi (bo'yin) va keng pastki qism (asos).



- *Qo'llanilishi:* Metall kesish dastgohlarining stollari, plitalar, stendlar va boshqa texnologik jihozlarda qotirish boltlarini (T-bolts) o'rnatish uchun xizmat qiladi.

- *Standartlar:* O'lchamlari GOST 1574-75 va ISO standartlari bilan tartibga solinadi (masalan, 10, 12, 14, 18, 22 mm nominal o'lchamlar).⁵

3. "Qaldirg'och dumi" (Dovetail) pazlari:

- Kesimi teng yonli trapetsiya shaklida bo'lib, asosiy burchaklari 55° yoki 60° ni tashkil qiladi.

- *Qo'llanilishi:* Dastgohlarning supportlari, konsollari va karetkalarining yo'naltiruvchi sirtlari sifatida. Bu shakl detallarning vertikal ajralib ketishiga yo'l qo'ymaydi va faqat bo'ylama harakatlanish imkonini beradi.⁷

4. V-simon va burchakli pazlar:

- Kesimi uchburchak shaklida.
- *Qo'llanilishi:* Prizmalarda silindrik detallarni bazalash uchun, shuningdek, maxsus yo'naltiruvchilarda.

5. Shponka ariqchalari (Keyways):

- Vallardagi va teshiklardagi (vtulkalardagi) o'yiqlar.
- *Turlari:* Prizmatik shponkalar uchun (tekis tubli), segmentli shponkalar uchun (yoy simoni tubli), ponasimon shponkalar uchun.
- *Standartlar:* GOST 23360-78 va ISO/R773 standartlari shponka o'lchamlari va ularga mos ariqchalar tolerantliklarini belgilaydi.⁹

2.2. O'lcham Aniqligi va Sirt Sifati Talablari

Pazlarga qo'yiladigan texnik talablar juda yuqori bo'lib, ular detallarning o'zaro almashinuvchanligini ta'minlashi kerak.

- **Kenglik bo'yicha tolerantlik:** Shponka ariqchalari va shlitsalar uchun kenglik eng muhim parametr hisoblanadi. Odatda P9, N9 yoki Js9 (ISO) aniqlik koeffitsientlari talab qilinadi. Masalan, val diametri 6-8 mm bo'lganda, shponka ariqchasi kengligi 2 mm bo'lib, unga qo'yiladigan chetga chiqishlar mikronlarda o'lchanadi.⁹



- **Simmetriya:** Ariqcha valning o'qiga nisbatan qat'iy simmetrik bo'lishi shart. Simmetriyadan og'ish yig'ish jarayonida muammolarni keltirib chiqaradi va birikmaning ishlash muddatini qisqartiradi.¹¹

- **Sirt g'adir-budirligi (Ra):** Ishchi yuzalar (masalan, shponka bilan kontaktda bo'ladigan yon devorlar) uchun Ra 1.6...3.2 mkm, ishlaydigan yuzalar (tubi) uchun Ra 6.3...12.5 mkm bo'lishi mumkin.¹¹

2.3. Pazlarning Konstruktiv Elementlari

Har bir paz o'zining funksional vazifasidan kelib chiqib ma'lum konstruktiv elementlarga ega:

- **Faskalar (Chamfers):** Pazning kirish qirralarida o'tkir burchaklarni olish va montajni osonlashtirish uchun 45° li faskalar ochiladi.

- **Radiuslar (Fillets):** Paz tubidagi burchaklarda kuchlanish konsentratsiyasini kamaytirish uchun kichik radiuslar qoldiriladi.

- **Chiqish joylari (Runouts):** Diskli frezalar bilan ishlaganda paz oxirida radius bo'yicha chiqish joyi hosil bo'ladi, bu konstruksiyada hisobga olinishi kerak.¹

3. Frezalash Dastgohlari va Texnologik Jihozlar

Pazlarni frezalash turli xil dastgohlar va maxsus moslamalar yordamida amalga oshiriladi. Dastgoh turi ishlab chiqarish hajmi (yakka, seriyali, ommaviy) va detalning murakkabligiga qarab tanlanadi.

3.1. Dastgoh Turlari

3.1.1. Vertikal Frezalash Dastgohlari (Vertical Milling Machines)

Bu eng keng tarqalgan dastgoh turi bo'lib, shpindel vertikal joylashgan.

- **Qo'llanilishi:** Barmoq frezalar (end mills) yordamida yopiq shponka ariqchalari, kontur bo'ylab pazlar, T-simon va "qaldirg'och dumi" pazlarini ochish uchun ideal.

