

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
MAKTABGACHA VA MAKTAB TA’LIMI VAZIRLIGI
NAMANGAN DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI
“Intellectual fanlar va axborot texnologiyalari” kafedrası

**KOMPOZIT MATERIALLARGA ISHLOV BERISH
TEXNOLOGIYASI
FANIDAN
O‘QUV-USLUBIY MAJMUA**

(ma’ruza matnlari, amaliy va laboratoriya mashg‘ulotlari ishlanmalari, nazorat
savollari, testlar va topshiriqlar)

10011046 – Texnologiya fanini o‘qitish huquqini berish bo‘yicha kasbiy va
pedagogik qayta tayyorlash kursi tinglovchilari uchun
(ishlab chiqarishdan ajralgan va ajralmagan holda)

Fan/modul kodi: KMIBT

Jami: 40 soat (ma’ruza – 10 soat, amaliy mashg‘ulot – 20 soat, laboratoriya – 10
soat)

Namangan – 2026

Mazkur o‘quv-uslubiy majmua Namangan davlat pedagogika instituti Aniq va tabiiy fanlar fakulteti Kengashining 2026-yil “___” _____dagi ___-sonli yig‘ilish bayoni bilan nashrga tavsiya etilgan.

Tuzuvchi:

A. Sayfitdinov – Namangan davlat pedagogika instituti “Intellectual fanlar va axborot texnologiyalari” kafedrasi dotsenti.

Taqrizchilar:

S.X. Abdullayev – p.f.d. (DSc), professor, Namangan davlat pedagogika instituti “Intellectual fanlar va axborot texnologiyalari” kafedrasi.

Sh. Xudoyqulov – t.f.f.d. (PhD), dotsent, Namangan davlat pedagogika instituti “Intellectual fanlar va axborot texnologiyalari” kafedrasi.

Annotatsiya. O‘quv-uslubiy majmua “Kompozit materiallarga ishlov berish texnologiyasi” fanining o‘quv dasturi asosida tuzilgan bo‘lib, 5 ta ma’ruza matni, 5 ta amaliy mashg‘ulot va 5 ta laboratoriya ishi ishlanmasidan iborat. Nazariy materiallar 35 ta sxema, chizma, diagramma va grafik bilan boyitilgan; har bir mavzuda kompozit tarkibini loyihalash (aralashmalar qoidasi), vakuumli infuziyada to‘lish vaqti (Darsi qonuni), kesish rejimlari, parmalashda qatlamlanishning kritik o‘q kuchi, gidroabraziv oqim tezligi va quvvati, lazer chiziqli energiyasi, yelimli birikma mustahkamligi, asbob chidamliligi (Teylor tenglamasi), ultratovush bilan nuqson chuqurligini aniqlash kabi sonli misollar keltirilgan. Har bir mavzu oxirida 5 ta nazorat savoli, javoblar kaliti bilan 5 ta test topshirig‘i va 2 ta mustaqil topshiriq berilgan. Majmua mazmuni Kembrij universiteti (D. Hull, T.W. Clyne), Delaver universiteti Kompozit materiallar markazi va yetakchi texnika universitetlari o‘quv kurslarida qo‘llaniladigan yondashuvlar asosida boyitilgan. Majmua qayta tayyorlash kursi tinglovchilari, pedagogika oliy ta’lim muassasalari talabalari va Texnologiya fani o‘qituvchilari uchun mo‘ljallangan.

MUNDARIJA

KIRISH.....	4
1-MA'RUZA. KIRISH. KOMPOZIT MATERIALLARNING TASNIFI.....	6
2-MA'RUZA. POLIMER KOMPOZIT MATERIALLARNI SHAKLLANTIRISH TEKNOLOGIYALARI.....	14
3-MA'RUZA. KOMPOZIT MATERIALLARGA MEXANIK ISHLOV BERISH ASOSLARI.....	21
4-MA'RUZA. NOAN' ANAVIY VA ILG'OR ISHLOV BERISH USULLARI	28
5-MA'RUZA. KOMPOZIT MATERIALLARNI BIRIKTIRISH VA SIFAT NAZORATI.....	35
1-AMALIY MASHG'ULOT. KOMPOZIT MATERIALLARNING TARKIBIY QISMLARI VA XOSSALARINI LOYIHALASH	42
2-AMALIY MASHG'ULOT. MUAYYAN DETAL UCHUN VAKUUMLI INFUZIYA TEKNOLOGIK XARITASINI VA QOLIP KONSTRUKSIYASINI ISHLAB CHIQISH	47
3-AMALIY MASHG'ULOT. KOMPOZIT MATERIALLARNI PARMALASH VA FREZALASHDA KESISH REJIMLARI VA OPTIMAL ASBOBLARNI TANLASH.....	52
4-AMALIY MASHG'ULOT. GIDROABRAZIV VA LAZERLI KESISH DASTGOHLARI UCHUN TEKNOLOGIK PARAMETRLARNI HISOBLASH HAMDA DASTURLASH.....	57
5-AMALIY MASHG'ULOT. SANOATDA KOMPOZIT BUYUMLAR ISHLAB CHIQRISH LINIYASIDAGI TEKNOLOGIK NUQSONLAR TAHLILI VA ULARNI BARTARAF ETISH USULLARI	63
1-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT MATERIALLARNI PARMALASHDA QATLAMLARGA AJRALISH NUQSONINI O'RGANISH	68
2-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT MATERIALLARNI FREZALASHDA KESISH REJIMLARI VA SIRT G'ADIR-BUDURLIGINI TADQIQ ETISH	72
3-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT DETALLARNI YELIMLI BIRIKMALARI MUSTAHKAMLIGINI MEXANIK SINASH.....	76
4-LABORATORIYA ISHI. MATRITSASI METALL BO'LGAN KOMPOZITLARNI BURASHDA (YO'NISHDA) KESUVCHI ASBOB YEYILISHINI BAHOLASH	80
5-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT MATERIALLARDAGI NUQSONLARNI ULTRATOVUSHLI USUL BILAN BUZMASDAN NAZORAT QILISH	84

MUSTAQIL TA'LIM MAVZULARI VA ULARNI BAJARISH BO'YICHA	
KO'RSATMALAR	88
BAHOLASH MEZONLARI.....	88
YAKUNIY NAZORAT SAVOLLARI.....	89
GLOSSARIY	90
ADABIYOTLAR	91

KIRISH

XXI asr ishlab chiqarishi “yengil, mustahkam va chidamli” materiallarga tayanmoqda. Zamonaviy yo‘lovchi samolyotlari (Boeing 787, Airbus A350) konstruksiyasi massasining qariyb yarmini uglerodplastik tashkil etadi; shamol elektr stansiyalarining 80–100 metrlik parraklari, sport anjomlari, avtomobil kuzov detallari, qayiqlar, quvurlar va hatto qurilish armaturasi tobora ko‘proq kompozit materiallardan tayyorlanmoqda. O‘zbekistonda ham shishaplastik quvurlar, kompozit armatura, polimer-qumli qopqoqlar, avtomobil sanoati uchun plastmassa va kompozit detallar ishlab chiqarish yo‘lga qo‘yilgan.

Kompozit materiallar an‘anaviy metallardan tubdan farq qiladi: ular anizotrop (xossalari yo‘nalishga bog‘liq), qatlamli, issiqlikni yomon o‘tkazadi va kesishda abraziv ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun metallarga ishlov berishda to‘plangan tajribani ularga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirib bo‘lmaydi: noto‘g‘ri tanlangan parma yoki surish teshik atrofida qatlamlanishga, ortiqcha issiqlik smolaning kuyishiga, qoliplashdagi kichik xato esa butun detalning brakka chiqishiga olib keladi.

Texnologiya fani o‘qituvchisi o‘quvchilarga zamonaviy materiallar haqida ilmiy asoslangan tushuncha berishi, maktab ustaxonasida xavfsiz sharoitda oddiy kompozit buyumlar (shishaplastik plastina, model qismlari, sport anjomi elementlari) tayyorlashni tashkil eta olishi hamda o‘quvchilarni yangi kasblarga yo‘naltirishi zarur. Ushbu fan tinglovchilarni aynan shu vazifalarga tayyorlaydi.

Majmuaning tuzilishi

Har bir ma’ruza quyidagi qismlardan iborat: reja va tayanch tushunchalar; rasmlar, sxemalar va jadvallar bilan boyitilgan nazariy ma’lumot; ishlangan sonli misollar; 5 ta nazorat savoli; 5 ta test topshirig‘i va javoblar kaliti; 2 ta mustaqil topshiriq. Amaliy va laboratoriya mashg‘ulotlarida qo‘shimcha ravishda ishning maqsadi, jihozlar, namunaviy hisob, bajarish tartibi va natijalarni qayd etish jadvali berilgan.

Fanni o‘qitishdan kutilayotgan ta’lim natijalari

Fanni o‘zlashtirgan tinglovchi:

- kompozit materiallarning an'anaviy metallardan afzalliklari va farqlarini, sanoatda keng qo'llaniladigan polimer smolalar (epoksid, poliefir) va armaturalovchi tolalar (shisha, uglerod, aramid) xususiyatlarini **biladi** (TN1);
- sodda polimer kompozit detallarni qo'lda va vakuum yordamida qoliplay oladi, kesish rejimi va asbobni to'g'ri tanlaydi, kompozit qismlarni yelim va mexanik usullar bilan biriktira oladi (TN2);
- qatlamlanish (delaminatsiya) nuqsonining oldini oladi, tayyor mahsulot nuqsonlarini vizual va oddiy akustik usullar bilan aniqlaydi, xavfsizlik texnikasiga qat'iy amal qiladi (TN3).

Mashg'ulotlar taqsimoti

№	Mavzu	Turi	Soat
M1	Kirish. Kompozit materiallarning tasnifi	Ma'ruza	2
M2	Polimer kompozit materiallarni shakllantirish texnologiyalari	Ma'ruza	2
M3	Kompozit materiallarga mexanik ishlov berish asoslari	Ma'ruza	2
M4	Noan'anaviy va ilg'or ishlov berish usullari	Ma'ruza	2
M5	Kompozit materiallarni biriktirish va sifat nazorati	Ma'ruza	2
A1	Kompozit materiallarning tarkibiy qismlari va xossalarini loyihalash	Amaliy	4
A2	Vakuumli infuziya texnologik xaritasi va qolip konstruksiyasini ishlab chiqish	Amaliy	4
A3	Parmalash va frezalashda kesish rejimlari va optimal asboblarni tanlash	Amaliy	4
A4	Gidroabraziv va lazerli kesish parametrlarini hisoblash va dasturlash	Amaliy	4
A5	Ishlab chiqarish liniyasidagi texnologik nuqsonlar tahlili	Amaliy	4
L1	Parmalashda qatlamlarga ajralish nuqsonini o'rganish	Laboratoriya	2
L2	Frezalashda kesish rejimlari va sirt g'adir-budurligini tadqiq etish	Laboratoriya	2
L3	Yelimli birikmalar mustahkamligini mexanik sinash	Laboratoriya	2
L4	Metall matritsali kompozitlarga ishlov berishda asbob yeyilishini baholash	Laboratoriya	2
L5	Nuqsonlarni ultratovushli usul bilan buzmasdan nazorat qilish	Laboratoriya	2
	Jami		40

Mehnat xavfsizligi bo'yicha umumiy talablar

Kompozitlar bilan ishlashda uchta asosiy xavf mavjud: (1) smolalar, qotirgichlar va erituvchilarning bug'lari (stirool, aminlar, aseton) – nafas yo'llari va terini ta'sirlantiradi, ayrimlari allergen; (2) tola changlari – kesish va silliqlashda hosil bo'ladigan mayda shisha va uglerod zarrachalari o'pkaga tushadi, teri qichishiga sabab bo'ladi, uglerod changi esa elektr o'tkazuvchan bo'lgani uchun elektr jihozlarida qisqa tutashuv xavfini tug'diradi; (3) qotish reaksiyasining ekzotermik issiqligi – katta hajmdagi aralashtirilgan smola idishda o'z-o'zidan qizib, tutashi mumkin. Shu sababli barcha mashg'ulotlar mo'rili shkaf yoki mahalliy so'rg'ich ostida, nitril qo'lqop, himoya ko'zoynagi, FFP2/FFP3 respirator (smola bug'lari uchun – A tipidagi filtrli niqob) va paxtali xalatda o'tkaziladi. Smola chiqindilari to'liq qotirilgandan so'ng qattiq maishiy chiqindi sifatida, erituvchilar esa alohida idishda yig'ilib, utilizatsiya qilinadi.

1-MA'RUZA. KIRISH. KOMPOZIT MATERIALLARNING TASNIFI

Reja:

- Kompozit material tushunchasi va zamonaviy ishlab chiqarishdagi o'rni.
- Matritsa va armaturalovchi elementlarning vazifalari.
- Kompozitlarning matritsa turi va armatura shakli bo'yicha tasnifi.
- Armaturalovchi tolalar: shisha, uglerod, aramid tolalari.
- Kompozitlarning metallardan afzalliklari va kamchiliklari.

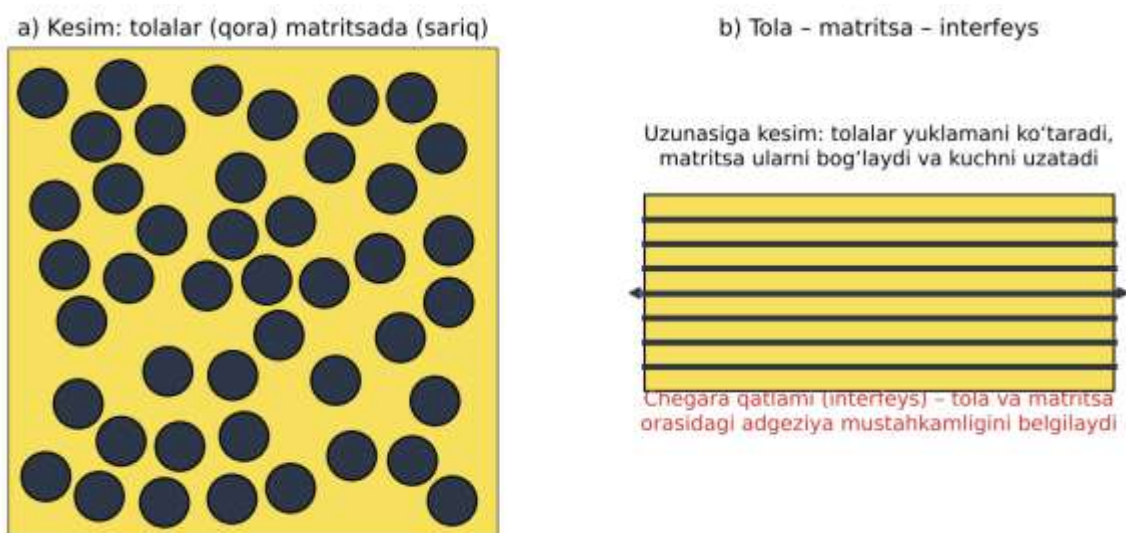
Tayanch tushunchalar: kompozit, matritsa, armatura (to'ldiruvchi), interfeys, anizotropiya, solishtirma mustahkamlik, solishtirma bikirlik, prepreg, laminat, tolaning hajmiy ulushi.

1.1. Kompozit material tushunchasi

Kompozit material (lot. compositio – tuzish, birlashtirish) – kimyoviy tarkibi va xossalari jihatidan bir-biridan farq qiluvchi, o'zaro aniq chegara (interfeys) bilan ajralgan ikki yoki undan ortiq komponentdan sun'iy ravishda yaratilgan va komponentlarning hech birida alohida mavjud bo'lmagan yangi xossalar majmuasiga ega bo'lgan material.

Kompozitda ikki asosiy tarkibiy qism ajratiladi (1-rasm):

- **matritsa** (bog'lovchi) – uzluksiz faza bo'lib, armaturani yagona yaxlit jismga birlashtiradi, tashqi yuklamani tolalarga uzatadi va taqsimlaydi, tolalarni mexanik shikastlanish va tashqi muhit ta'siridan himoya qiladi, kompozitning issiqbardoshligi, kimyoviy chidamliligi va ko'ndalang yo'nalishdagi xossalarini belgilaydi;
- **armaturalovchi element** (to'ldiruvchi, tola) – uzlukli faza bo'lib, asosiy yuklamani ko'taradi, kompozitning mustahkamligi va bikirligini ta'minlaydi.



1-rasm. *Kompozitning tuzilishi: matritsa, tolalar va ularni bog'lovchi interfeys*

Ikki faza orasidagi **interfeys** (chegara qatlami) kompozitning “yuragi” hisoblanadi. Agar tola va matritsa orasidagi adgeziya kuchsiz bo'lsa, yuklama tolalarga yetib bormaydi va material past kuchlanishda qatlamlanib buziladi. Shuning uchun shisha tolalar sirti appret (silan birikmalari), uglerod tolalar sirti esa oksidlash va “sayzing” (yupqa polimer qoplama) bilan maxsus ishlov beriladi.

Tabiatda ham kompozitlar keng uchraydi: yog'och – sellyuloza tolalari lignin matritsasida; suyak – kollagen tolalari va gidroksiapatit kristallari; bambuk – qattiq tolalar va yumshoq parenxima. Inson qadimdan somonli loy (guvala), xom g'isht, temir-beton kabi sun'iy kompozitlardan foydalanib kelgan. Zamonaviy ma'nodagi kompozitlar sanoati esa XX asrning 40-yillarida shishaplastik paydo bo'lishi bilan boshlandi, 60-yillarda uglerod va bor tolalari, 70-yillarda aramid (kevlar) tolalari yaratildi.