- **Xususiyatlari:** Shpindelning vertikal harakati (Z o'qi) chuqurlikni aniq sozlash imkonini beradi. Zamonaviy RDB (CNC) vertikal markazlar 3, 4 va 5 o'qli bo'lib, murakkab fazoviy pazlarni ochishga qodir.²

3.1.2. Gorizontaal Frezalash Dastgohlari (Horizontal Milling Machines)



Shpindel gorizontal joylashgan bo'lib, asosan diskli frezalar bilan ishlashga mo'ljallangan.

- **Qo'llanilishi:** Ochiq to'g'ri burchakli pazlar, shlitsalar va chuqur kanallarni ochish.
- **Afzalligi:** Opravkaga o'rnatilgan diskli frezaning bikrligi yuqori bo'lgani uchun katta kuch bilan kesish va yuqori unumdorlikka erishish mumkin. Bir vaqtning o'zida bir nechta freza o'rnatib (nabor frezalar), parallel pazlarni ochish mumkin (Gang Milling).¹

3.1.3. Maxsus Shponka-Frezalash Dastgohlari

Sanoatda, xususan, seriyali ishlab chiqarishda faqat shponka ariqchalarini ochishga ixtisoslashgan dastgohlar (masalan, 692D, 6D92 modellari) ishlatiladi.

- **Ishlash prinsipi:** Bu dastgohlar "mayatnik" (reciprocating) siklida ishlaydi. Freza val bo'ylab ilgarilama-qaytma harakat qiladi va har bir yurishda chuqurlikka kirib boradi. Bu usul yuqori aniqlikni va asbobning uzoq xizmat qilishini ta'minlaydi.¹³

3.2. Zagotovkani O'rnatish va Bazalash Moslamalari

Pazning aniqligi zagotovkaning dastgoh stoliga qanchalik to'g'ri va mustahkam o'rnatilganiga bog'liq.

- **Mashina Tiskilari (Machine Vises):** Kichik va o'rta o'lchamdagi prizmatik detallar uchun eng qulay moslama. Tiskilarning jag'lari parallel bo'lishi va stol harakatiga nisbatan to'g'ri burchak ostida yoki parallel o'rnatilishi shart.¹⁵
- **V-simon Prizmalar (V-Blocks):** Vallarni o'rnatish uchun ishlatiladi. Val prizmaga o'zining silindrik sirti bilan yotadi, bu esa pazning simmetriya o'qini val o'qiga nisbatan to'g'ri joylashishini ta'minlaydi.
- **Bo'lish Kallaklari (Dividing Heads):** Aylanuvchi detallarda (masalan, tishli g'ildiraklar, shlitsali vallar) burchak bo'yicha aniq burish talab etilganda ishlatiladi. Ular universal (UDG) yoki oddiy bo'lishi mumkin.¹⁶
- **Qisqichlar (Clamps):** Yirik detallarni to'g'ridan-to'g'ri stolga qotirish uchun T-simon pazlarga o'rnatiladigan boltlar va plankalar ishlatiladi.



3.3. O'rnatishdagi Xatoliklar va Ularning Oldini Olish

Zagotovkani noto'g'ri o'rnatish pazning "qiyshayishi" (parallellikdan og'ish) yoki simmetriyaning buzilishiga olib keladi.

- **6 nuqta qoidasi:** Detalni fazoda aniq joylashtirish uchun uning 6 ta erkinlik darajasini cheklash kerak. Vallar uchun prizma 4 ta erkinlikni cheklaydi, qolganlarini esa tayanchlar va qisqichlar ta'minlaydi.¹⁸

- **Markazni topish:** Shponka ariqchalarini ochishda "Edge Finder" (qirra topgich) yoki indikator yordamida shpindel o'qini val diametrining markaziga aniq keltirish talab etiladi.¹⁹

4. Kesuvchi Asboblari: Materiallar, Geometriya va Tanlash

Paz frezalash jarayonining samaradorligi to'g'ri tanlangan kesuvchi asbobga bog'liq. Zamonaviy bozorda yuzlab turdagi frezalar mavjud bo'lib, ularning har biri ma'lum bir vazifa uchun optimallashtirilgan.

4.1. Asbob Materiallari

1. Tezkesar Po'lat (HSS - High Speed Steel):

- *Xususiyatlari:* Arzon, zarbaga chidamli, lekin issiqlikka chidamliligi past.

- *Qo'llanilishi:* Yumshoq po'latlar, alyuminiy va yakka tartibdagi ishlab chiqarishda. Kesish tezligi past (25-35 m/min po'lat uchun).²¹

2. Qattiq Qotishma (Carbide):

- *Xususiyatlari:* Volfram-karbid asosida tayyorlanadi. Juda qattiq, issiqlikka chidamli, lekin mo'rt.

- *Qo'llanilishi:* Zamonaviy RDB dastgohlarida, qattiq po'latlar, cho'yan va zanglamaydigan po'latlarni yuqori tezlikda (80-250 m/min) frezalashda.

3. Qoplamalar (Coatings):

- *TiN (Titan Nitrid):* Oltin rangli, umumiy maqsadlar uchun.

- *TiAlN (Titan Alyuminiy Nitrid):* Binafsha/qora rangli, yuqori haroratga chidamli, quruq frezalash uchun mos.²²

4.2. Freza Turlari va Konstruksiyasi



4.2.1. Barmoq Frezalar (End Mills)

- **2 tishli (2-flute):** Shponka ariqchalarini "o'yib kirish" (plunging) uchun eng maqbul. Katta qirindi kanallari (chip flute) qirindini yaxshi chiqarib tashlaydi, bu yopiq pazlar uchun juda muhim.²¹

- **3 va 4 tishli:** Sirt tozaligi yuqori bo'ladi, lekin qirindi chiqishi qiyinroq. Ochiq pazlar va yon sirtlarni ishlash uchun tavsiya etiladi.

4.2.2. Shponka Frezalari (Slot Drills)

Bu maxsus 2 tishli frezalar bo'lib, ularning kesuvchi qirralari markazgacha boradi. Bu ularga xuddi parma kabi materialga vertikal kirish imkonini beradi. Ular shponka ariqchalarini ochish uchun maxsus e8 yoki d8 tolerantlik bilan tayyorlanadi.²³

4.2.3. Diskli Frezalar (Side and Face Cutters)

- *Tuzilishi:* Silindrik yuzasida va yon tomonlarida tishlari bor.
- *Afzalligi:* Paz kengligini aniq saqlaydi va yon devorlarni silliqlaydi. T-simon pazning birinchi bosqichini ochishda samarali.¹

4.2.4. T-simon va "Qaldirg'och Dumi" Frezalari

Bular shakldor (fasonli) frezalar hisoblanadi.

- *T-simon:* Bo'yni ingichka bo'lgani uchun sinish xavfi yuqori. Tishlari ko'pincha "shaxmat" tartibida joylashgan bo'lib, bu kesish kuchini kamaytiradi.⁵

- *Qaldirg'och dumi:* 45°, 55°, 60° burchakli bo'ladi. Ular faqat toza ishlov berish (finishing) uchun mo'ljallangan, chunki materialni ko'p ololmaydi.²⁴

4.3. Freza Geometriyasi

- **Spiral burchagi (Helix Angle):** Shponka ariqchalari uchun odatda kichik burchakli (20°) yoki standart (30°) spirallar ishlatiladi. Alyuminiy uchun 45° va undan yuqori burchaklar tavsiya etiladi (qirindini tez chiqarish uchun).

- **Old burchak (Rake Angle):** Yumshoq materiallar uchun ijobiy (positive), qattiq materiallar uchun manfiy yoki neytral burchaklar tanlanadi.

5. Shponka Ariqchalarini Frezalash Texnologiyasi (Jumladan Mayatnik Usuli)



Shponka ariqchalarini ochishda tanlangan usul nafaqat unumdorlikka, balki olingan pazning sifatiga ham ta'sir qiladi.

5.1. Bir O'tishda Frezalash (Conventional Slotting)

Bu usulda freza to'liq chuqurlikka botiriladi va butun uzunlik bo'ylab bir marta o'tib pazni ochadi.

- **Qo'llanilishi:** Ochiq va sayoz pazlar uchun.
- **Kamchiliklari:** Frezaning egilishi (deflection) hisobiga pazning boshi va oxiri o'lchamlari farq qilishi mumkin. Qirindi tiqilib qolish xavfi yuqori.
- **Talablar:** Juda biki dastgoh va kuchli shpindel talab etiladi.

5.2. Mayatnik Usuli (Pendulum / Reciprocating Method)

Bu yopiq shponka ariqchalarini ochishning eng ishonchli usulidir, ayniqsa maxsus shponka-frezalash dastgohlarida (692D kabi) qo'llaniladi.