1.2. Zamonaviy ishlab chiqarishda kompozitlarning o'rni

Kompozitlarning qo'llanilish sohalari tobora kengaymoqda:

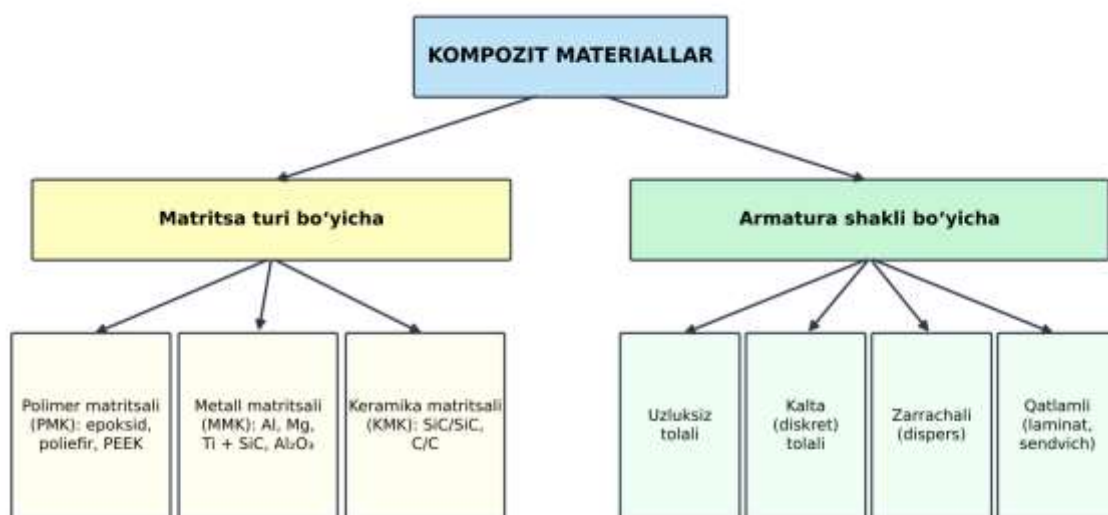
- **aviatsiya va kosmonavtika** – qanot, fyuzelyaj, rul yuzalari, vertolyot parraklari, raketa korpuslari, sun'iy yo'ldosh antennalari (Boeing 787 da konstruksiya massasining ~50 %, Airbus A350 da ~53 % i kompozit);
- **energetika** – shamol generatori parraklari, elektr izolyatorlari, yuqori bosimli gaz ballonlari;

- **avtomobilsozlik** – kuzov panellari, bamperlar, ressoralar, kardan vallari, elektromobil batareya qutilari;
- **kemasozlik** – qayiq va kater korpuslari, palubalar;
- **qurilish** – kompozit armatura, ko‘priklarni kuchaytirish lentalar, fasad panellari, quvurlar, sig‘imlar;
- **sport va maishiy buyumlar** – velosiped ramalari, tennis raketkalari, chang‘ilar, baliq ovlash qarmoqlari, dubulg‘alar;
- **tibbiyot** – protezlar, ortezlar, rentgenga shaffof stol qoplamalari.

Kompozitlar global bozori yildan-yilga o‘shib bormoqda; bu o‘shishning asosiy sababi – transport vositalarining massasini kamaytirish orqali yoqilg‘i tejash va zararli chiqindilarni kamaytirish talabi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, yo‘lovchi samolyoti massasini 1 kg ga kamaytirish uning xizmat muddati davomida bir necha tonna yoqilg‘i tejashga imkon beradi.

1.3. Kompozitlarning tasnifi

Kompozitlar bir necha belgisi bo‘yicha tasniflanadi (2-rasm).



2-rasm. Kompozit materiallarning tasnifi

Matritsa turi bo‘yicha:

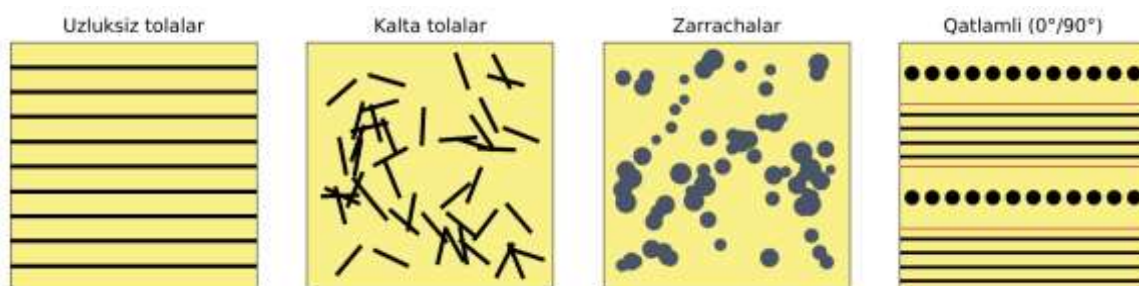
- **polimer matritsali kompozitlar (PMK)** – eng keng tarqalgan guruh (ishlab chiqarilayotgan kompozitlarning 90 % dan ortig‘i). Matritsa sifatida termoreaktiv smolalar (poliefir, vinilefir, epoksid,

fenolformaldegid) yoki termoplastlar (polipropilen, poliamid, PEEK) ishlatiladi. Ishchi harorati odatda 120–180 °C dan oshmaydi;

- **metall matritsali kompozitlar (MMK)** – alyuminiy, magniy, titan, mis matritsasi kremniy karbidi (SiC), alyuminiy oksidi (Al_2O_3), bor yoki uglerod tolalari va zarrachalari bilan armaturalanadi. Masalan, Al + 20 % SiC zarrachali kompozit tormoz disklari va porshenlarda qoʻllaniladi; ishchi harorati 300–500 °C gacha;
- **keramika matritsali kompozitlar (KMK)** – SiC/SiC, C/SiC, uglerod-uglerod (C/C). Juda yuqori haroratda (1000–2000 °C) ishlaydi: tormoz disklari (Formula-1, aviatsiya), raketa soplolari, gaz turbinasi qismlari.

Armatura shakli boʻyicha (3-rasm):

- uzluksiz tolali (bir yoʻnalishli lenta, mato, oʻralgan tola);
- kalta (diskret) tolali – tola uzunligi 0,1–50 mm, tartibsiz joylashgan (SMC, BMC, quyma termoplastlar);
- zarrachali (dispers) – kukun, sharcha koʻrinishidagi toʻldiruvchilar;
- qatlamli – laminatlar (bir necha qatlam turli yoʻnalishda yotqizilgan) va sendvich konstruksiyalar (ikki yupqa qoplama + yengil toʻldirgich: sotali, koʻpikli, balsa).



3-rasm. Armaturalovchi elementlarning joylashish shakllari

Armaturalash sxemasi boʻyicha: bir yoʻnalishli (UD), ikki yoʻnalishli (mato, 0°/90°), koʻp yoʻnalishli (kvazi-izotrop laminat: 0°/±45°/90°), hajmiy (3D toʻqima) kompozitlar.

1.4. Armaturalovchi tolalar

Sanoatda eng koʻp ishlatiladigan uchta tola turi 1-jadvalda taqqoslangan.

1-jadval. Armaturalovchi tolalarning tipik xossalari

Ko'rsatkich	E-shisha tola	Uglerod tola (standart modul)	Aramid tola (Kevlar 49)
Zichlik ρ , g/sm ³	2,54	1,78	1,44
Cho'zilishdagi mustahkamlik σ , MPa	3400	3500–4900	3600
Elastiklik moduli E, GPa	72	230–240	124
Uzilishdagi deformatsiya ε , %	4,8	1,5–2,0	2,5
Elementar tola diametri, mkm	9–17	5–7	12
Narxi (nisbiy)	1	10–20	5–8
Asosiy afzalligi	arzon, izolyator	bikir, yengil, charchoqqa chidamli	zarbga chidamli

Shisha tolalar eritilgan shishani platina filyeralardan cho'zib olinadi. E-shisha (elektrotexnik) eng arzon va keng tarqalgan; S-shisha (yuqori mustahkam) aviatsiyada, AR-shisha (ishqorbardosh) betonni armaturalashda ishlatiladi. Shishaplastik elektr tokini o'tkazmaydi, radioto'lqinlarga shaffof, korroziyaga chidamli.

Uglerod tolalar asosan poliakrilonitril (PAN) tolalarini bosqichma-bosqich termik ishlov berish orqali olinadi: 200–300 °C da havoda stabillash (oksidlash), 1000–1500 °C da inert muhitda karbonlash, yuqori modulli tolalar uchun esa 2500–3000 °C da grafitlash. Uglerod tola o'ta bikir, yengil, charchoqqa chidamli, issiqlik kengayishi deyarli nolga teng; ammo mo'rt, zarbga sezgir va qimmat. Tolalar 1K, 3K, 12K, 24K jgutlar ko'rinishida (K – mingta elementar tola) chiqariladi.

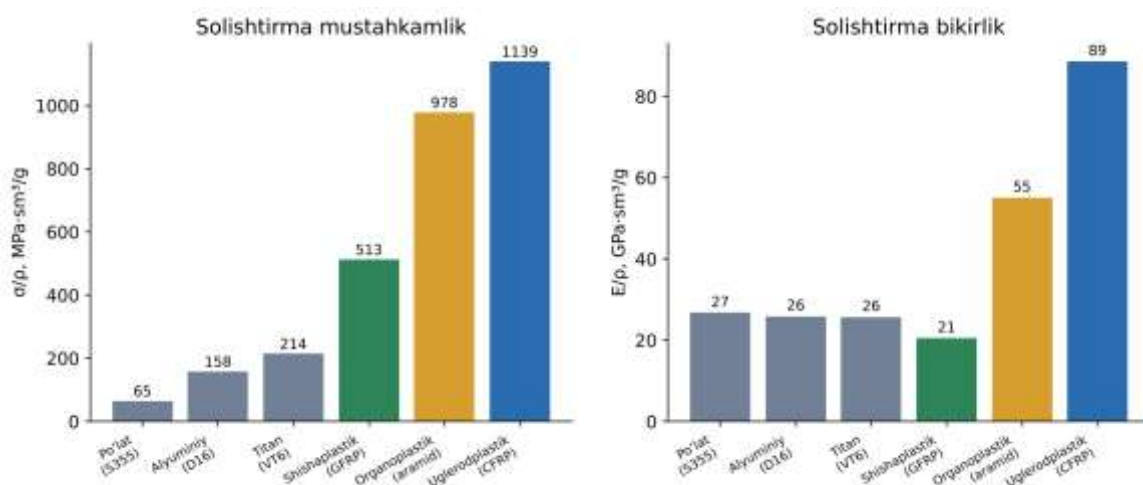
Aramid tolalar (Kevlar, Twaron, Rusar) – aromatik poliamidlar. Zarba va kesishga juda chidamli, shuning uchun bronejilet, dubulg'a va himoya qoplamalarida ishlatiladi. Kamchiligi – siqilishdagi mustahkamligi past, namlikni yutadi va **mexanik ishlov berish juda qiyin**: tolalar kesilmasdan “tuklanib” qoladi.

Bundan tashqari bazalt tolasi (shisha tolaga yaqin, issiqbardoshroq), bor tolasi, tabiiy tolalar (zig'ir, kanop, jut) va o'ta yuqori molekulyar polietilen (Dyneema) tolalari ham qo'llaniladi.

Matritsa smolalari. Poliefir smolalar arzon, xona haroratida qotadi (qotirgich – metiletilketon peroksidi, MEKP, 1–2 %), lekin qotishda kirishishi katta (6–8 %) va stirol bug‘lari zararli. Epoksid smolalar mustahkam, adgeziyasi yuqori, kirishishi kichik (1–3 %), qotirgich bilan aniq nisbatda (masalan, 100:30 massa ulushida) aralashtiriladi. Vinilefir smolalar oraliq xossaga ega va kimyoviy chidamliligi bilan ajralib turadi.

1.5. Kompozitlarning afzalliklari va kamchiliklari

Kompozitlarning asosiy afzalligi – **yuqori solishtirma mustahkamlik (σ/ρ) va solishtirma bikirlik (E/ρ)**, ya’ni massa birligiga to‘g‘ri keladigan xossalar (4-rasm).



4-rasm. *Konstruksion materiallarning solishtirma mustahkamligi va bikirligi (bir yo‘nalishli kompozitlar uchun tola yo‘nalishida)*

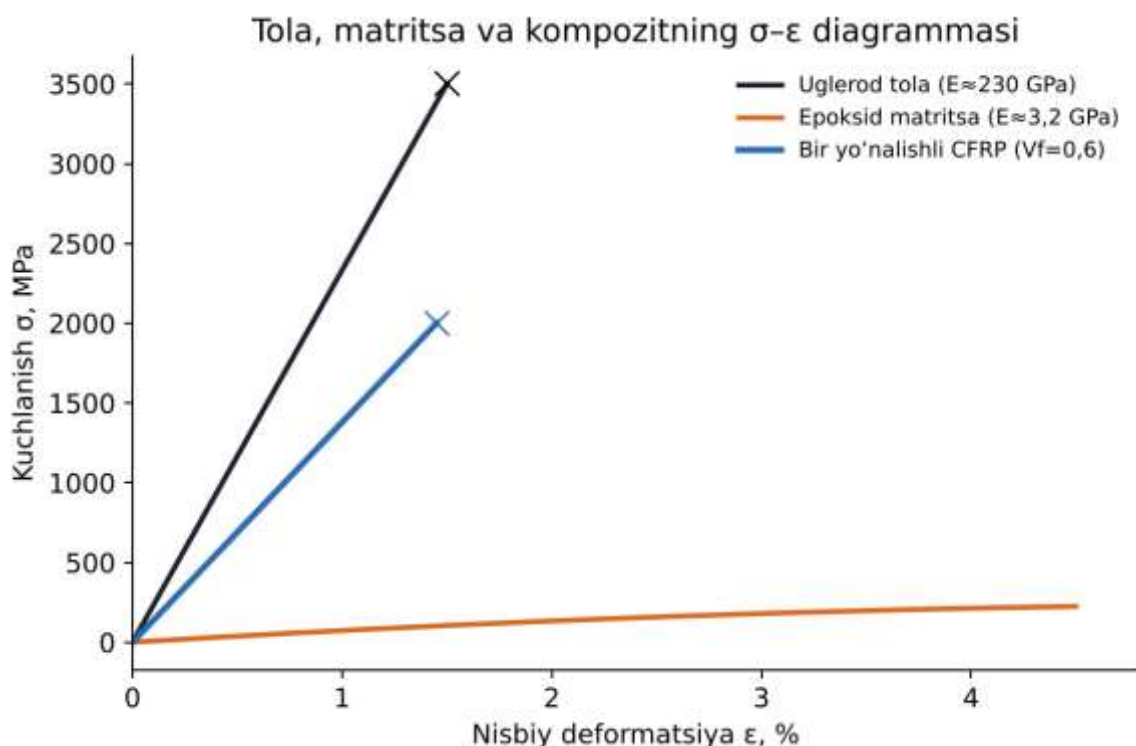
4-rasmdan ko‘rinib turibdiki, bir yo‘nalishli uglerodplastik tola yo‘nalishida solishtirma mustahkamlik bo‘yicha po‘latdan 17 marta, alyuminiy qotishmasidan 7 marta ustun. Boshqa afzalliklar: korroziyaga chidamlilik, charchoqqa yuqori chidamlilik, xossalarni “loyihalash” imkoniyati (tolalarni yuklama yo‘nalishida joylashtirish), murakkab shakldagi yirik detallarni bir bosqichda qoliplash, past issiqlik va elektr o‘tkazuvchanlik (shishaplastik), radioshaffoflik.

Kamchiliklari:

- **anizotropiya** – tola bo‘ylab va tolaga ko‘ndalang xossalar o‘nlab marta farq qiladi;

- qatlamlararo mustahkamlikning pastligi, zarbadan keyin ichki qatlamlanish;
- polimer matritsaning issiqbardoshligi chegaralangan, namlik va ultrabinafsha nurga sezgir;
- mexanik ishlov berish qiyin (qatlamlanish, tolalarning tortilib chiqishi, asbobning tez yeyilishi);
- ichki nuqsonlarni aniqlash murakkab, ta'mirlash qiyin;
- qayta ishlash (utilizatsiya) muammosi.

5-rasmda tola, matritsa va bir yo‘nalishli kompozitning cho‘zilish diagrammalari taqqoslangan. Tola va kompozit uzilguncha deyarli chiziqli-elastik ishlaydi (metallardagi kabi oquvchanlik maydonchasi yo‘q) – bu kompozitning “ogohlantirmasdan” mo‘rt buzilishini bildiradi. Shuning uchun kompozit konstruksiyalarda zaxira koeffitsiyenti katta olinadi.



5-rasm. Tola, matritsa va bir yo‘nalishli kompozitning kuchlanish–deformatsiya diagrammasi

1.6. Ishlangan misollar

1-misol. Kompozit zichligi va bikirligi. Bir yo‘nalishli uglerodplastikda tolaning hajmiy ulushi $V_f = 0,60$. Tola: $E_f = 230$ GPa, $\rho_f = 1,78$ g/sm³; epoksid

matritsa: $E_m = 3,5 \text{ GPa}$, $\rho_m = 1,20 \text{ g/sm}^3$. Kompozitning zichligi va tola yoʻnalishidagi moduli aniqlansin.

Yechish. Matritsaning hajmiy ulushi $V_m = 1 - V_f = 0,40$.

$$\rho_c = V_f \rho_f + V_m \rho_m = 0,60 \cdot 1,78 + 0,40 \cdot 1,20 = 1,068 + 0,480 = 1,548 \text{ g/sm}^3$$

$$E_l = V_f E_f + V_m E_m = 0,60 \cdot 230 + 0,40 \cdot 3,5 = 138 + 1,4 = 139,4 \text{ GPa}$$

Solishtirma bikiirlik: $E_l / \rho_c = 139,4 / 1,548 = 90,1 \text{ GPa} \cdot \text{sm}^3/\text{g}$. Poʻlat uchun $210 / 7,85 = 26,8 \text{ GPa} \cdot \text{sm}^3/\text{g}$. Demak, tola yoʻnalishida uglerodplastik poʻlatdan 3,4 marta “solishtirma bikiirroq”.

2-misol. Massa ulushidan hajmiy ulushga oʻtish. Ishlab chiqarishda tola ulushi koʻpincha massa boʻyicha (W_f) beriladi. Shishaplastikda $W_f = 70 \%$, $\rho_f = 2,54 \text{ g/sm}^3$, poliefir smola $\rho_m = 1,15 \text{ g/sm}^3$. V_f topilsin.

$$V_f = (W_f / \rho_f) / (W_f / \rho_f + W_m / \rho_m) = (0,70 / 2,54) / (0,70 / 2,54 + 0,30 / 1,15) = 0,2756 / (0,2756 + 0,2609) = 0,514$$

Yaʼni massa boʻyicha 70 % shisha tola hajm boʻyicha atigi 51,4 % ni tashkil qiladi – bu shisha ogʻirroq ekanligi bilan izohlanadi.

3-misol. Poʻlat panelni kompozit bilan almashtirishda massa tejami. Egilishdagi bikiirligi bir xil boʻlgan ikki panel taqqoslanmoqda: poʻlat ($E_s = 210 \text{ GPa}$, $\rho_s = 7,85 \text{ g/sm}^3$) va kvazi-izotrop uglerodplastik ($E_c = 70 \text{ GPa}$, $\rho_c = 1,55 \text{ g/sm}^3$). Plastinaning egilish bikiirligi $E \cdot t^3$ ga proporsional, shuning uchun:

$$t_c / t_s = (E_s / E_c)^{1/3} = (210 / 70)^{1/3} = 3^{1/3} = 1,442$$

$$m_c / m_s = (t_c / t_s) \cdot (\rho_c / \rho_s) = 1,442 \cdot 1,55 / 7,85 = 0,285$$

Kompozit panel 1,44 marta qalinroq boʻlsa-da, uning massasi poʻlat panelnikidan 71,5 % ga kam. Avtomobil va samolyotsozlikda kompozitlarga oʻtishning asosiy sababi ham shu.

Nazorat savollari

1. Kompozit materialga taʼrif bering. Matritsa va armaturaning vazifalarini ayting.

2. Interfeys (chegara qatlami) nima uchun kompozit xossalari belgilaydi? Tola sirtiga qanday ishlov beriladi?

3. Kompozitlar matritsa turi bo'yicha qanday guruhlarga bo'linadi? Har biriga misol keltiring.

4. Shisha, uglerod va aramid tolalarni zichlik, modul, narx va ishlov berish qulayligi bo'yicha taqqoslang.

5. Anizotropiya nima va u kompozit konstruksiyani loyihalashga qanday ta'sir qiladi?

Test topshiriqlari

1. Kompozitda asosiy yuklamani qaysi komponent ko'taradi?

- A) matritsa
- B) armaturalovchi tola
- C) interfeys
- D) qotirgich

2. Uglerod tolalarning asosiy xom ashyosi qaysi?

- A) kvars qumi
- B) poliakrilonitril (PAN)
- C) polietilen
- D) bazalt

3. Qaysi tola eng yuqori elastiklik moduliga ega?

- A) E-shisha
- B) aramid
- C) uglerod
- D) zig'ir

4. Massa bo'yicha 60 % shisha tola ($\rho_f = 2,54$), qolgani smola ($\rho_m = 1,2$) bo'lsa, V_f taxminan nechaga teng?

- A) 0,60
- B) 0,41
- C) 0,75
- D) 0,25

5. Formula-1 tormoz disklarida ishlatiladigan kompozit qaysi guruhga kiradi?

- A) polimer matritsali
- B) metall matritsali
- C) uglerod-uglerod (keramika matritsali)
- D) zarrachali termoplast

KALIT: 1–B; 2–B; 3–C; 4–B; 5–C

Mustaqil topshiriqlar

1. Uyingizda va maktab ustaxonasida uchraydigan 8–10 ta kompozit buyumni aniqlang. Har biri uchun matritsa, armatura turi va nima uchun aynan kompozit tanlanganini jadval ko‘rinishida yozing.

2. $V_f = 0,5$ bo‘lgan E-shisha/epoksid ($E_f = 72$ GPa, $E_m = 3,2$ GPa, $\rho_f = 2,54$, $\rho_m = 1,15$) kompozitning zichligi, tola yo‘nalishidagi moduli va solishtirma bikirligini hisoblang hamda alyuminiy qotishmasi ($E = 72$ GPa, $\rho = 2,78$) bilan taqqoslang.

2-MA'RUZA. POLIMER KOMPOZIT MATERIALLARNI SHAKLLANTIRISH TEXNOLOGIYALARI

Reja:

- Shakllantirish jarayonining umumiy bosqichlari. Qoliplar va yordamchi materiallar.
- Kontaktli (qo'lda) qoliplash va purkash usuli.
- Vakuumli infuziya (VARTM) va RTM texnologiyalari. Darsi qonuni.
- Prepreglar va avtoklav texnologiyasi.
- Presslash (SMC/BMC), namotka va pultruziya. Usulni tanlash mezonlari.

Tayanch tushunchalar: qolip, separator, gelkout, kontaktli qoliplash, vakuum paketi, infuziya, o'tkazuvchanlik, prepreg, avtoklav, qotirish sikli, presslash, namotka, pultruziya, gel-vaqt (yashovchanlik).

2.1. Shakllantirish jarayonining umumiy bosqichlari

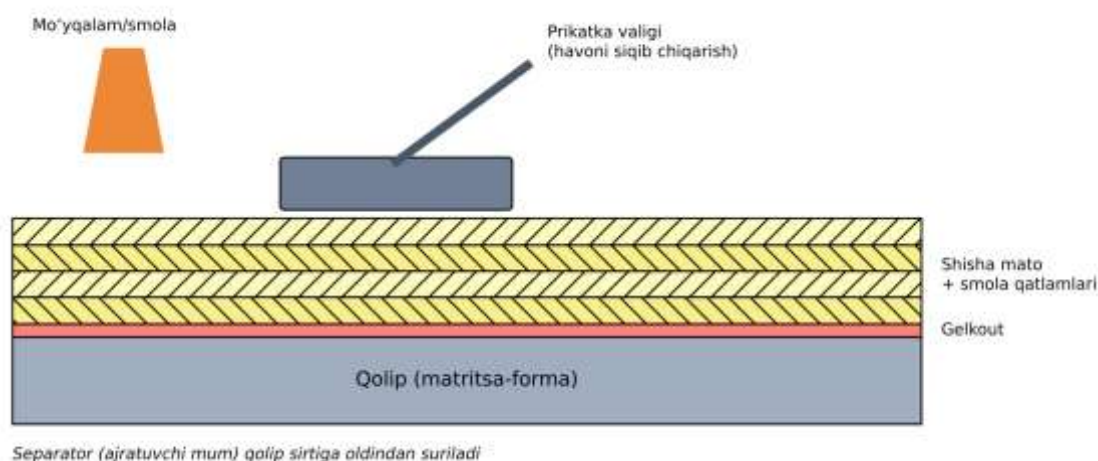
Polimer kompozit detal metall detaldan farqli ravishda **material va buyum bir vaqtda hosil bo'ladi**: smola tolalarni shimdiradi va qolip ichida qotadi. Shuning uchun qoliplash texnologiyasi kompozitning yakuniy xossalarini (tola ulushi, g'ovaklik, qatlamlararo mustahkamlik) bevosita belgilaydi. Har qanday usulda quyidagi bosqichlar mavjud:

- qolipni tayyorlash – tozalash, separator (ajratuvchi mum yoki suyuq ajratuvchi) surtish;
- armaturani bichish va qolipga yotqizish (talab qilingan yo'nalish va qatlamlar soni bo'yicha);
- tolalarni smola bilan shimdirish va havoni chiqarib yuborish;
- konsolidatsiya – bosim (qo'l valigi, vakuum, press, avtoklav) ostida zichlash;
- qotirish – xona haroratida yoki qizdirib;
- qolipdan olish va yakuniy mexanik ishlov berish (qirralarni kesish, teshiklar).

Qoliplar shishaplastik, alyuminiy, po‘lat, MDF yoki maxsus qolip plitalaridan tayyorlanadi. Qolip sirtining sifati buyum sirtiga to‘liq ko‘chadi, shuning uchun u silliqqlanadi va polirlanadi. Qolipda chiqarish qiyaligi ($1-3^\circ$) va vakuum germetigi uchun 50–100 mm kenglikdagi flanes bo‘lishi lozim.

2.2. Kontaktli (qo‘lda) qoliplash

Eng sodda, arzon va maktab ustaxonasi uchun eng qulay usul (6-rasm). Ochiq qolipga separator, so‘ngra **gelkout** – buyumning bezak va himoya qatlami (0,4–0,6 mm) surtiladi. Gekout yopishqoq holatga kelgach (20–40 min), shisha mato yoki shisha mat qatlamlari navbatma-navbat yotqizilib, mo‘yqalam yoki valik bilan smola shimdiriladi. Har bir qatlam **prikatka valigi** bilan zichlanib, havo pufakchalari siqib chiqariladi.



6-rasm. Kontaktli (qo‘lda) qoliplash sxemasi

Usul afzalliklari: qimmat jihozlar talab qilinmaydi, istalgan o‘lchamdagi buyum (qayiq korpusi, hovuz, idish) tayyorlash mumkin. Kamchiliklari: tola ulushi past ($V_f = 0,25-0,35$), sifat ishchining malakasiga bog‘liq, g‘ovaklik yuqori, stirol bug‘lari ochiq havoga chiqadi. Rivojlangan varianti – **purkash**: maxsus to‘pponcha shisha jgutni 20–50 mm bo‘laklarga kesib, smola bilan birga qolipga purkaydi.

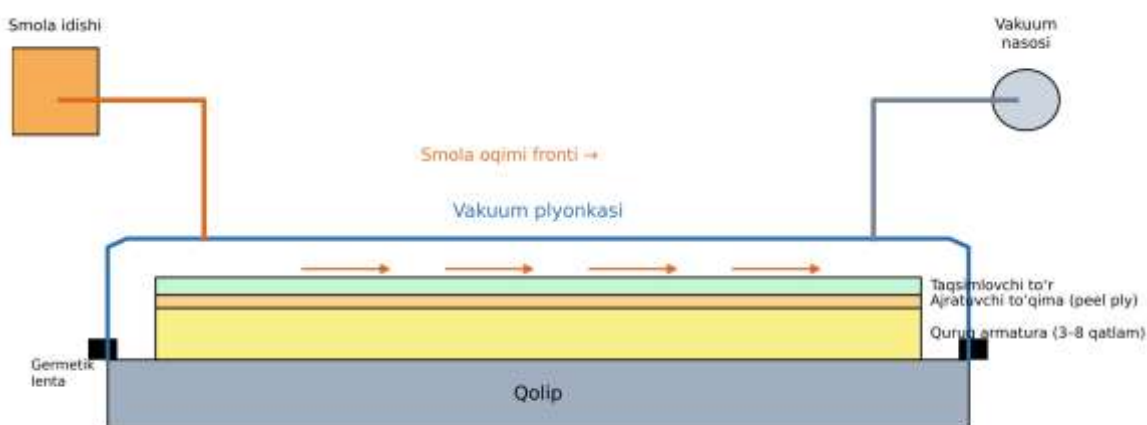
Smola sarfini hisoblash misoli. Yuzasi 2 m^2 bo‘lgan buyum 450 g/m^2 li shisha matning 4 qatlamidan tayyorlanadi, tola massa ulushi $W_f = 30 \%$. Tola massasi: $2 \cdot 4 \cdot 0,45 = 3,6 \text{ kg}$. Smola massasi:

$$mm = mf \cdot (1 - W_f) / W_f = 3,6 \cdot 0,70 / 0,30 = 8,4 \text{ kg}$$

Qotirgich (MEKP, 2 %): $8,4 \cdot 0,02 = 0,168 \text{ kg} \approx 170 \text{ g}$. Amalda yo‘qotishlar uchun smola 10–15 % ortiq tayyorlanadi, lekin u bir yo‘la emas, 1–1,5 kg lik porsiyalarda aralashtiriladi (ekzotermik qizishning oldini olish uchun).

2.3. Vakuumli infuziya va RTM

Vakuumli infuziya (VARTM – Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding) – hozirgi kunda kemasozlik, shamol energetikasi va avtomobilsozlikda eng tez rivojlanayotgan usul (7-rasm). Quruq armatura qatlamlari qolipga yotqiziladi, ustidan ajratuvchi to‘qima (peel ply) va smolani tez tarqatuvchi to‘r qo‘yiladi, so‘ngra hammasi vakuum plyonkasi bilan germetik lenta yordamida yopiladi. Vakuum nasosi paket ichidagi havoni so‘rib oladi, atmosfera bosimi ($\approx 0,1 \text{ MPa}$) armaturani siqadi, keyin smola kirish kanali ochiladi va bosimlar farqi ta‘sirida smola armatura orqali oqib, uni shimdiradi.



7-rasm. Vakuumli infuziya sxemasi

Afzalliklari: tola ulushi yuqori ($V_f = 0,50\text{--}0,60$), g‘ovaklik past ($< 1\text{--}2\%$), zararli bug‘lar paket ichida qoladi, mahsulot sifati barqaror. **RTM** (Resin Transfer Moulding) da esa armatura ikki tomonlama qattiq yopiq qolipga joylanadi va smola $0,2\text{--}1,0 \text{ MPa}$ bosim bilan haydaladi – ikkala sirt ham silliq chiqadi, o‘rta seriyali ishlab chiqarishga mos.

Darsi qonuni. Smolaning g‘ovak armatura orqali oqishi Darsi qonuni bilan tavsiflanadi:

$$q = -(K/\mu) \cdot (dP/dx)$$

bu yerda q – filtrlash tezligi, K – armaturaning o'tkazuvchanligi (m^2), μ – smola qovushqoqligi ($Pa \cdot s$), dP/dx – bosim gradienti. Bir o'lchovli oqim uchun smola fronti L masofani bosib o'tishiga ketadigan vaqt:

$$t = \mu \cdot \varphi \cdot L^2 / (2 \cdot K \cdot \Delta P)$$

bu yerda φ – armaturaning g'ovakligi ($\varphi = 1 - V_f$), ΔP – bosimlar farqi. Formuladan muhim xulosa kelib chiqadi: **to'lish vaqti oqim yo'li uzunligining kvadratiga proporsional**. Oqim yo'lini 2 marta uzaytirish vaqtni 4 marta oshiradi.

Misol. $\mu = 0,30 \text{ Pa} \cdot s$, $V_f = 0,5$ ($\varphi = 0,5$), $K = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$, $\Delta P = 0,09 \text{ MPa}$, $L = 0,8 \text{ m}$:

$$t = 0,30 \cdot 0,5 \cdot 0,8^2 / (2 \cdot 2 \cdot 10^{-10} \cdot 0,9 \cdot 10^5) = 0,096 / 3,6 \cdot 10^{-5} = 2667 \text{ s} \approx 44 \text{ min}$$

Agar smolaning yashovchanlik vaqti (gel-time) 40 min bo'lsa, smola armaturani to'liq shimdirib ulgurmaydi – detalda quruq joy qoladi. Yechimlar: taqsimlovchi to'r qo'yish (samarali K ni 5–10 marta oshiradi), kirish kanalini o'rta joylashtirish ($L = 0,4 \text{ m}$ bo'lsa $t = 11 \text{ min}$), qovushqoqligi pastroq smola tanlash yoki smolani 25–30 °C gacha isitish.

2.4. Prepreglar va avtoklav texnologiyasi

Prepreg (ingl. pre-impregnated – oldindan shimdirilgan) – zavod sharoitida aniq miqdordagi qisman qotirilgan (B-bosqich) smola bilan shimdirilgan tola lentasi yoki mato. Prepregda tola va smola nisbati aniq nazorat qilinadi (odatda 35–40 % smola massa bo'yicha), shuning uchun eng yuqori sifatli detallar olinadi. Prepreglar –18 °C da muzlatgichda saqlanadi va cheklangan “xona hayoti”ga (odatda 10–30 kun) ega.

Prepreg qatlamlari qolipga yotqiziladi, vakuum paketiga joylanadi va **avtoklavda** – qizdiriladigan bosimli idishda qotiriladi. Tipik qotirish sikli 8-rasmda keltirilgan: qizdirish tezligi 1–3 °C/min, oraliq to'xtam (smola suyulib, havo chiqib ketishi uchun), so'ng 180 °C da 2 soatlik qotish to'xtami, sekin sovitish. Butun sikl davomida paket ichida vakuum saqlanadi, avtoklavda esa 0,6–0,7 MPa ortiqcha bosim beriladi.



8-rasm. *Prepregni avtoklavda qotirishning tipik sikli*

Avtoklav texnologiyasi aviatsiya uchun “oltin standart” bo‘lib, g‘ovaklik 1 % dan kam bo‘ladi. Kamchiligi – avtoklav va prepreglarning juda qimmatligi va energiya sarfining kattaligi. Shuning uchun so‘nggi yillarda avtoklavsiz (OOA – out-of-autoclave) prepreglar va infuziya texnologiyalari rivojlanmoqda.