Jarayonning Bosqichlari (Sikl Tavsifi):

1. **Vertikal Kirish (Plunge):** Freza aylanib turgan holda zagotovkaga kichik chuqurlikka (masalan, 0.1 - 0.5 mm) kiradi.
2. **Bo'ylama Yurish (Longitudinal Pass):** Freza pazning uzunligi bo'ylab harakatlanadi (L masofaga).
3. **To'xtash va Qaytish:** Oxirgi nuqtaga yetgach, freza to'xtamaydi, balki yana vertikal chuqurlashadi (yoki shu sathda) va teskari yo'nalishda harakatlanadi.
4. **Takrorlash:** Jarayon kerakli umumiy chuqurlikka yetguncha davom etadi. Freza go'yoki "mayatnik" kabi u yoqdan-bu yoqqa borib keladi.¹⁴

Afzalliklari:

- **Yuklamaning kamayishi:** Freza har bir o'tishda faqat kichik qatlamni oladi, bu esa kesish kuchini kamaytiradi va frezaning sinishini oldini oladi.
- **Aniqlik:** Freza yon devorlarni har bir o'tishda "sidirib" o'tadi, natijada devorlar parallel va silliq chiqadi.
- **Qirindi chiqishi:** Sayoz kesish qirindining erkin chiqib ketishiga imkon beradi.
- **Sovutish:** Suyuqlik kesish zonasiga oson kirib boradi.



5.3. Gorizontal Dastgohda Diskli Freza Bilan

- Bu usul faqat ochiq yoki segmentli shponkalar (Woodruff keys) uchun mos keladi.
- **Afzalligi:** Unumdorlik juda yuqori.
- **Kamchiligi:** Paz tubi tekis emas, balki radiusli bo'ladi (freza shakliga mos).

6. Murakkab Pazlarni Frezalash: T-simon, "Qaldirg'och Dumi" va Shlitsalar

Murakkab profilli pazlarni ochish bir necha bosqichni talab qiluvchi, aniqlikni talab etadigan jarayondir.

6.1. T-simon Pazlarni (T-Slots) Frezalash Texnologiyasi

Ushbu jarayon qat'iy ketma-ketlikda bajarilishi shart ⁵:

Bosqich	Jarayon Tavsifi	Ishlatiladigan Asbob	Eslatmalar
1. Kanal ochish	Pazning o'rta qismini (bo'yni kengligida) to'liq chuqurlikkacha ochish.	Barmoq freza yoki uch tomonlama diskli freza.	Eng katta hajmdagi material shu bosqichda olinadi.
2. T-profilni ochish	Pazning pastki keng qismini shakllantirish.	T-simon paz frezasi (T-slot cutter).	Xavfli bosqich: Qirindi chiqishi qiyin. Kesish tezligini pasaytirish va mo'l sovutish kerak.



<p>3. Faskalarni olish</p>	<p>Pazning yuqori qirralarida 45° faska ochish.</p>	<p>Burchakli freza (Chamfer mill).</p>	<p>Xavfsizlik va asbobni himoya qilish uchun.</p>
-----------------------------------	---	--	---

Muhim Insight: T-simon freza bilan ishlaganda qirindi "qamalib" qolishi mumkin. Agar qirindi qayta kesilsa (re-cutting), freza tishlari sinadi. Shu sababli, bu bosqichda havo bosimi yoki kuchli suyuqlik oqimi bilan paz ichini doimiy tozalash shart.

6.2. "Qaldirg'och Dumi" (Dovetail) Pazlarini Frezalash

Bu jarayon ham ikki bosqichli:

1. **Qora ishlov (Roughing):** Oddiy barmoq freza yordamida to'g'ri burchakli kanal ochiladi yoki pog'onali shaklda material olinadi.

2. **Toza ishlov (Finishing):** "Qaldirg'och dumi" frezasi bilan yakuniy profil olinadi.

- **Ehtiyotkorlik:** Bu frezalar o'tkir burchaklari tufayli juda nozik bo'ladi. Bir o'tishda ko'p material olish mumkin emas. Radial va aksial chuqurliklar minimal bo'lishi kerak.²⁴

6.3. Shlitsalarni (Splines) Frezalash

Shlitsalar vallarda aylanma momentni uzatish uchun ishlatiladi.

- **Bo'lish Kallagi (Dividing Head) bilan ishlash:**

- Zagotovka bo'lish kallagi va orqa markaz (tailstock) orasiga o'rnatiladi.