2.5. Presslash, namotka va pultruziya

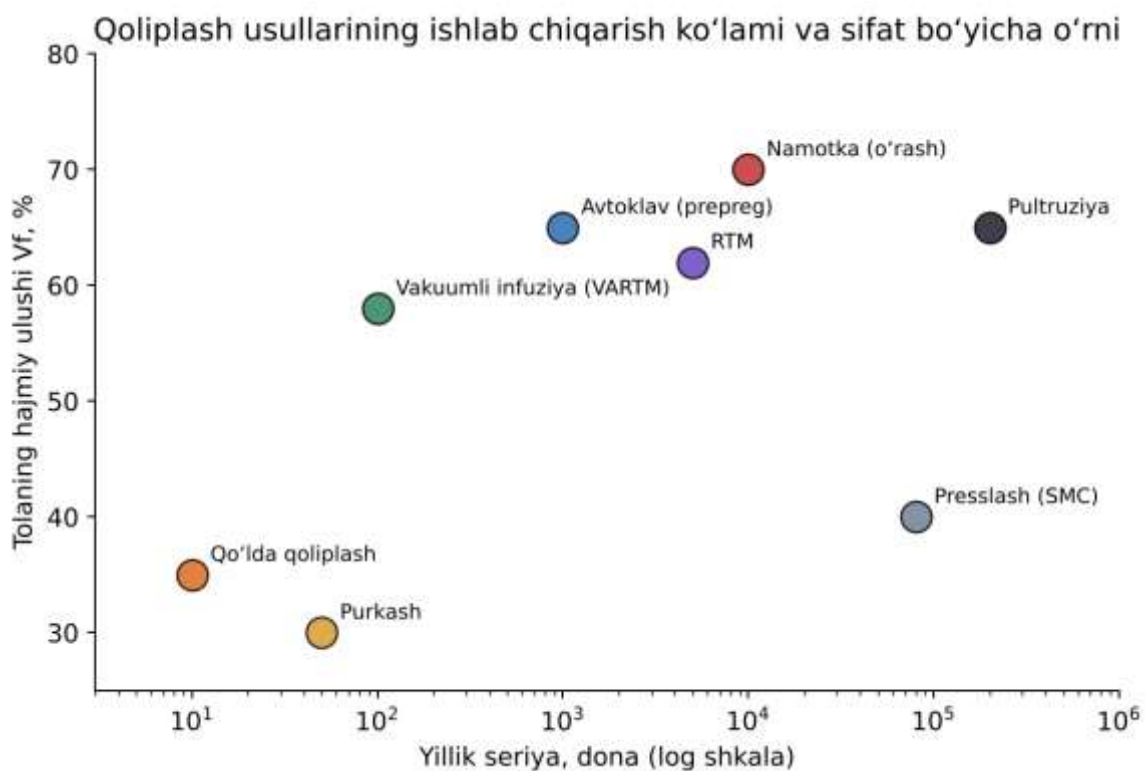
Issiq presslash (9-rasm) – listli qoliplash massasi (SMC: kalta shisha tola + poliefir + to‘ldiruvchilar) yoki massali qoliplash massasi (BMC) qizdirilgan (140–160 °C) po‘lat qolipga joylanadi va 5–15 MPa bosim ostida 1–3 daqiqada qotiriladi. Yirik seriyali ishlab chiqarishga mos: avtomobil kapotlari, elektr qutilari, vanna va rakovinalar.



9-rasm. *SMC materialini issiq presslash sxemasi*

Namotka (o‘rash) – smolali tola jgut aylanuvchi opravkaga ma’lum burchak ostida o‘raladi. Quvurlar, ballonlar, sig‘imlar, raketa korpuslari, kardan vallari shu usulda tayyorlanadi; $V_f = 0,60\text{--}0,70$ ga yetadi. **Pultruziya** – tola jgutlari smola vannasidan o‘tib, qizdirilgan filyera orqali uzluksiz tortib olinadi; doimiy kesimli profillar (kompozit armatura, narvon profillari, kabel lotoklari) olinadi.

10-rasmda usullar ishlab chiqarish ko‘lami va erishiladigan tola ulushi bo‘yicha taqqoslangan.



10-rasm. Qoliplash usullarining ishlab chiqarish ko'lam va tola ulushi bo'yicha o'rni

2-jadval. Qoliplash usulini tanlash

Usul	Vf, %	Seriya	Jihoz narxi	Sirt sifati	Tipik buyum
Qo'lda qoliplash	25–35	1–500	juda past	bir tomoni	qayiq, idish, model
Vakuumli infuziya	50–60	10–2000	past	bir tomoni	qayiq korpusi, parrak
RTM	50–60	500–20 000	o'rta	ikki tomoni	avtomobil paneli
Avtoklav (prepreg)	58–65	10–5000	juda yuqori	yuqori	samolyot qismlari
Presslash (SMC)	20–40	10 000+	yuqori	ikki tomoni	kapot, korpuslar
Namotka	60–70	100–50 000	o'rta	ichki	quvur, ballon
Pultruziya	60–70	uzluksiz	o'rta	yuqori	profil, armatura

Maktab ustaxonasi uchun xulosa: qo'lda qoliplash va oddiy vakuum paketi (kichik vakuum nasosi yoki hatto kuchli changyutgich asosida) bilan xavfsiz sharoitda shishaplastik plastinkalar, model qismlari, qutichalar tayyorlash mumkin; bu o'quvchilarda kompozit texnologiyasi haqida yaqqol tasavvur hosil qiladi.

Nazorat savollari

1. Polimer kompozit detalni shakllantirishning umumiy bosqichlarini sanab bering.
2. Gelkout va separator vazifalarini tushuntiring. Ularsiz ishlash qanday oqibatga olib keladi?
3. Vakuumli infuziyaning qo'lda qoliplashdan afzalliklari nimada? Vakuum paketining qatlamlarini ayting.
4. Darsi qonuni asosida to'lish vaqtiga qaysi omillar ta'sir qilishini tushuntiring. Oqim yo'li ikki marta uzaysa vaqt qanday o'zgaradi?
5. Prepreg nima? Avtoklav qotirish siklining bosqichlarini ayting.

Test topshiriqlari

1. Buyumning sirt bezak va himoya qatlami qanday ataladi?
 - A) separator
 - B) gelkout
 - C) peel ply
 - D) appret
2. Vakuumli infuziyada armaturani siquvchi bosim asosan nimaga teng?
 - A) atmosfera bosimi ($\approx 0,1$ MPa)
 - B) 5–15 MPa
 - C) 0,7 MPa
 - D) 50 MPa
3. Darsi formulasiga ko'ra to'lish vaqti oqim yo'li uzunligiga qanday bog'liq?
 - A) chiziqli
 - B) teskari proporsional
 - C) kvadratik
 - D) bog'liq emas
4. Quvur va gaz ballonlari ko'pincha qaysi usulda tayyorlanadi?
 - A) pultruziya
 - B) purkash
 - C) SMC presslash
 - D) namotka
5. Prepreglar qanday sharoitda saqlanadi?
 - A) 25 °C da, ochiq havoda

- B) $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ da, muzlatgichda
- C) $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ da, quritgichda
- D) suv ostida

KALIT: 1–B; 2–A; 3–C; 4–D; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. $600 \times 400\text{ mm}$ o'lchamli, 450 g/m^2 shisha matning 3 qatlamidan iborat plastina uchun ($W_f = 0,30$) tola, smola va qotirgich (1,5 %) massasini hisoblang, smolani necha porsiyada aralashtirish kerakligini asoslang.

2. Darsi formulasidan foydalanib, $L = 0,5\text{ m}$ va $L = 1,0\text{ m}$ oqim yo'li uchun to'lish vaqtini hisoblang ($\mu = 0,25\text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\varphi = 0,5$, $K = 5 \cdot 10^{-10}\text{ m}^2$, $\Delta P = 0,09\text{ MPa}$). Natijalarni 40 daqiqalik gel-vaqt bilan taqqoslab xulosa yozing.

3-MA'RUZA. KOMPOZIT MATERIALLARGA MEXANIK ISHLOV BERISH ASOSLARI

Reja:

- Kompozitlarga mexanik ishlov berishning metallardan farqi.
- Tola yo'nalishining kesish jarayoniga ta'siri. Qirindi hosil bo'lish mexanizmi.
- Parmalash: qatlamlanish turlari, kritik o'q kuchi, delaminatsiya omili.
- Frezalash va qirralarni kesish. Asbob materiallari va geometriyasi.
- Kesish rejimlarini hisoblash. Chang va xavfsizlik.

Tayanch tushunchalar: kesish tezligi, surish, tishga surish, tola burchagi, qatlamlanish (delaminatsiya), peel-up, push-out, kritik o'q kuchi, delaminatsiya omili, PCD, olmos qoplama, kompression freza, tayanch plita.

3.1. Kompozitlarga mexanik ishlov berishning o'ziga xosligi

Kompozit detallar asosan qolipda tayyor shaklga yaqin qilib olinadi, ammo deyarli har doim **yakuniy mexanik ishlov** talab etiladi: qirralarni o'lchamga kesish (trimming), yig'ish uchun teshiklar ochish, tutashuv sirtlarini frezalash. Masalan, bitta yo'lovchi samolyoti qanotini yig'ishda yuz minglab teshik parmalanadi va ularning har biri qat'iy sifat talablariga javob berishi kerak – bitta qatlamlangan teshik qimmatbaho panelning brakka chiqishiga sabab bo'lishi mumkin.

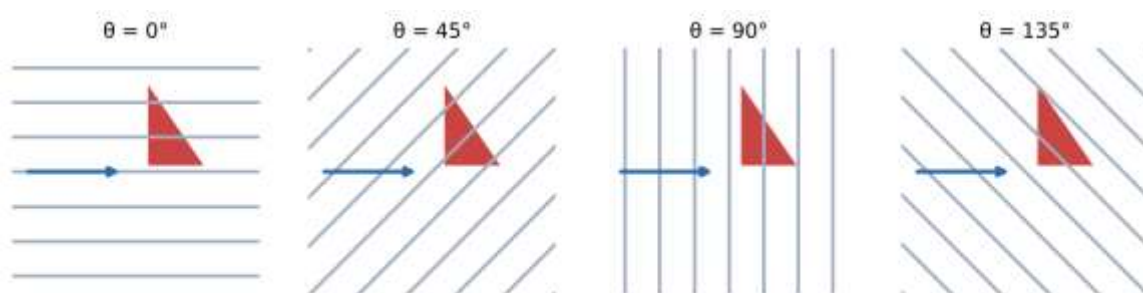
Metallarga ishlov berishdan asosiy farqlar:

- **anizotropiya va qatlamlilik** – kesish mexanizmi har bir qatlamdagi tola burchagiga qarab o'zgaradi, qatlamlar orasidagi bog'lanish esa zaif;
- **plastik deformatsiya yo'q** – metall singari uzluksiz qirindi hosil bo'lmaydi, tola mo'rt sinadi, matritsa maydalanadi, natijada chang va kukunsimon qirindi hosil bo'ladi;
- **yuqori abrazivlik** – shisha va uglerod tolalari qattiq bo'lib, asbob qirrasini “silliqlash qog'ozi” kabi yeyadi;

- **past issiqlik o'tkazuvchanlik** – issiqlik qirindi bilan ketmaydi, asbob va kesish zonasida to'planadi; harorat smolaning shishalanish haroratidan (T_g , epoksid uchun 120–180 °C) oshsa, matritsa yumshaydi va kuyadi;
- **namlikni yutish** – suvli moylash-sovitish suyuqliklari odatda ishlatilmaydi, quruq kesish va chang so'rish qo'llaniladi;
- **elastik tiklanish** – teshik diametri parmalashdan keyin 0,01–0,03 mm ga kichrayishi mumkin.

3.2. Tola yo'nalishining kesishga ta'siri

Kesish yo'nalishi bilan tola o'qi orasidagi burchak θ (11-rasm) qirindi hosil bo'lish mexanizmini belgilaydi:



Kesish yo'nalishiga nisbatan tola burchagi θ (ko'k - kesish yo'nalishi, qizil - keskich)

11-rasm. Kesish yo'nalishiga nisbatan tola burchagi θ

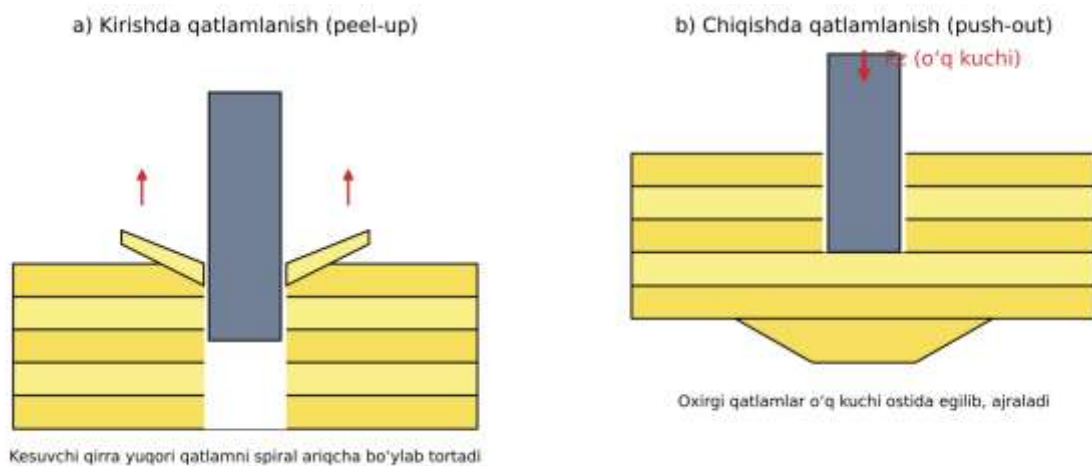
- $\theta = 0^\circ$ – keskich tolalar bo'ylab harakat qiladi, qatlamlarni “pona” kabi ajratib, tolalarni egib sindiradi; sirt nisbatan silliq;
- $\theta = 45^\circ$ – tolalar siljish va kesish orqali sinadi, qirindi mayda bo'laklardan iborat; sirt sifati yaxshi;
- $\theta = 90^\circ$ – tolalar egilib, keskich oldida sinadi; kesish kuchi ortadi;
- $\theta = 135^\circ$ (ya'ni -45°) – eng noqulay holat: tolalar keskich ostida egilib, kesish sirtidan pastda sinadi, sirt chuqurchalar va tortilib chiqqan tolalar qoladi, g'adir-budurlik eng katta bo'ladi.

Frezalash va parmalashda asbob aylanganda θ uzluksiz 0° dan 180° gacha o'zgaradi, shuning uchun teshik devorining ma'lum sektorlarida ($\theta \approx 135^\circ$ bo'lgan joylarda) sirt sifati yomonlashadi. Ko'p yo'nalishli laminatlarda bu ta'sir qisman o'rtachalanadi.

3.3. Parmalash va qatlamlanish

Parmalash kompozitlarga ishlov berishning eng ko‘p tarqalgan va eng mas’uliyatli operatsiyasi. Uning asosiy nuqsoni – **qatlamlanish (delaminatsiya)**, ya’ni teshik atrofida qatlamlarning bir-biridan ajralishi. U ikki xil bo‘ladi (12-rasm):

- **kirishda qatlamlanish (peel-up)** – parmaning kesuvchi qirrasi yuqori qatlamlarni ilib, spiral ariqcha bo‘ylab yuqoriga tortadi;
- **chiqishda qatlamlanish (push-out)** – parma oxirgi qatlamlarga yaqinlashganda qolgan yupqa qism o‘q kuchi (F_z) ostida plastinka kabi egiladi va qatlamlararo darz paydo bo‘ladi. Bu tur ancha xavfli va katta maydonni egallaydi.

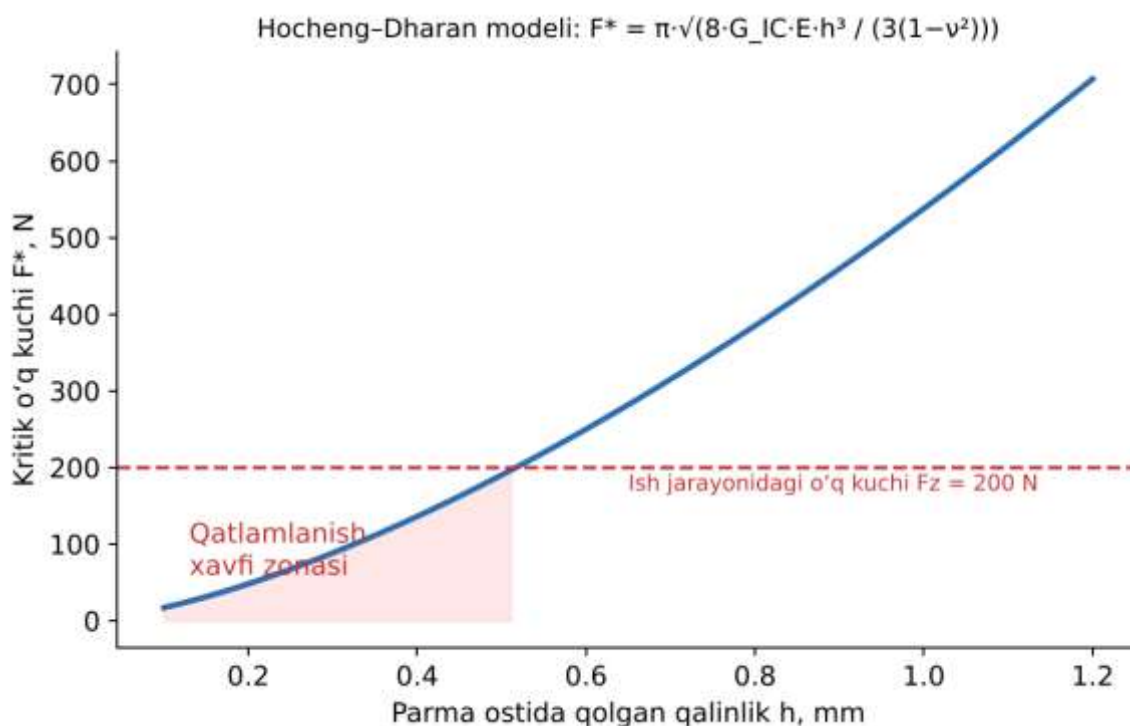


12-rasm. Parmalashda qatlamlanish turlari: *a* – kirishda; *b* – chiqishda

Kritik o‘q kuchi. Hocheng va Dharan chiziqli-elastik sinish mexanikasi asosida chiqishda qatlamlanish boshlanmaydigan maksimal o‘q kuchini aniqlaganlar:

$$F^* = \pi \cdot \sqrt{[8 \cdot G_{IC} \cdot E \cdot h^3 / (3 \cdot (1 - \nu^2))]}$$

bu yerda G_{IC} – qatlamlararo sinishga qovushqoqlik (I tur, J/m²), E – laminat moduli, h – parma ostida qolgan qalinlik, ν – Puasson koeffitsiyenti. Formuladan $F^* \sim h^{1,5}$ ekanligi ko‘rinadi: parma chiqishga yaqinlashgan sari kritik kuch keskin kamayadi (13-rasm). Shuning uchun **parmaning oxirgi 1–2 mm ida surishni kamaytirish** eng samarali choradir.