- **Indekslash:** Har bir shlitsa ochilgandan so'ng, val aniq burchakka buriladi. Burish burchagi formulasi: $n = 40/Z$ (bu yerda 40 - kallakning uzatma nisbati, Z - shlitsalar soni).¹⁶

- *Misol:* 6 ta shlitsa ochish uchun $n = 40/6 = 6$ butun va $2/3$ aylanish. Demak, dastakni 6 marta to'liq aylantirib, teshiklar diskida yana $2/3$ qismga burish kerak.

7. Zamonaviy Strategiyalar: Traxoidal va Ultratovushli Frezalash



RDB (CNC) dastgohlarining paydo bo'lishi paz frezalashda inqilobiy o'zgarishlarni olib keldi.

7.1. Traxoidal Frezalash (Trochoidal Milling / Dynamic Milling)

Bu usulda freza pazni to'g'ri chiziq bo'ylab emas, balki spiral (aylanma) harakatlar bilan ochadi.

- **Fizikasi:** Freza diametri paz kengligidan kichik bo'ladi (masalan, 12 mm freza 20 mm paz uchun). Freza doimiy ravishda aylanma harakat qilib, materialni "yoyib" oladi.⁴

- **Radial Qirindi Yupqalashishi (Radial Chip Thinning):** Frezaning materialga kirish burchagi (engagement angle) kichik bo'lgani uchun, hosil bo'ladigan qirindi qalinligi ideal holatdan yupqa bo'ladi. Bu esa surish tezligini (feed rate) keskin oshirish imkonini beradi.

- **Afzalliklari:**
 - **Kam kuch:** Radial kuchlar kamayadi, freza egilmaydi.
 - **Issiqlik:** Freza har bir aylanishda havoda soviydi.
 - **Asbob umri:** Frezaning butun kesuvchi uzunligi ishlaydi, yeyilish tekis bo'ladi.
 - **Qo'llanilishi:** Qattiq materiallarda (Titan, Inconel) chuqur pazlarni ochishda tengsiz usul.

7.2. Ultratovush Yordamida Frezalash (Ultrasonic Assisted Milling)

Bu nisbatan yangi texnologiya bo'lib, kesuvchi asbobga yuqori chastotali (20-40 kHz) ultratovush tebranishlari beriladi.³

- **Mexanizmi:** Freza aylanma harakatdan tashqari, aksial (o'q bo'ylab) yo'nalishda mikroskopik tebranishlarni amalga oshiradi.

- **Natija:**
 - Kesish kuchi 30-50% ga kamayadi.
 - Qirindilar maydalanib, oson chiqib ketadi.
 - Sirt sifati yaxshilanadi va "chatter" (titrash) yo'qoladi.



o Ayniqsa mo'rt va qattiq materiallar (keramika, shisha, qattiq qotishmalar) uchun samarali.

8. Kesish Rejimlarini Hisoblash va Optimallashtirish

To'g'ri tanlangan kesish rejimlari unumdorlik va iqtisodiy samaradorlikning garovidir.

8.1. Asosiy Formulalar

Frezalash rejimlarini hisoblash uchun quyidagi bazaviy formulalar ishlatiladi 29:

1. **Shpindel** **Aylanishlar** **Soni** **(RPM):**

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

- o n – aylanishlar soni (ayl/min).
- o V_c – kesish tezligi (m/min) (Materialga bog'liq, jadvaldan olinadi).
- o D – freza diametri (mm).

2. **Surish** **Tezligi** **(Feed** **Rate):**

$$V_f = n \cdot z \cdot f_z$$

- o V_f – daqiqali surish (mm/min).
- o z – tishlar soni.
- o f_z – bir tishga surish miqdori (mm/tish).

8.2. Paz Frezalash Uchun Tuzatishlar

Paz frezalashda (Full Slotting) freza 180° burchak ostida materialga kirishadi. Bu juda og'ir rejim hisoblanadi. Shuning uchun standart hisoblangan rejimlarga tuzatish kiritish shart:

- **Tezlik va Surish:** Odatda paz ochishda kontur frezalashga nisbatan surish tezligi **50% gacha kamaytiriladi**.³²
- **T-simon pazlar:** T-freza bilan ishlaganda surish yana ham kamaytirilishi kerak, chunki qirindi tiqilishi xavfi bor.



8.3. Kesish Tezligi Jadvallari (Tavsiyaviy)

Material	Asbob Materiali	Kesish Tezligi Vc (m/min)	Bir tishga surish fz (mm)
Alyuminiy (6061)	Qattiq qotishma (Carbide)	120 - 250+	0.05 - 0.15
Konstruksion Po'lat	HSS	25 - 35	0.02 - 0.08
Konstruksion Po'lat	Qattiq qotishma	80 - 120	0.03 - 0.10
Zanglamaydigan Po'lat	Qattiq qotishma	40 - 80	0.02 - 0.06
Cho'yan (Cast Iron)	Qattiq qotishma	60 - 100	0.05 - 0.12

9. Nuqsonlar, Sifat Nazorati va Xavfsizlik

9.1. Sovutish va Moylash Suyuqliklari (SOJ)

Paz frezalashda SOJning roli beqiyosdir.

- **Alyuminiy:** Emulsiya yoki moyli tuman (Mist) shart. Maqsad – freza tishlariga material yopishib qolishining (Built-up edge) oldini olish va qirindini yuvib tashlash.²²
- **Po'lat:** Suvli emulsiya sovutish va moylash uchun ishlatiladi. Zamonaviy qoplamali frezalar (TiAlN) bilan quruq (havo) ishlash ham mumkin, bu termal shokni kamaytiradi.
- **Chuqur pazlar:** Yuqori bosimli (High pressure) sovutish tizimlari qirindini tubdan chiqarib tashlash uchun eng samarali vositadir.

9.2. Sifat Nazorati va O'lchash



- **T-simon pazlar:** Shablonlar (Go/No-Go gauges) yordamida tezkor tekshiriladi.

- **"Qaldirg'och dumi":** Roliklar usuli (Method of Rollers) eng aniq usuldir.⁷

- *Formula:*
$$B = l - d - \frac{d}{\tan(\alpha/2)}$$

- Bu yerda B - roliklar orasidagi o'lcham (blok), l - pazning nazariy kengligi, d - rolik diametri, α - paz burchagi.

- Bu usul o'lchash asboblari kira olmaydigan o'tkir burchaklarni hisoblash orqali aniq natija beradi.

9.3. Nuqsonlar va Yechimlar (Troubleshooting)

Nuqson	Sabab	Yechim
Chatter (Titrash)	Tizim bikr emas, tezlik juda yuqori, asbob uzun.	Surishni kamaytirish, qisqaroq asbob ishlatish, aylanishni o'zgartirish.
Taper (Konussimonlik)	Asbobning egilishi (deflection).	"Spring pass" (qayta o'tish) qilish, traxoidal usulga o'tish.
Yomon sirt sifati	O'tmaslashgan asbob, noto'g'ri surish.	Asbobni almashtirish, pardoqlash o'tishida (finishing pass) tezlikni oshirib, surishni kamaytirish.
Asbob sinishi	Qirindi tiqilishi, haddan tashqari yuklama.	Sovutishni kuchaytirish, tishga surishni kamaytirish, "Peck milling" (cho'qilab frezalash) qo'llash.

9.4. Xavfsizlik Texnikasi

Frezalash dastgohlarida ishlash xavfli bo'lishi mumkin.



1. **Asbobga teginmang:** Aylanib turgan shpindelga yoki frezaga hech qachon qo'l tekkizmang.
2. **Qirindini tozalash:** Qirindilarni faqat cho'tka yoki ilgak bilan tozalang, qo'l bilan emas.
3. **Ko'zoynak:** Himoya ko'zoynagi har doim taqilgan bo'lishi shart.
4. **Kiyim:** Yenglar qaytarilgan, sochlar yig'ilgan bo'lishi kerak. Qo'lqop kiyish aylanuvchi qismlarga ilinib qolish xavfini tug'diradi.
5. **Qotirish:** Zagotovka va asbobning mahkam qotirilganligini ish boshlashdan oldin ikki marta tekshiring.

10. Xulosa

Frezalash dastgohlarida pazlarni ochish texnologiyasi oddiy ko'ringani bilan, u chuqur bilim va malaka talab qiladigan jarayondir. Ushbu hisobotda ko'rib chiqilganidek, har bir paz turi – xoh u oddiy shponka ariqchasi bo'lsin, xoh murakkab "qaldirg'och dumi" – o'ziga xos yondashuvni, asbobni va strategiyani talab qiladi.