13-rasm. Kritik o'q kuchining parma ostidagi qalinlikka bog'liqligi

Misol. $G_{IC} = 200 \text{ J/m}^2$, $E = 50 \text{ GPa}$, $\nu = 0,3$, $h = 0,5 \text{ mm}$:

$$F^* = \pi \cdot \sqrt{[8 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 10^9 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^3 / (3 \cdot 0,91)]} = \pi \cdot \sqrt{(10\,000 / 2,73)} = \pi \cdot 60,5 \approx 190 \text{ N}$$

Agar ish jarayonida o'q kuchi 200 N bo'lsa, oxirgi 0,5 mm da qatlamlanish yuz beradi. Surishni 2 marta kamaytirish o'q kuchini taxminan 1,6 marta ($F_z \sim S^{0,7}$) kamaytiradi: $200 / 1,6 \approx 125 \text{ N} < 190 \text{ N}$ – nuqson bartaraf etiladi.

Delaminatsiya omili. Qatlamlanish darajasi teshik atrofidagi shikastlangan zonaning maksimal diametri D_{max} ning nominal diametr D ga nisbati bilan baholanadi:

$$F_d = D_{max} / D$$

$F_d = 1$ – qatlamlanish yo'q; aviatsiyada odatda $F_d \leq 1,1-1,2$ talab qilinadi.

Qatlamlanishni kamaytirish choralari:

- kichik surish (0,02–0,08 mm/ayl) va yuqori kesish tezligi;
- maxsus geometriyali parmalar: o'roqsimon (brad-point), “xanjar” (dagger), pog'onali (step), uchi 90–118° bo'lgan parmalar;
- chiqish tomoniga **tayanch plita** (fanera, alyuminiy, kompozit qoldig'i) qo'yish;

- avval kichik diametrli teshik (uchuvchi teshik), keyin asosiy diametrga kengaytirish;
- o‘tkir asboblardan foydalanish (yeyilgan parma o‘q kuchini 2–3 marta oshiradi);
- orbital parmalash va ultratovushli parmalash (4-ma’ruzaga qarang).

3.4. Frezalash va qirralarni kesish

Kompozit detal qirralari (trimming) va cho‘ntaklari frezalanadi. Asosiy muammolar – yuqori va pastki qatlamlarning tuklanishi (tolalar kesilmay qolishi), qirraning qatlamlanishi va asbobning tez yeyilishi. Bu muammolarni hal qilish uchun **kompression frezalar** ishlatiladi: ularning yuqori qismida chap, pastki qismida o‘ng spiral bo‘lib, kesish kuchlari laminat ichiga yo‘naltiriladi va har ikki sirt ham toza qoladi. Uglerodplastik uchun “ananas” (ko‘p tishli, romb kesimli) frezalar va PCD plastinali frezalar keng qo‘llaniladi.

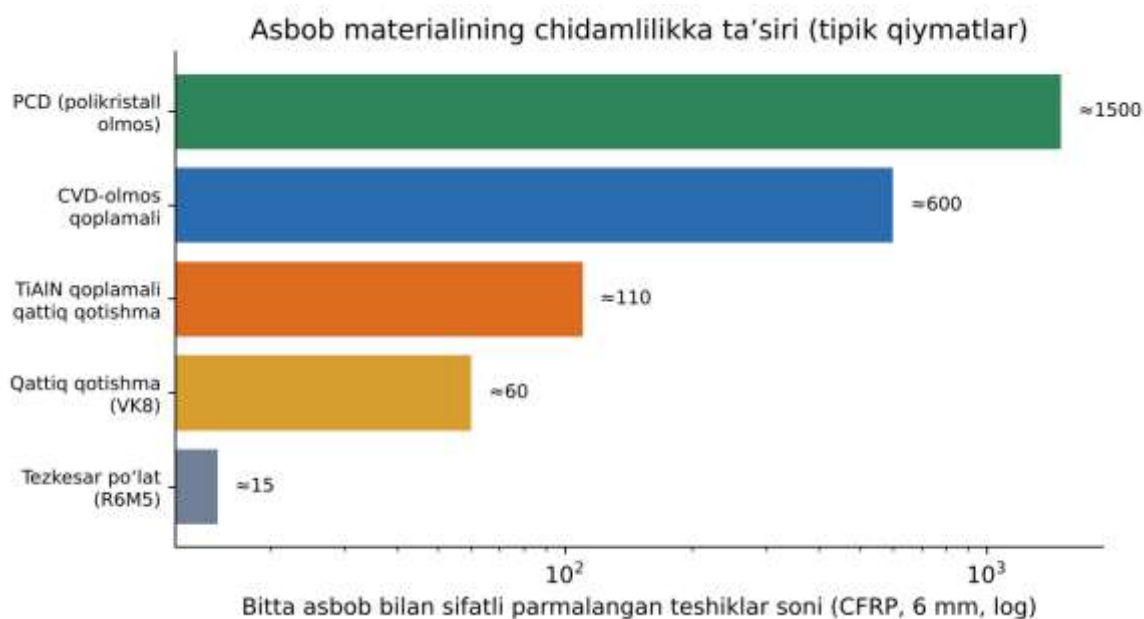
Frezalashda tishga surish fz, surish tezligi vf va aylanishlar soni n orasidagi bog‘lanish:

$$vf = fz \cdot z \cdot n$$

bu yerda z – tishlar soni.

3.5. Asbob materiallari

Abraziv yeyilish sababli tezkesar po‘lat (R6M5) asboblar kompozitlarga deyarli yaroqsiz – ular bir necha teshikdan keyin o‘tmaslashadi. 14-rasmda turli asbob materiallarining tipik chidamliligi keltirilgan.



14-rasm. *Asbob materialining chidamlilikka ta'siri (uglerodplastikda 6 mm teshik)*

- **qattiq qotishmalar** (VK6, VK8, K10/K20 – mayda donli WC-Co) – asosiy universal material;
- **TiAlN, AlCrN qoplamali qattiq qotishmalar** – shishaplastikda yaxshi, uglerodplastikda oʻrtacha;
- **CVD-olmos qoplamali qattiq qotishmalar** – uglerodplastik uchun eng samarali narx/chidamlilik nisbati;
- **PCD (polikristall olmos)** – eng yuqori chidamlilik, lekin qimmat va geometriyasi chegaralangan;
- aramidlar uchun – qirrasi juda oʻtkir, maxsus “qaychi” geometriyali asboblari.

3-jadval. *Kompozitlarni parmalash uchun tavsiya etiladigan rejimlar (taxminiy)*

Material	Asbob	v, m/min	S, mm/ayl	Izoh
Shishaplastik	qattiq qotishma	60–120	0,05–0,15	tayanch plita
Uglerodplastik	olmos qoplama	80–150	0,02–0,08	chang soʻrish
Uglerodplastik	PCD	100–200	0,03–0,10	yuqori unumdorlik
Aramidplastik	maxsus geometriya	50–100	0,02–0,05	tuklanish xavfi
Al/SiC (MMK)	PCD	200–400	0,05–0,15	suyuqlik bilan

3.6. Kesish rejimlarini hisoblash

Kesish tezligi va aylanishlar soni orasidagi bogʻlanish:

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 1000, \quad n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot D)$$

bu yerda v – m/min, D – mm, n – ayl/min. Surish tezligi $vf = S \cdot n$ (mm/min), asosiy vaqt $t = L/vf$, bunda $L = l + l_1 + l_2$ (teshik uzunligi + parma uchining kirishi $\approx 0,3D$ + chiqish 1–2 mm).

Misol. Qalinligi 12 mm bo‘lgan uglerodplastik plitada PCD parma bilan Ø6 mm teshik ochiladi; $v = 150$ m/min, $S = 0,05$ mm/ayl.

$$n = 1000 \cdot 150 / (3,1416 \cdot 6) = 7958 \text{ ayl/min} \approx 8000 \text{ ayl/min}$$

$$vf = 0,05 \cdot 8000 = 400 \text{ mm/min}$$

$$L = 12 + 0,3 \cdot 6 + 2 = 15,8 \text{ mm}; \quad t = 15,8 / 400 = 0,040 \text{ min} \approx 2,4 \text{ s}$$

Teshikning oxirgi 2 mm ida surishni 0,025 mm/ayl gacha kamaytirish (stanokning dasturida alohida blok) chiqishda qatlamlanish xavfini sezilarli kamaytiradi va vaqtni atigi 0,3 s ga oshiradi.

3.7. Chang va xavfsizlik

Kompozitlarni kesishda hosil bo‘ladigan changning katta qismi 10 mkm dan mayda bo‘lib, nafas yo‘llariga chuqur kiradi. Uglerod changi elektr o‘tkazuvchan – u elektr dvigatellar va boshqaruv bloklariga tushib, qisqa tutashuvga sabab bo‘ladi. Shuning uchun: asbobga yaqin joylashtirilgan HEPA filtrli chang so‘rgich, FFP3 respirator, himoya ko‘zoynagi, yopiq kiyim majburiy; ish joyi quruq supurilmaydi, balki changyutgich bilan tozalanadi.

Nazorat savollari

1. Kompozitlarga mexanik ishlov berishning metallarga ishlov berishdan asosiy farqlarini sanang.
2. Tola burchagi θ ning 0° , 45° , 90° va 135° qiymatlarida qirindi hosil bo‘lish mexanizmini tushuntiring.
3. Kirishda va chiqishda qatlamlanishning sabablari va farqi nimada?
4. Hocheng–Dharan formulasi bo‘yicha kritik o‘q kuchi qaysi kattaliklarga bog‘liq? Undan qanday amaliy xulosa chiqadi?
5. Uglerodplastikni parmalash va frezalash uchun asbob materiali va geometriyasini qanday tanlaysiz?

Test topshiriqlari

1. Kesish sirti sifati eng yomon bo'ladigan tola burchagi qaysi?
 - A) 0°
 - B) 45°
 - C) 135°
 - D) 90°
2. Delaminatsiya omili qanday aniqlanadi?
 - A) $F_d = D/D_{\max}$
 - B) $F_d = D_{\max}/D$
 - C) $F_d = D_{\max} - D$
 - D) $F_d = F_z/F^*$
3. $D = 8 \text{ mm}$, $v = 100 \text{ m/min}$ bo'lsa, aylanishlar soni taxminan qancha?
 - A) 1250 ayl/min
 - B) 2500 ayl/min
 - C) 3980 ayl/min
 - D) 12 700 ayl/min
4. Kompozit plitaning ikkala sirtini ham toza kesish uchun qaysi freza qo'llaniladi?
 - A) silindrik tezkesar freza
 - B) kompression freza
 - C) disk freza
 - D) shponka frezasi
5. Chiqishda qatlamlanishning oldini olishning eng samarali chorasi qaysi?
 - A) teshik oxirida surishni kamaytirish va tayanch plita qo'yish
 - B) surishni oshirish
 - C) suvli sovitish suyuqligini ishlatish
 - D) o'tmas parma ishlatish

KALIT: 1–C; 2–B; 3–C; 4–B; 5–A

Mustaqil topshiriqlar

1. Qalinligi 8 mm shishaplastik plitada qattiq qotishma parma bilan $\varnothing 10 \text{ mm}$ teshik ochish uchun kesish rejimini tanlang (3-jadval), n , v_f va asosiy vaqtni hisoblang.

2. $G_{IC} = 250 \text{ J/m}^2$, $E = 45 \text{ GPa}$, $\nu = 0,3$ bo'lgan laminat uchun $h = 0,25; 0,5; 1,0 \text{ mm}$ qiymatlarida F^* ni hisoblang va grafigini chizing. $F_z = 150 \text{ N}$ bo'lganda qaysi qalinlikdan boshlab qatlamlanish xavfi borligini aniqlang.

4-MA'RUZA. NOAN'ANAVIY VA ILG'OR ISHLOV BERISH USULLARI

Reja:

- Noan'anaviy ishlov berish usullariga ehtiyoj va ularning tasnifi.
- Hidroabraziv (suv oqimi bilan) kesish: qurilma, parametrlar, hisoblash.
- Lazerli ishlov berish: lazer turlari, issiqlik ta'sir zonasi.
- Ultratovushli frezalash va parmalash.
- Usullarni taqqoslash va tanlash.

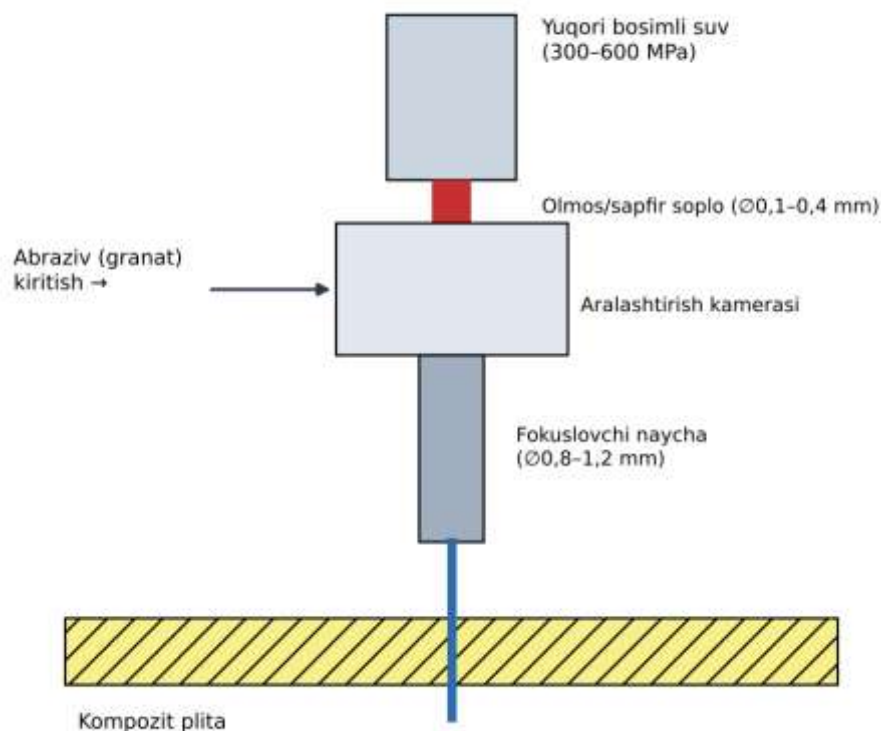
Tayanch tushunchalar: gidroabraziv kesish (AWJ), soplo, fokuslovchi naycha, abraziv (granat), kesik eni (kerf), konuslik, lazer, chiziqli energiya, issiqlik ta'sir zonasi (ITZ), ultratovushli tebranish, pyezoo'zgartirgich, konsentrator.

4.1. Noan'anaviy usullarga ehtiyoj

3-ma'ruzada ko'rilganidek, an'anaviy kesish kompozitlarda qatlamlanish, asbobning tez yeyilishi va chang bilan bog'liq. Bundan tashqari murakkab egri konturlarni, juda qalin yoki aksincha juda yupqa laminatlarni, sendvich panellarni kesish an'anaviy asbob bilan qiyin. Shu sababli kompozit sanoatida asbob materialga bevosita tegmaydigan yoki kesish kuchini keskin kamaytiradigan **noan'anaviy usullar** keng qo'llaniladi: gidroabraziv kesish, lazerli kesish, ultratovush yordamidagi ishlov berish, shuningdek elektr o'tkazuvchan kompozitlar (uglerodplastik, MMK) uchun elektroeroziya.

4.2. Hidroabraziv kesish

Gidroabraziv kesish (AWJ – Abrasive Water Jet) – kompozitlarni kesishning eng universal usuli. Plunjerli nasos (multiplikator) suvni 300–600 MPa bosimgacha siqadi. Suv diametri 0,1–0,4 mm bo'lgan olmos yoki sapfir soploda tovush tezligidan ikki-uch baravar tez oqimga aylanadi, aralashtirish kamerasida unga abraziv – granat kukuni (80 mesh, $\approx 0,18$ mm) qo'shiladi va fokuslovchi naychadan ($\varnothing 0,8$ –1,2 mm) chiqqan suv-abraziv oqimi materialni eroziya yo'li bilan kesadi (15-rasm).



15-rasm. *Gidroabraziv kesish kallagining sxemasi*

Afzalliklari: issiqlik ta'siri yo'q (ITZ yo'q), istalgan materialni (shishaplastik, uglerodplastik, aramid, MMK, keramika, sendvich panel) va 100–150 mm gacha qalinlikni kesadi; kesish kuchi juda kichik, asbob yeyilishi yo'q; murakkab konturlarni CNC boshqaruvida kesadi; chang hosil bo'lmaydi (u suvda qoladi).

Kamchiliklari: teshib kirish (**piercing**) paytida suv qatlamlar orasiga kirib, qatlamlanishga sabab bo'lishi mumkin (shuning uchun past bosimda teshiladi yoki oldindan parmalanadi); kesik devori konusli bo'ladi; detal namlanadi; shovqinli; abraziv sarfi va utilizatsiyasi xarajatli; aniqligi $\pm 0,1$ mm atrofida.

Asosiy hisob formulalari. Soplodan chiqqan suv oqimining nazariy tezligi (Bernulli tenglamasidan):

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot p / \rho}$$

bu yerda p – suv bosimi (Pa), ρ – suv zichligi (1000 kg/m^3), φ – tezlik koeffitsiyenti (0,9–0,98). Suv sarfi va gidravlik quvvat:

$$Q = Cd \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot \sqrt{2 \cdot p / \rho}, \quad N = p \cdot Q$$

bu yerda $Cd \approx 0,6-0,8$ – sarf koeffitsiyenti, d – soplo diametri.