Asosiy xulosalar:

1. **Usul tanlash:** Oddiy pazlar uchun an'anaviy frezalash yetarli bo'lsa-da, qattiq materiallar va chuqur pazlar uchun **traxoidal frezalash** va **mayatnik usuli** eng samarali yechim hisoblanadi. Bu usullar asbob umrini uzaytiradi va sirt sifatini oshiradi.
2. **Aniqlik:** Pazlarning funksional vazifasi (birikma, yo'naltirish) ularning o'lcham aniqligiga bog'liq. O'lchashning bilvosita usullari (rolıklar) va to'g'ri bazalash (6 nuqta qoidasi) sifat kafolatidir.
3. **Kompleks yondashuv:** Muvaffaqiyatli natijaga erishish uchun dastgohning bikrligi, asbobning geometriyasi, kesish rejimlari va sovutish tizimi bir butun sifatida ko'rib chiqilishi kerak.

Kelajakda ushbu sohada gibrud texnologiyalar (masalan, lazer-frezalash yoki ultratovushli frezalash) va sun'iy intellekt yordamida kesish rejimlarini avtomatik moslashtirish tizimlarining keng joriy etilishi kutilmoqda. Bu esa paz frezalash jarayonini yanada tezroq, aniqroq va tejamkor qilish imkonini beradi.



FOYDALANILGAN MANBALAR:

Источники

1. MASHINASOZLIK TEXNOLGIYASI VA LOYIHALASH ASOSLARI - Ziyonet, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://api.ziyonet.uz/uploads/books/761935/58a194aa19e9e.pdf>
2. Frezalash stanogi - Vikipediya, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://uz.wikipedia.org/wiki/Frezalash_stanogi
3. A Critical Review of Ultrasonic-Assisted Machining of Titanium Alloys - MDPI, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.mdpi.com/2075-1702/13/9/844>
4. Trochoidal Slot Milling | Seco Tools, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://www.secotools.com/article/trochoidal_slot_milling
5. Фрезерование Т образных пазов - Металлообработка, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.inmet16.ru/tobrazn-paz/>
6. Что такое фрезерование пазов: типы, методы, советы и преимущества - China VMT, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.machining-custom.com/ru/blog/what-is-slot-milling.html>
7. Фрезерование пазов ласточкин хвост - Металлообработка, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.inmet16.ru/lastochkin-hvost/>
8. Making Metal DOVETAIL JOINTS - YouTube, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=VtOatSos7wM>
9. 23360-78 Соединения шпоночные размеры допуски, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://metizural.ru/assets/files/std/011-009.pdf>
10. Standard Metric Keys & Keyways for Metric Bores with One Key • Couplings All Types (Page 1 of 2) | Rexnord, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://www.rexnord.com/contentitems/techlibrary/documents/427-140_manual



11. Milling machine processing keyway (part 1)-DXMC, дата последнего обращения: января 24, 2026, <http://www.unimillingmachine.com/news/milling-machine-processing-keyway-part-1.html>
12. STANOKLAR, MOSLAMALAR VA ASBOBLAR - Ziyonet, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://api.ziyonet.uz/uploads/books/555273/5a71738b25783.pdf>
13. П В?LIM - Ziyonet, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://api.ziyonet.uz/uploads/books/673661/5b28d855c3757.pdf>
14. 692P станок шпоночно-фрезерный вертикальный схемы, описание, характеристики, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://stanki-katalog.ru/sprav_692r.htm
15. Крепление заготовки во фрезерном станке 2020 - ВКонтакте, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://vk.com/@stanovlenie_org-kreplenie-zagotovki-vo-frezernom-stanke
16. Brown & Sharpe milling machine dividing head and table slot alignment. - YouTube, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=IqjcGp3ssI>
17. How to use a Dividing Head and Rotary Index Table. - M-Machine Engineering and Fabrication., дата последнего обращения: января 24, 2026, https://www.m-machine-metals.co.uk/info_dividinghead.html
18. Sabirov B. A. MASHINASOZLIK TEXNOLOGIYASI ASOSLARI ..., дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://api.ziyonet.uz/uploads/books/515373/5a3ba234a6d4f.pdf>
19. Milling a Keyway in a Steel Shaft - Instructables, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.instructables.com/Milling-a-keyway-in-a-steel-shaft/>
20. Machining/Cutting Keyways/Slots For Dummies-Rigidity Test Round Column Mill-Largest Key Full Depth? - YouTube, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://www.youtube.com/watch?v=s9N92tD_H40