Misol. $p = 400 \text{ MPa}$, $d = 0,30 \text{ mm}$, $C_d = 0,70$:

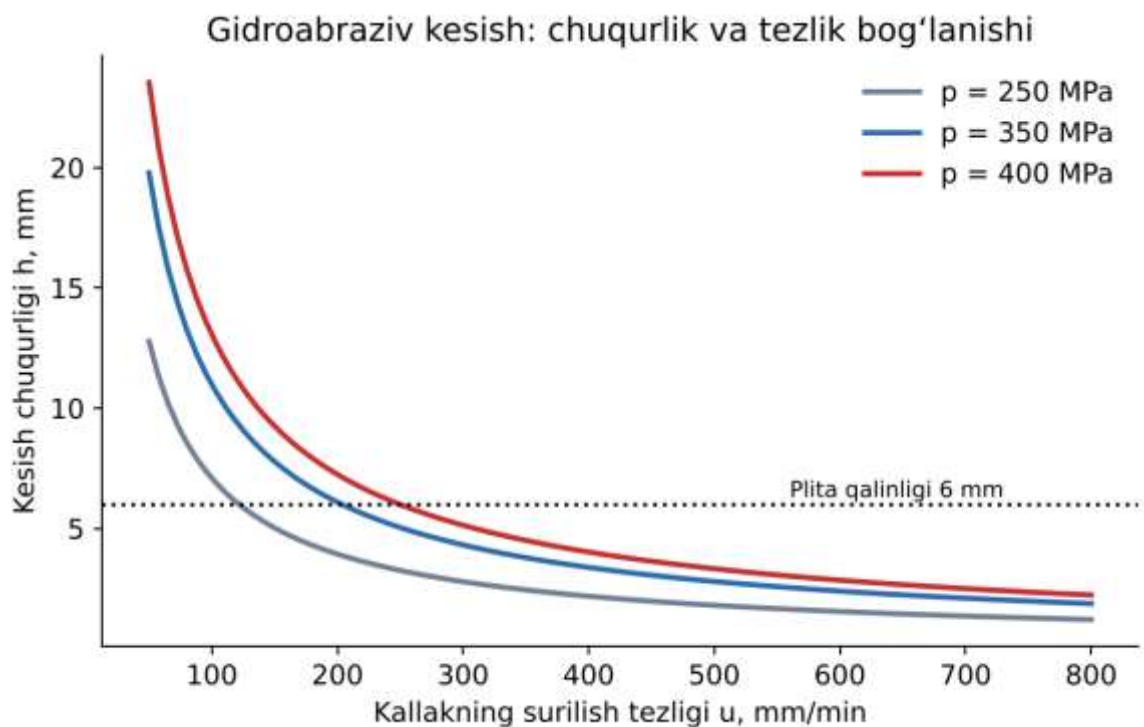
$$\sqrt{(2 \cdot p / \rho)} = \sqrt{(2 \cdot 4 \cdot 10^8 / 1000)} = \sqrt{(8 \cdot 10^5)} = 894 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,70 \cdot (3,1416 \cdot 0,0003^2 / 4) \cdot 894 = 0,70 \cdot 7,07 \cdot 10^{-8} \cdot 894 = 4,42 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \approx 2,65 \text{ l/min}$$

$$N = 4 \cdot 10^8 \cdot 4,42 \cdot 10^{-5} = 17\,700 \text{ Vt} \approx 17,7 \text{ kVt}$$

Abrazivning suvga massa nisbati odatda $R = 0,15-0,25$; $R = 0,2$ bo'lsa abraziv sarfi $0,2 \cdot 2,65 \approx 0,53 \text{ kg/min}$.

16-rasmda kesish chuqurligining kallak surilish tezligiga bog'liqligi keltirilgan: tezlik oshgan sari chuqurlik kamayadi. Amalda surish tezligi "to'liq kesish" tezligidan 20–30 % kam olinadi – bu sifatli, konusligi kichik kesik beradi.



16-rasm. *Gidroabraziv kesishda kesish chuqurligi va surilish tezligi bog'lanishi*

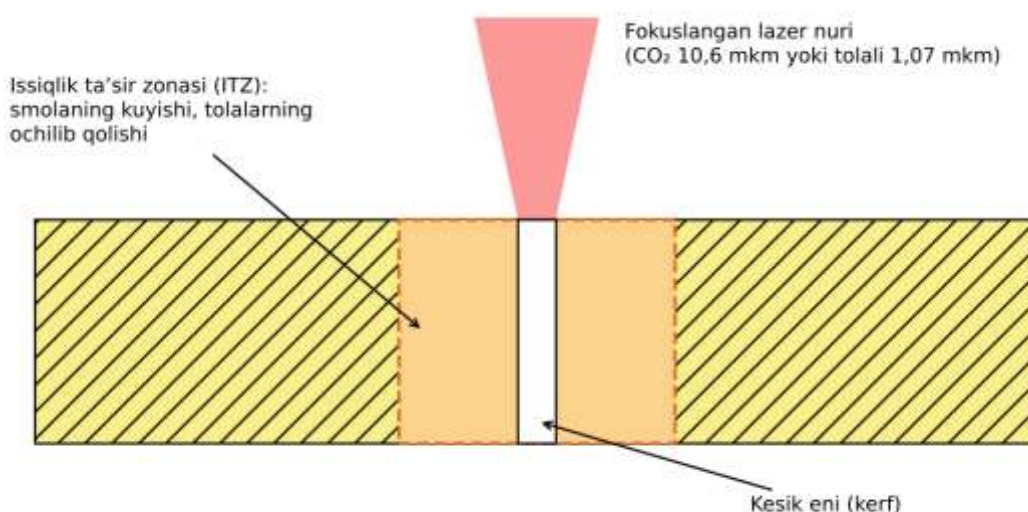
4.3. Lazerli ishlov berish

Lazer nuri kesish zonasida materialni eritadi, bug'lantiradi va parchalaydi. Kompozitlar uchun asosan ikki turdagi lazer qo'llaniladi:

- **CO₂-lazer** (to'liq uzunligi 10,6 mkm) – polimerlar va shisha tola yaxshi yutadi, shuning uchun shishaplastik, aramid, termoplast kompozitlar uchun qulay;

- **tolali (fiber) va Nd:YAG lazerlar** (1,06–1,07 mkm) – uglerod tolasi yaxshi yutadi; impulsli (nano-, piko-, femtosekundli) rejimlar issiqlik ta'sirini keskin kamaytiradi.

Lazer kesishning asosiy muammosi – **issiqlik ta'sir zonasi (ITZ)** (17-rasm). Tola va matritsaning bug'lanish haroratlari keskin farq qiladi: epoksid ~400–500 °C da parchalansa, uglerod tola ~3300 °C da sublimatsiyalanadi. Uglerod tolaning issiqlik o'tkazuvchanligi ham yuqori, shuning uchun issiqlik tola bo'ylab tarqalib, matritsani kesikdan uzoqroqda ham kuydiradi; natijada tolalar ochilib qoladi, qirra qorayadi, mustahkamlik pasayadi.



17-rasm. *Lazer bilan kesish va issiqlik ta'sir zonasi*

Jarayonni baholash uchun **chiziqli energiya** (birlik uzunlikka berilgan energiya) ishlatiladi:

$$El = P / v$$

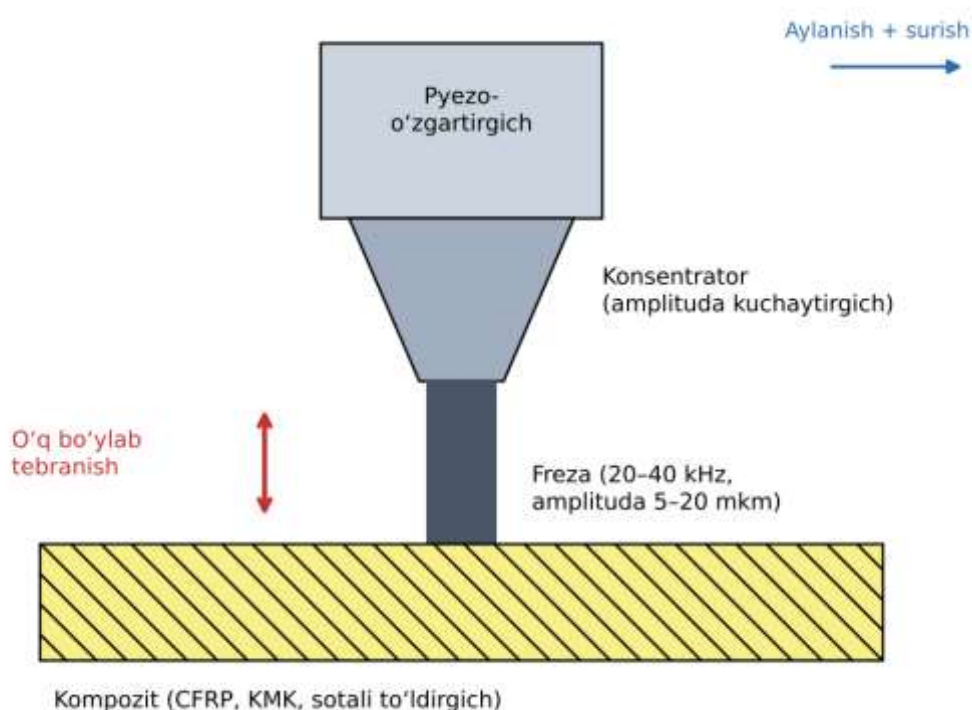
bu yerda P – lazer quvvati (V_t), v – kesish tezligi (mm/s). **Misol:** $P = 1000 V_t$, $v = 3 \text{ m/min} = 50 \text{ mm/s} \rightarrow El = 1000/50 = 20 \text{ J/mm}$. Agar shu quvvatda tezlik 6 m/min ga oshirilsa, $El = 10 \text{ J/mm}$, ITZ kengligi taxminan ikki marta kamayadi, lekin material to'liq kesilmay qolishi mumkin. Optimal rejim – material to'liq kesiladigan **eng kichik El** qiymati.

Lazer kesishning afzalliklari: kontaktsiz, yuqori tezlik (yupqa laminatlarda 5–20 m/min), kichik kesik eni (0,1–0,3 mm), avtomatlashtirish oson, chang yo'q.

Kamchiliklari: ITZ, qalin (5 mm dan ortiq) kompozitlarda samarasizlik, **zaxarli gazlar** (sianidlar, uglerod oksidi, fenol birikmalari) ajralib chiqishi – kuchli so‘rish va filtrlash tizimi majburiy.

4.4. Ultratovushli ishlov berish

Ultratovushli frezalash (yoki parmalash) da aylanuvchi asbobga qo‘shimcha ravishda o‘q bo‘ylab yuqori chastotali (20–40 kHz) kichik amplitudali (5–20 mkm) tebranish beriladi (18-rasm). Tebranishni pyezokeramik o‘zgartirgich hosil qiladi, konsentrator (to‘lqin o‘tkazgich) esa amplitudani kuchaytiradi.



18-rasm. *Ultratovushli frezalash qurilmasining sxemasi*

Tebranish natijasida asbob material bilan uzlukli kontaktda bo‘ladi, qirindi oson ajraladi, ishqalanish va harorat kamayadi. Natijalar: kesish kuchlari 30–50 % ga, o‘q kuchi va demak qatlamlanish sezilarli kamayadi, asbob chidamliligi oshadi, sirt sifati yaxshilanadi. Asbob uchining tebranish tezligi amplitudasi:

$$v_u = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A$$

Misol: $f = 20 \text{ kHz}$, $A = 10 \text{ mkm} \rightarrow v_u = 2 \cdot 3,1416 \cdot 20\,000 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1,26 \text{ m/s}$.

Bu qiymat Ø6 mm parmaning 4000 ayl/min dagi aylanma tezligi ($\approx 1,26 \text{ m/s}$) bilan bir tartibda – ya’ni tebranish kesish kinematikasini sezilarli o‘zgartiradi.

Ultratovushli pichoq (40 kHz) yordamida esa Nomex sotali to'ldirgichlar, prepreglar va ko'pikli materiallar chang chiqarmasdan kesiladi.

4.5. Usullarni taqqoslash

4-jadval. Kompozitlarni kesish usullarining taqqoslanishi

Ko'rsatkich	Mexanik (freza)	Gidroabraziv	Lazer	Ultratovushli
ITZ	kichik (to'g'ri rejimda)	yo'q	bor	juda kichik
Qatlamlanish xavfi	o'rta	teshib kirishda	kichik	kichik
Qalinlik	cheklanmagan	150 mm gacha	5 mm gacha	asbob bilan
Aniqlik, mm	$\pm 0,02-0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	$\pm 0,02$
Asbob yeyilishi	yuqori	yo'q (soplo yeyiladi)	yo'q	kamaygan
Ekologik muammo	chang	abrazivli shlam	zaharli gazlar	kam
Jihoz narxi	o'rta	yuqori	yuqori	yuqori

Usul tanlash detal qalinligi, talab etiladigan aniqlik, seriya hajmi va ruxsat etilgan nuqsonlarga bog'liq. Ko'pincha usullar birgalikda ishlatiladi: masalan, kontur gidroabraziv bilan kesiladi, aniq teshiklar esa PCD parma bilan ochiladi.

Nazorat savollari

1. Kompozitlarga ishlov berishda noan'anaviy usullarga ehtiyoj nimadan kelib chiqadi?
2. Gidroabraziv kesish kallagining tuzilishini va har bir qismning vazifasini tushuntiring.
3. Gidroabraziv kesishda teshib kirish paytidagi qatlamlanishning oldini olish yo'llarini ayting.
4. Issiqlik ta'sir zonasi nima va uglerodplastikni lazer bilan kesishda u nima uchun katta bo'ladi?
5. Ultratovushli tebranish kesish kuchlari va asbob chidamliligiga qanday ta'sir qiladi?

Test topshiriqlari

1. Gidroabraziv kesishda abraziv sifatida ko'pincha nima ishlatiladi?

- A) kvars qumi
 - B) granat kukuni
 - C) olmos kukuni
 - D) metall kukun
2. $p = 300 \text{ MPa}$ bo'lsa suv oqimining nazariy tezligi ($\varphi = 1$) taxminan qancha?
- A) 245 m/s
 - B) 775 m/s
 - C) 1200 m/s
 - D) 3000 m/s
3. Shishaplastikni kesish uchun qaysi lazer qulayroq?
- A) CO_2 -lazer (10,6 mkm)
 - B) yashil lazer ko'rsatkich
 - C) rentgen trubkasi
 - D) UB-lampa
4. $P = 800 \text{ Vt}$, $v = 40 \text{ mm/s}$ bo'lsa chiziqli energiya nechaga teng?
- A) 32 J/mm
 - B) 20 J/mm
 - C) 0,05 J/mm
 - D) 840 J/mm
5. Ultratovushli frezalashda tebranish chastotasi odatda qancha?
- A) 50 Gs
 - B) 1–2 kHz
 - C) 20–40 kHz
 - D) 2,4 GHz

KALIT: 1–B; 2–B; 3–A; 4–B; 5–C

Mustaqil topshiriqlar

1. $p = 350 \text{ MPa}$, $d = 0,25 \text{ mm}$, $C_d = 0,7$, $R = 0,18$ bo'lgan gidroabraziv qurilma uchun oqim tezligi, suv va abraziv sarfi, gidravlik quvvatni hisoblang. 8 soatlik smenada qancha abraziv sarflanishini aniqlang.

2. Gidroabraziv, lazer va mexanik kesish usullaridan birini (a) 3 mm li uglerodplastik dron ramasi, (b) 40 mm li shishaplastik plita, (c) Al/SiC tormoz diski uchun tanlang va tanlovingizni 4-jadval asosida asoslang.

5-MA'RUZA. KOMPOZIT MATERIALLARNI BIRIKTIRISH VA SIFAT NAZORATI

Reja:

- Kompozit konstruksiyalarni biriktirish usullari.
- Yelimli birikmalar: yelimlar, sirtni tayyorlash, kuchlanish taqsimoti, hisob.
- Mexanik (bolt, parchin) birikmalar: buzilish turlari, loyihalash qoidolari, galvanik korroziya.
- Kombinatsiyalashgan birikmalar.
- Kompozit buyumlardagi nuqsonlar va buzmasdan nazorat qilish usullari.

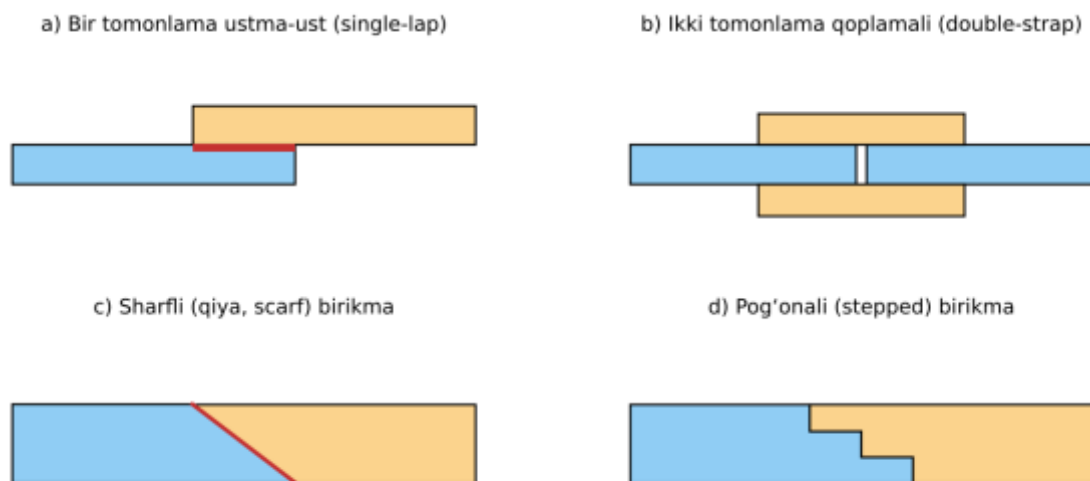
Tayanch tushunchalar: ustma-ust birikma, sharfli birikma, yelim qatlami, adgezion va kogezion buzilish, ezilish kuchlanishi, chekka masofa, galvanik korroziya, gibrid birikma, g'ovaklik, tap-test, ultratovushli defektoskopiya, A-skan, C-skan, termografiya.

5.1. Biriktirish usullari

Kompozit detallar imkon qadar yirik va yaxlit qoliplanadi, chunki har bir birikma – konstruksiyaning potensial zaif joyi. Shunga qaramay, yig'ish, ta'mirlash va boshqa materiallar bilan ulash uchun birikmalar zarur. Asosiy usullar: **yelimli**, **mexanik** (bolt, parchin, vint), **kombinatsiyalashgan** (yelim + mexanik) va termoplast kompozitlar uchun **payvandlash** (induksion, ultratovushli, rezistiv).

5.2. Yelimli birikmalar

Yelimli birikma kompozitlar uchun eng tabiiy usul: tolalar kesilmaydi, kuchlanish kontsentratsiyasi kichik, birikma germetik va yengil. 19-rasmda asosiy birikma turlari ko'rsatilgan.



19-rasm. Yelimli birikma turlari

- **bir tomonlama ustma-ust** – eng sodda, lekin yuklama eksentrik bo‘lgani uchun qo‘shimcha egilish va “ko‘chirib olish” (peel) kuchlanishi paydo bo‘ladi;
- **ikki tomonlama qoplamali** – simmetrik, egilish yo‘q;
- **sharfli (qiya)** – eng mustahkam va silliq, ta’mirda keng ishlatiladi; qiyalik 1:20–1:50;
- **pog‘onali** – sharfliga yaqin, prepreg qatlamlarida tayyorlash qulay.

Yelimlar: ikki komponentli epoksid yelimlar (eng keng tarqalgan, siljishdagi mustahkamligi 15–35 MPa), plyonkali epoksid yelimlar (aviatsiya, avtoklavda qotiriladi), poliuretan (elastik, zarbga chidamli), metakrilat (MMA – sirtini kam tayyorlash talab qiladi, tez qotadi).

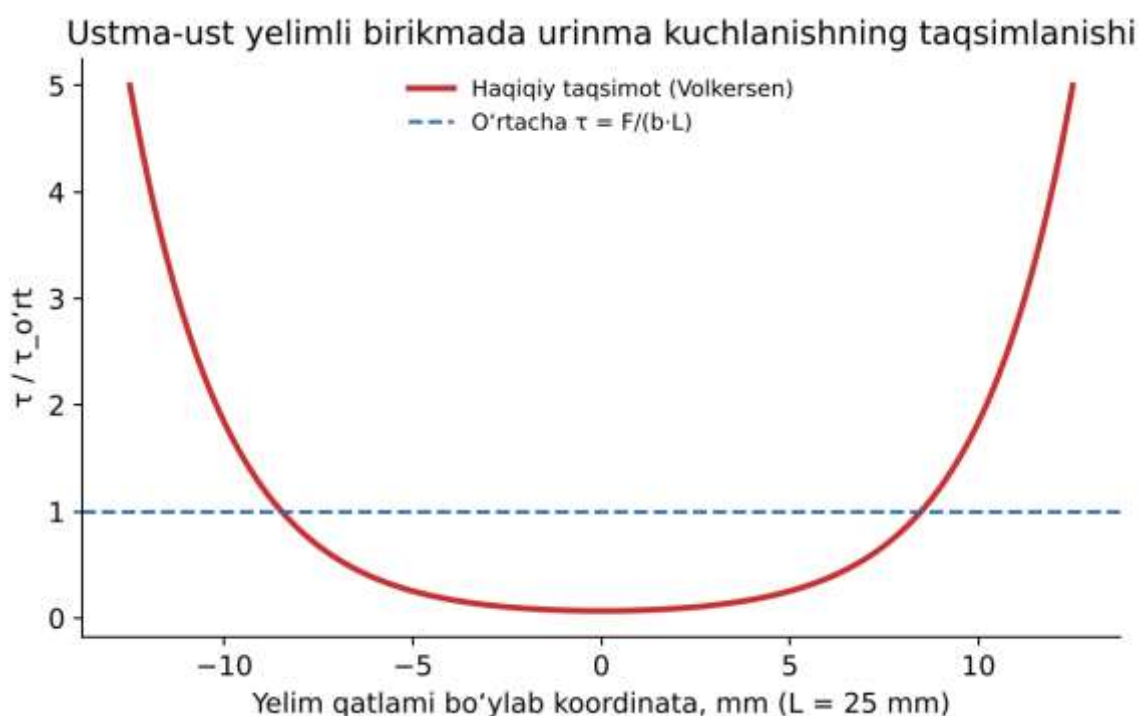
Sirtini tayyorlash – yelimli birikma sifatining 80 % ini belgilaydi:

- sirdagi separator qoldiqlarini olib tashlash (peel ply ni yelimlashdan oldin yirtib olish eng yaxshi usul);
- abraziv ishlov (P120–P180 silliqlash qog‘ozi yoki qum oqimi), tolalarni shikastlamasdan;
- yog‘sizlantirish (izopropil spirti, aseton) va quritish;
- “suv tomchisi” sinovi: toza sirtida suv yoyilib ketadi, iflos sirtida tomchi bo‘lib qoladi.

Kuchlanish taqsimoti. Soddashtirilgan hisobda ustma-ust birikmadagi oʻrtacha urinma kuchlanish:

$$\tau_{o'rt} = F / (b \cdot L)$$

bu yerda F – kuch, b – birikma eni, L – ustma-ust uzunlik. Ammo haqiqiy taqsimot notekis (20-rasm): yopishtirilgan detallarning deformatsiyasi tufayli urinma kuchlanish birikma chetlarida eng katta, oʻrtasida esa juda kichik (Volkersen modeli). Shuning uchun **ustma-ust uzunlikni cheksiz oshirish mustahkamlikni proporsional oshirmaydi**; amalda $L = (20...40) \cdot t$ (t – detal qalinligi) olinadi, chetlar esa qiyalab yupqalashtiriladi (taper).



20-rasm. Ustma-ust yelimli birikmada urinma kuchlanishning taqsimlanishi

Misol. Ruxsat etilgan urinma kuchlanish (zaxira bilan) $[\tau] = 10$ MPa, eni $b = 40$ mm boʻlgan birikma $F = 10$ kN kuchni uzatishi kerak. Talab etiladigan ustma-ust uzunlik:

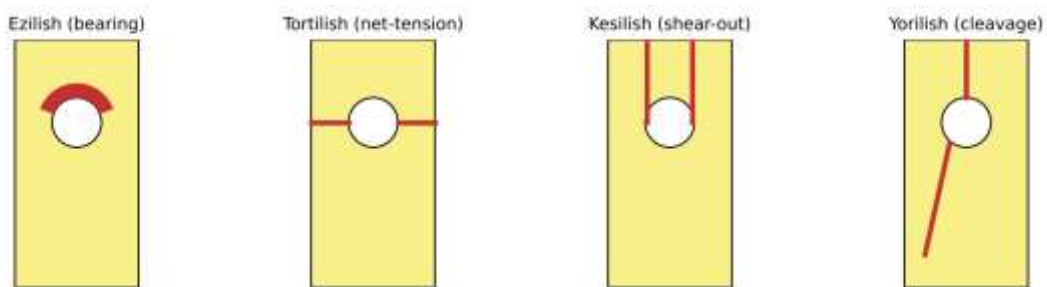
$$L = F / (b \cdot [\tau]) = 10\,000 / (40 \cdot 10) = 25\text{ mm}$$

Buzilish turlari: adgezion (yelim sirtidan koʻchadi – sirt yomon tayyorlangan), kogezion (yelim qatlamining oʻzi yoriladi – birikma toʻgʻri bajarilgan), substrat buzilishi (kompozitning yuqori qatlami yirtiladi – yelim

kompozitdan mustahkam). Sifatli birikmada kogeziyon yoki substrat buzilishi kuzatilishi kerak.

5.3. Mexanik birikmalar

Bolt va parchinlar ajratiladigan birikma, ishonchli nazorat va ta'mirlash imkonini beradi. Ammo teshik tolalarni kesadi va kuchlanish kontsentratsiyasi hosil qiladi. Bolt birikmalarida to'rt asosiy buzilish turi mavjud (21-rasm):



21-rasm. Bolt birikmasining buzilish turlari

- **ezilish (bearing)** – teshik devori bolt bosimi ostida eziladi; bu “xavfsiz”, progressiv buzilish, loyihada aynan shu tur maqsad qilinadi;
- **tortilish (net-tension)** – teshik kesimidan uzilish; plastina eni yetarli bo‘lmaganda;
- **kesilish (shear-out)** – bolt plastinaning chetini kesib chiqadi; chekka masofa kichik bo‘lganda;
- **yorilish (cleavage)** – tortilish va kesilishning aralash turi.

Ezilish kuchlanishi:

$$\sigma_{ez} = F / (d \cdot t)$$

Loyihalash qoidalari: chekka masofa $e/d \geq 3$, eni $w/d \geq 4-5$, teshiklar orasidagi qadam $\geq 4d$; laminatda kamida 10 % $\pm 45^\circ$ va 10 % 90° qatlamlar bo‘lishi; teshik va bolt o‘rtasidagi tirqish minimal (moslashuv H8/f7 dan aniq); qalpoqchasi keng shayba ishlatish; tortish momentini nazorat qilish (matritsa ezilib, “bo‘shashish” yuz bermasligi uchun).

Misol. Qalinligi $t = 4$ mm laminat $\varnothing 6$ mm bolt orqali $F = 4$ kN kuch uzatadi:

$$\sigma_{ez} = 4000 / (6 \cdot 4) = 167 \text{ MPa}$$

Uglerodplastik uchun ruxsat etilgan ezilish kuchlanishi $\approx 400\text{--}600$ MPa (zaxira bilan ~ 250 MPa), demak birikma mustahkam. Talab: $e \geq 3 \cdot 6 = 18$ mm, $w \geq 5 \cdot 6 = 30$ mm.

Galvanik korroziya. Uglerod tola elektr o'tkazuvchan va elektrokimyoviy jihatdan "olijanob" (nodir metallarga yaqin). Uglerodplastik alyuminiy yoki po'lat bilan bevosita tutashsa, namlik ishtirokida alyuminiy jadal korroziyaga uchraydi. Shuning uchun uglerodplastikda **titan yoki zanglamaydigan po'lat** mahkamlagichlar ishlatiladi, alyuminiy bilan ulanishda esa orasiga shisha mato qatlami yoki izolyatsion plyonka qo'yiladi. Shishaplastikda bu muammo yo'q.

Kombinatsiyalashgan (gibrid) birikmalar – yelim + bolt. Yelim asosiy yuklamani silliq uzatadi, bolt esa yelim qatlami shikastlanganda "zaxira yo'l" bo'lib xizmat qiladi va ko'chirib olish kuchlanishini kamaytiradi.

5.4. Kompozit buyumlardagi nuqsonlar

Nuqsonlar qoliplashda, mexanik ishlov berishda va ekspluatatsiyada paydo bo'ladi:

- **g'ovaklik va havo pufakchalari** – noto'g'ri degazatsiya, vakuum sizishi;
- **quruq joylar** – smola yetib bormagan zona;
- **qatlamlanish** – zarba, parmalash, ichki kuchlanishlar natijasida;
- **yelimlanmagan joy (disbond)** – yelimli birikmada;
- **tola burmasi (wrinkle) va yo'nalish og'ishi** – yotqizishda;
- **matritsadagi darzlar**, qotmay qolgan joylar;
- **mexanik ishlov nuqsonlari** – tuklanish, kuyish, o'lcham og'ishi.

G'ovaklikni aniqlash. Nazariy zichlik tarkibdan hisoblanadi, haqiqiy zichlik esa gidrostatik tortish (Arximed usuli) bilan o'lchanadi:

$$\rho_t = 1 / (W_f/\rho_f + W_m/\rho_m), \quad V_v = (\rho_t - \rho_e)/\rho_t \cdot 100 \%$$

Misol: $W_f = 0,65$ (shisha, $2,54$ g/sm³), $W_m = 0,35$ (smola, $1,15$ g/sm³), o'lchangan zichlik $\rho_e = 1,74$ g/sm³:

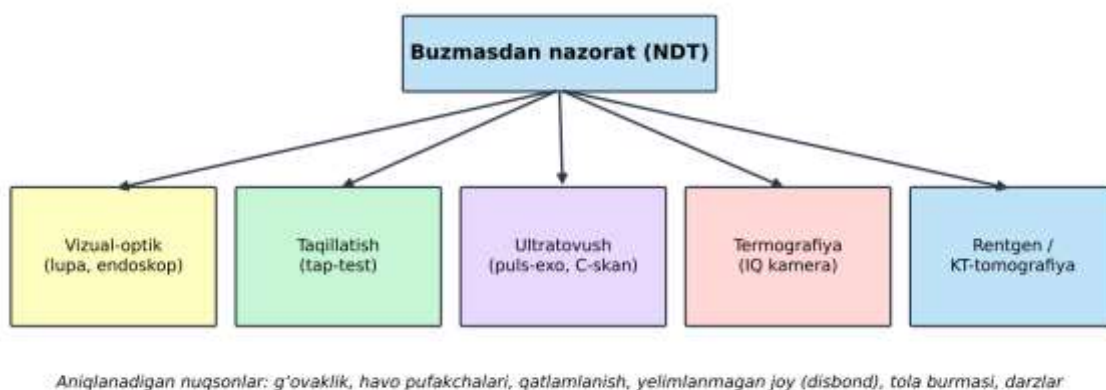
$$\rho_t = 1 / (0,65/2,54 + 0,35/1,15) = 1 / (0,2559 + 0,3043) = 1 / 0,5602 = 1,785 \text{ g/sm}^3$$

$$V_v = (1,785 - 1,740)/1,785 \cdot 100 = 2,5 \%$$

Aviatsiyada g'ovaklik odatda 1–2 % dan oshmasligi kerak; har 1 % g'ovaklik qatlamlararo mustahkamlikni ~5–10 % ga kamaytiradi.

5.5. Buzmasdan nazorat qilish usullari

22-rasmda kompozitlar uchun asosiy buzmasdan nazorat (NDT) usullari keltirilgan.



22-rasm. Kompozitlarni buzmasdan nazorat qilish usullari

- **Vizual-optik nazorat** – sirtagi darz, pufakcha, quruq joy, rang o'zgarishi; shishaplastik shaffof bo'lgani uchun orqadan yoritib ichki pufakchalarni ko'rish mumkin.
- **Taqillatish (tap-test)** – tanga yoki maxsus bolg'acha bilan sirtga yengil urib, tovush tinglanadi: sog'lom joyda jarangdor, qatlamlangan yoki yelimlanmagan joyda bo'g'iq ("puch") tovush. Oddiy, arzon, 2–3 mm chuqurlikkacha va diametri 15–25 mm dan katta nuqsonlarni aniqlaydi. Elektron tap-test asboblari zarba vaqtini o'lchab, natijani sonli beradi.
- **Ultratovushli nazorat** – eng keng qo'llaniladigan miqdoriy usul. Puls-exo usulida datchik materialga 1–10 MHz impuls yuboradi va qaytgan exo signallarini qayd qiladi. Nuqson chuqurligi:

$$h = v \cdot t / 2$$

bu yerda v – ultratovush tezligi materialda (uglerodplastik uchun ~3000 m/s), t – kirish va nuqson exosi orasidagi vaqt. C-skanda butun sirt bo'ylab tub exosining amplitudasi xarita ko'rinishida tasvirlanadi.

- **Infraqizil termografiya** – sirt qisqa qizdiriladi, IQ kamera issiqlik tarqalishini kuzatadi; qatlamlangan joyda issiqlik to‘planib, “issiq dog” ko‘rinadi. Katta maydonlarni tez tekshirish uchun qulay.
- **Rentgen va kompyuter tomografiyasi** – g‘ovaklik, qo‘shilmalar, tola yo‘nalishini 3D da ko‘rsatadi; qimmat, laboratoriya sharoitida qo‘llaniladi.
- **Buzib sinash** – partiyadan namunalar kesib olinib, cho‘zilish, egilish, qatlamlararo siljish (qisqa to‘sin) sinovlari va kuydirish (tola ulushini aniqlash) o‘tkaziladi.

Nazorat savollari

1. Yelimli birikmalarning qanday turlarini bilasiz? Qaysi biri eng mustahkam va nima uchun?
2. Yelimlashdan oldin kompozit sirti qanday tayyorlanadi? “Suv tomchisi” sinovi nimani ko‘rsatadi?
3. Ustma-ust birikmada urinma kuchlanish nima uchun notekis taqsimlanadi? Bundan qanday amaliy xulosa kelib chiqadi?
4. Bolt birikmasining buzilish turlarini ayting. Loyihalashda qaysi turga yo‘naltiriladi va qanday geometrik qoidalarga rioya qilinadi?
5. Taqillatish va ultratovushli nazorat usullarining imkoniyatlari va chegaralarini taqqoslang.

Test topshiriqlari

1. Kompozitlarni ta‘mirlashda eng ko‘p qo‘llaniladigan, eng silliq kuch uzatadigan birikma qaysi?
 - A) bir tomonlama ustma-ust
 - B) sharfli (qiya)
 - C) T-simon
 - D) burchakli
2. $b = 25 \text{ mm}$, $L = 12,5 \text{ mm}$ birikma 5 kN da buzildi. O‘rtacha urinma kuchlanish qancha?
 - A) 4 MPa
 - B) 8 MPa

- C) 16 MPa
D) 40 MPa
3. Uglerodplastik bilan alyuminiyni ulashda asosiy xavf nima?
A) galvanik korroziya
B) issiqdan kengayish yoʻqligi
C) yelimning muzlashi
D) magnitlanish
4. Bolt birikmasida chekka masofa e/d qanday boʻlishi tavsiya etiladi?
A) $\geq 0,5$
B) ≥ 1
C) ≥ 3
D) ≥ 10
5. Ultratovush tezligi 3000 m/s, nuqson exosi 2 mks da qaytdi. Nuqson chuqurligi qancha?
A) 6 mm
B) 3 mm
C) 1,5 mm
D) 0,3 mm

KALIT: 1–B; 2–C; 3–A; 4–C; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. Eni 50 mm boʻlgan shishaplastik plastinalarni ustma-ust yelimlab 12 kN kuchni uzatish talab etiladi ($[\tau] = 8 \text{ MPa}$). Ustma-ust uzunlikni hisoblang va xuddi shu kuchni $\varnothing 8 \text{ mm}$ boltlar bilan uzatish uchun ($[\sigma_{\text{ez}}] = 200 \text{ MPa}$, $t = 5 \text{ mm}$) nechta bolt kerakligini aniqlang. Ikki variantni massa va texnologiya jihatidan taqqoslang.
2. Maktab ustaxonasida tayyorlangan shishaplastik namunani vizual (orqadan yoritib) va taqillatish usuli bilan tekshirish boʻyicha yoʻriqnoma (5–7 bosqich) va nuqsonlarni qayd etish jadvali shaklini ishlab chiqing.