21. * Multiply the speed factor by the calculated/common milling speed - Olin shop, дата последнего обращения: января 24, 2026, https://machineshop.olin.edu/files/machine-shop/files/mill_commons_chart_draft4.pdf
22. CNC Machine Coolant Guide: Use the Right Types of CNC Coolant - uneed, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.uneedpm.com/cnc-machine-coolant-guide-use-the-right-types-of-cnc-coolant/>
23. What is a keyway cutter? - China Premium Carbide Tools Deliver Optimal Performance, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.ukocarbide.com/faq/what-is-a-keyway-cutter/>
24. Dodging Dovetail Headaches: 7 Common Dovetail Mistakes - In The Loupe - Harvey Performance Company, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/7-common-dovetailing-mistakes/>
25. Фрезерование уступов, пазов и канавок | Технология и приспособления для обработки фрезой, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://mctool.ru/blog/frezerovanie-ustupov-i-pazov>
26. How to Use a Dividing Head: Indexing Charts & Plate Guide - Evolvent Design, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://evolventdesign.com/blogs/history/how-to-use-a-dividing-indexing-head>
27. Slicing and trochoidal milling - Sandvik Coromant, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/slicing-trochoidal-milling>
28. AI-Based Prediction of Ultrasonic Vibration-Assisted Milling Performance - MDPI, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/17/5509>
29. Режимы резания для фрезы при обработке металлов на - Сервис и ремонт станков с ЧПУ, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://inteh-stanki.ru/raschyot-rezhimov-rezaniya-pri-frezerovanii>



30. Calculation for Cutting Speed, Spindle Speed and Feed | NS TOOL CO.,LTD., дата последнего обращения: января 24, 2026, https://www.ns-tool.com/en/technology/technical_data/cutting_speed/
31. Common Formulas for Milling Operations - Speed, Feed, SFM, IPT, MRR, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.dapra.com/resources/milling-formulas>
32. End Mills, HTPM, Speeds and Feeds, Slotting and Side Cutting, Metric, дата последнего обращения: января 24, 2026, [https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/ecommerce-assets/linedrawings/milling/end_mills/speeds-and-feeds/speeds%20and%20feeds,%20htpm%20\(03-1040%20to%2003-1069\),%20slotting%20and%20side%20cutting,%20metric.pdf](https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/ecommerce-assets/linedrawings/milling/end_mills/speeds-and-feeds/speeds%20and%20feeds,%20htpm%20(03-1040%20to%2003-1069),%20slotting%20and%20side%20cutting,%20metric.pdf)
33. Cutting Speeds - LittleMachineShop.com, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://littlemachineshop.com/pages/cutting-speeds>
34. Solving Surface Defects In CNC Milling For Better Quality - SANS Machining, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.sansmachining.com/solving-surface-defects-in-cnc-milling-for-better-quality/>
35. Milling troubleshooting - Sandvik Coromant, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/troubleshooting-milling>
36. Frezalash dastgohi xavfsizligi qoidalari - Yangiliklar, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://srcyrl.milling-machinecnc.com/news/milling-machine-safety-rules-46121029.html>
37. Ilmiy maqola qanday yoziladi.docx
38. O'QUV – USLUBIY MAJMUA - Ziyonet, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://api.ziyonet.uz/uploads/books/7007/61d95f993e6e4.pdf>



39. Фрезерование уступов и пазов: обработка, расчет, способы измерения - Станотекс, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.stanotex.ru/frezerovanie-ustupov-pazov/>
40. Методы фрезерования - виды и их особенности, обработка металла фрезерованием, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.in-core.ru/articles/voprosy-vybora-oborudovaniya/metody-frezerovaniya/>
41. Mashinasozlik Texnologiyasi Maxsus Kurs | PDF - Scribd, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.scribd.com/document/834444782/Mashinasozlik-Texnologiyasi-Maxsus-Kurs>
42. Intro to Trochoidal Milling - In The Loupe - Harvey Performance Company, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.harveyperformance.com/in-the-loupe/introduction-trochoidal-milling/>
43. Фрезерование уступов и пазов - РИНКОМ, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.rinscom.com/articles/frezerovanie-ustupov-i-pazov/>
44. Slotting Heads on milling machines - Model Engine Maker, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.modelenginemaker.com/index.php?topic=5990.0>
45. Spline Milling Basics | Advent Thread Mill, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://adventtoolusa.com/spline-milling-basics/>
46. FEEDS & SPEEDS - MILLING CUTTERS OR SAWS CARBIDE TIPPED, дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://www.hannibalcarbide.com/wp-content/uploads/2024/02/Milling-Cutter-SpeedsFeeds.pdf>
47. ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2), дата последнего обращения: января 24, 2026, <https://docs.cntd.ru/document/gost-23360-78>