1-AMALIY MASHG'ULOT. KOMPOZIT MATERIALLARNING TARKIBIY QISMLARI VA XOSSALARINI LOYIHALASH

Ishning maqsadi

Berilgan buyum uchun tola va matritsa turini tanlash, aralashmalar qoidasi yordamida bir yo'nalishli qatlamning elastik va mustahkamlik xossalarini hisoblash, talab etilgan bikirlikka erishish uchun tola ulushini, qatlamlar sonini va laminat massasini aniqlash ko'nikmasini shakllantirish.

Jihozlar va materiallar

Muhandislik kalkulyatori yoki elektron jadval (Excel, Google Sheets), materiallar xossalari jadvallari (1-jadval), namunaviy shisha, uglerod va aramid mato bo'laklari, analitik tarozi, shtangensirkul.

Nazariy ma'lumot

Kompozitni loyihalash – bu buyumning vazifasidan kelib chiqib **materialning o'zini yaratish**. Loyihachi to'rt savolga javob beradi: qaysi tola? qaysi matritsa? tola ulushi qancha? tolalar qaysi yo'nalishlarda joylashadi?

Tola tanlash mezonlari: bikirlik talabi yuqori, massa muhim – uglerod; narx muhim, elektr izolyatsiya yoki radioshafoqlik kerak – shisha; zarbaga chidamlilik – aramid yoki shisha-aramid gibrid. **Matritsa tanlash mezonlari:** ishchi harorat ($\text{poliefir} \leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{epoksid} \leq 120\text{--}180\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{bismaleimid} \leq 230\text{ }^{\circ}\text{C}$), kimyoviy muhit (vinilefir), texnologiya (qo'lda qoliplashga poliefir, infuziyaga past qovushqoq epoksid), narx.

Aralashmalar qoidasi (mikromexanika). Bir yo'nalishli qatlamda tola yo'nalishi bo'yicha (1-o'q) tola va matritsa bir xil deformatsiyalanadi (parallel ulanish, Voigt modeli):

$$E_1 = V_f E_f + V_m E_m$$

Tolaga ko'ndalang yo'nalishda (2-o'q) kuchlanish bir xil, deformatsiyalar qo'shiladi (ketma-ket ulanish, Reuss modeli):

$$1/E_2 = V_f/E_f + V_m/E_m$$

Xuddi shunday siljish moduli va Puasson koeffitsiyenti:

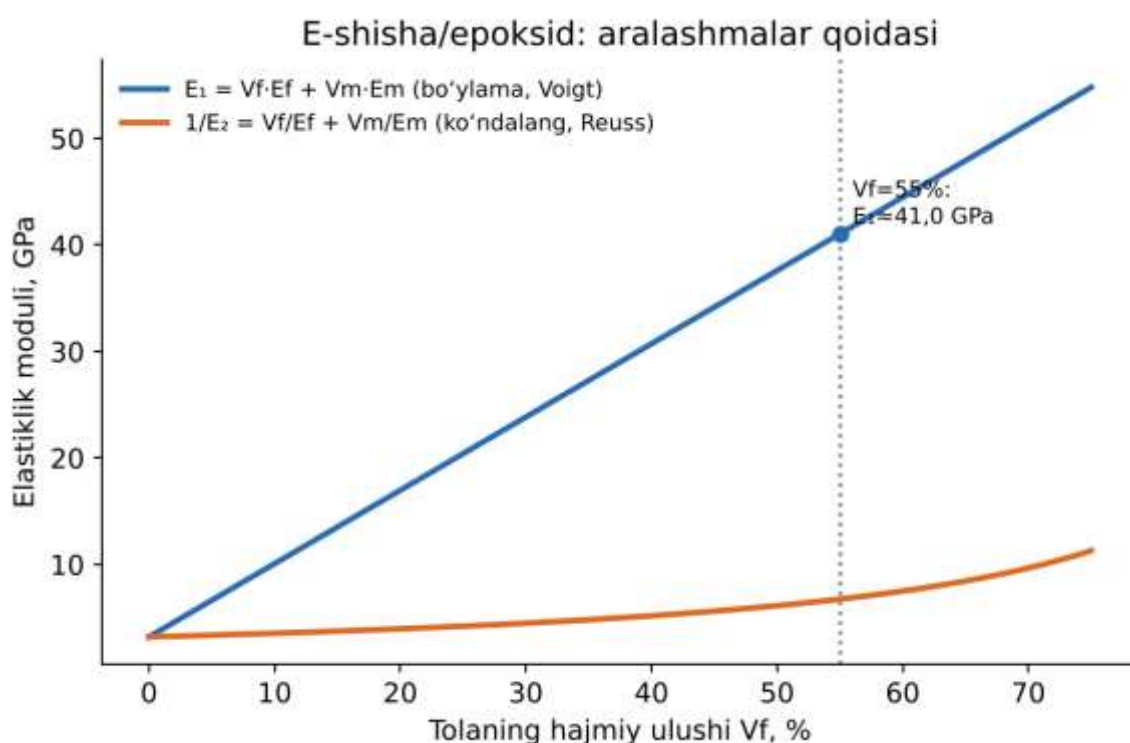
$$1/G_{12} = V_f/G_f + V_m/G_m, \quad \nu_{12} = V_f \cdot \nu_f + V_m \cdot \nu_m$$

Tola yoʻnalishidagi choʻzilish mustahkamligi (tola matritsadan oldin uziladi deb hisoblanganda):

$$\sigma_l = V_f \cdot \sigma_f + V_m \cdot \sigma_m^*, \quad \sigma_m^* = E_m \cdot \varepsilon_f$$

bu yerda σ_m^* – tola uzilgan paytdagi matritsa kuchlanishi, $\varepsilon_f = \sigma_f/E_f$ – tolaning uzilishdagi deformatsiyasi.

23-rasmda E_1 va E_2 ning tola ulushiga bogʻliqligi koʻrsatilgan: E_1 chiziqli oʻsadi, E_2 esa faqat $V_f > 0,6$ da sezilarli ortadi. Bu kompozitning anizotropiyasini yaqqol koʻrsatadi.



23-rasm. E-shisha/epoksid uchun aralashmalar qoidasi: boʻylama va koʻndalang modullar

Qatlam qalinligi. Armaturaning sirt zichligi maʼlum boʻlsa (g/m^2), bitta qatlamning qalinligi:

$$tq = mA / (\rho_f \cdot V_f)$$

bu yerda mA – armaturaning sirt zichligi (kg/m^2), ρ_f – tola zichligi (kg/m^3).

Aralashmalar qoidasining chegaralari. Formulalar ideal holat uchun: tolalar toʻgʻri, bir tekis taqsimlangan, interfeys mukammal, gʻovaklik yoʻq. Amalda E_1 hisobdagidan 3–5 % kam, σ_1 esa 10–30 % kam chiqadi (tolalar egriligi,

nuqsonlar). E_2 uchun Reuss formulasi pastroq baho beradi; aniqroq hisob uchun Halpin–Tsai tenglamalari ishlatiladi. Mato ($0^\circ/90^\circ$) uchun har bir yo‘nalishdagi modul taxminan $(E_1 + E_2)/2$ ga, burmalanish tufayli esa yana 5–10 % kamroq bo‘ladi.

Namunaviy hisob

Topshiriq. Maktab robototexnika to‘garagi uchun robot qo‘lining bir yo‘nalishli shishaplastik plastinasi loyihalanmoqda. Talab: tola yo‘nalishida $E_1 \geq 40$ GPa, qalinlik 3 mm. Materiallar: E-shisha tola ($E_f = 72$ GPa, $\sigma_f = 2000$ MPa – kompozitdagi samarali qiymat, $G_f = 30$ GPa, $\nu_f = 0,22$, $\rho_f = 2540$ kg/m³), epoksid smola ($E_m = 3,2$ GPa, $G_m = 1,2$ GPa, $\nu_m = 0,35$, $\rho_m = 1150$ kg/m³). Armatura – sirt zichligi 300 g/m² bo‘lgan bir yo‘nalishli lenta.

1-qadam. Minimal tola ulushi. $E_1 = V_f \cdot E_f + (1 - V_f) \cdot E_m \geq 40$ dan:

$$V_f \geq (40 - 3,2) / (72 - 3,2) = 36,8 / 68,8 = 0,535$$

Texnologik zaxira bilan $V_f = 0,55$ qabul qilamiz (vakuumli infuziya bilan erishiladi).

2-qadam. Elastik xossalar ($V_f = 0,55$; $V_m = 0,45$):

$$E_1 = 0,55 \cdot 72 + 0,45 \cdot 3,2 = 39,6 + 1,44 = 41,0 \text{ GPa}$$

$$E_2 = 1 / (0,55/72 + 0,45/3,2) = 1 / (0,00764 + 0,14063) = 1 / 0,14827 = 6,74 \text{ GPa}$$

$$G_{12} = 1 / (0,55/30 + 0,45/1,2) = 1 / (0,01833 + 0,375) = 2,54 \text{ GPa}$$

$$\nu_{12} = 0,55 \cdot 0,22 + 0,45 \cdot 0,35 = 0,121 + 0,158 = 0,279$$

Anizotropiya darajasi $E_1/E_2 = 41,0/6,74 \approx 6,1$.

3-qadam. Mustahkamlik.

$$\varepsilon_f = 2000/72\,000 = 0,0278 \text{ (2,78 \%)}; \sigma_m^* = 3200 \cdot 0,0278 = 89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 0,55 \cdot 2000 + 0,45 \cdot 89 = 1100 + 40 = 1140 \text{ MPa}$$

4-qadam. Zichlik va qatlamlar soni.

$$\rho_c = 0,55 \cdot 2540 + 0,45 \cdot 1150 = 1397 + 518 = 1915 \text{ kg/m}^3 \text{ (1,915 g/sm}^3\text{)}$$

$$t_q = 0,300 / (2540 \cdot 0,55) = 0,000215 \text{ m} = 0,215 \text{ mm}$$

$$n = 3,0 / 0,215 = 13,96 \approx 14 \text{ qatlam}$$

5-qadam. Massa va materiallar sarfi (plastina 300×60 mm, ya’ni 0,018 m²):

$$m = \rho c \cdot V = 1915 \cdot (0,3 \cdot 0,06 \cdot 0,003) = 1915 \cdot 5,4 \cdot 10^{-5} = 0,103 \text{ kg}$$

$$mf = 14 \cdot 0,300 \cdot 0,018 = 0,0756 \text{ kg}; \quad mm = 0,103 - 0,076 = 0,027 \text{ kg}$$

Smola tayyorlashda infuziya yo‘qotishlari (to‘r, quvurlar) uchun 2–2,5 barobar ko‘p olinadi: $\approx 60\text{--}70 \text{ g}$.

6-qadam. Taqqoslash. Xuddi shunday bikirlikdagi alyuminiy plastina ($E = 72 \text{ GPa}$): egilish bikirligi $E \cdot t^3$ teng bo‘lishi uchun $t_{Al} = 3 \cdot (41/72)^{(1/3)} = 3 \cdot 0,829 = 2,49 \text{ mm}$; massasi $2780 \cdot 0,3 \cdot 0,06 \cdot 0,00249 = 0,125 \text{ kg}$. Demak shishaplastik tola yo‘nalishida alyuminiydan $\sim 18 \%$ yengil. Uglerod tola tanlansa ($E_f = 230 \text{ GPa}$, $V_f = 0,55$, $E_1 \approx 128 \text{ GPa}$) massa yana 2 barobardan ortiq kamayadi, lekin narx 10–15 marta oshadi – bu “massa–narx” murosasi.

Ishni bajarish tartibi

1. O‘qituvchidan individual variant oling (5-jadval).
2. Buyumning ishlash sharoitini tahlil qiling va tola hamda matritsa turini asoslab tanlang.
3. Talab etilgan bikirlik bo‘yicha minimal V_f ni hisoblang, texnologik usulga mos qiymatni qabul qiling.
4. E_1 , E_2 , G_{12} , ν_{12} , σ_1 , ρc ni hisoblang.
5. Qatlam qalinligi, qatlamlar soni, buyum massasi, tola va smola sarfini aniqlang.
6. Elektron jadvalda $V_f = 0,3 \dots 0,7$ oralig‘ida E_1 va E_2 grafigini quring (23-rasm kabi).
7. Natijani metall analogi bilan massa va narx bo‘yicha taqqoslang, xulosa yozing.

5-jadval. Individual variantlar

Variant	Buyum	Talab	Qalinlik, mm	Armatura
1	Qayiq eshkagi pallasi	$E_1 \geq 35 \text{ GPa}$	4	E-shisha UD 600 g/m ²
2	Dron rama nuri	$E_1 \geq 110 \text{ GPa}$	2	uglerod UD 200 g/m ²
3	Kamon yelkasi	$E_1 \geq 38 \text{ GPa}$	5	E-shisha UD 400 g/m ²

Variant	Buyum	Talab	Qalinlik, mm	Armatura
4	Velosiped qanoti	$E_1 \geq 100$ GPa	1,5	uglerod UD 150 g/m ²
5	Himoya plastinasi	$E_1 \geq 60$ GPa	6	aramid UD 300 g/m ² ($E_f = 124$ GPa, $\rho_f = 1440$)
6	Model samolyot qanot lonjeroni	$E_1 \geq 120$ GPa	3	uglerod UD 300 g/m ²

Nazorat savollari

1. Kompozitni loyihalashda qaysi to'rtta asosiy savolga javob beriladi?
2. Nima uchun E_1 uchun "parallel", E_2 uchun esa "ketma-ket" ulanish modeli qo'llaniladi?
3. Aralashmalar qoidasi qanday farazlarga asoslangan va amalda natija nima uchun farq qiladi?
4. Qatlam qalinligi qanday hisoblanadi? Tola ulushi ortsa qalinlik qanday o'zgaradi?
5. Uglerod va shisha tolani "massa-narx" muvosi nuqtai nazaridan qanday tanlaysiz?

Test topshiriqlari

1. $V_f = 0,6$, $E_f = 230$ GPa, $E_m = 3$ GPa bo'lsa, E_1 qancha?
 - A) 139,2 GPa
 - B) 116,5 GPa
 - C) 230 GPa
 - D) 7,4 GPa
2. Tolaga ko'ndalang yo'nalishdagi modul E_2 qaysi model bilan hisoblanadi?
 - A) Voigt (parallel)
 - B) Reuss (ketma-ket)
 - C) Teylor
 - D) Darsi
3. 300 g/m² li tola ($\rho_f = 2540$ kg/m³), $V_f = 0,5$ bo'lsa qatlam qalinligi taxminan qancha?
 - A) 0,12 mm
 - B) 0,24 mm

C) 0,6 mm

D) 1,2 mm

4. V_f ortishi bilan qaysi xossa eng sekin o'sadi ($V_f < 0,5$ da)?

A) E_1

B) σ_1

C) E_2

D) ρ_c (shisha/epoksid uchun)

5. $E_1 \geq 40$ GPa uchun minimal V_f ($E_f = 72$, $E_m = 3,2$ GPa) qancha?

A) 0,35

B) 0,45

C) 0,535

D) 0,72

KALIT: 1–A; 2–B; 3–B; 4–C; 5–C

Mustaqil topshiriqlar

1. Uglerod tola ($E_f = 230$ GPa, $\sigma_f = 3500$ MPa, $\rho_f = 1780$ kg/m³) va epoksid ($E_m = 3,5$ GPa, $\rho_m = 1200$ kg/m³) uchun $V_f = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$ da E_1 , E_2 , σ_1 , ρ_c ni hisoblab, natijalarni jadval va grafik ko'rinishida taqdim eting. Nima uchun amalda $V_f = 0,7$ dan oshirilmasligini tushuntiring.

2. 5-jadvaldagi variantingiz uchun shisha va uglerod tolali ikki yechimni massa va xom ashyo narxi bo'yicha taqqoslang (narxlarni internet manbalaridan oling) va maktab to'garagi uchun eng maqbul variantni asoslang.

2-AMALIY MASHG'ULOT. MUAYYAN DETAL UCHUN VAKUUMLI INFUZIYA TEXNOLOGIK XARITASINI VA QOLIP KONSTRUKSIYASINI ISHLAB CHIQISH

Ishning maqsadi

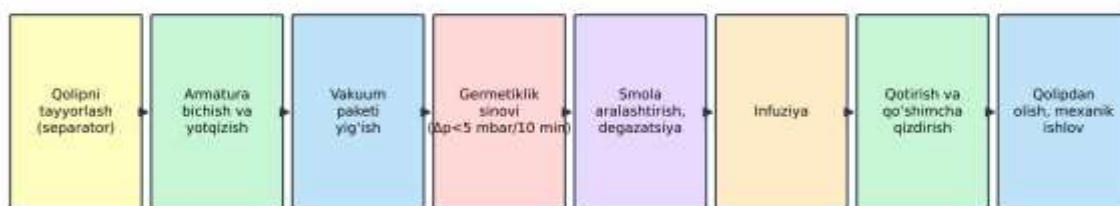
Berilgan detal uchun vakuumli infuziya jarayonining texnologik xaritasini tuzish: armatura qatlamlari, materiallar sarfi, smola kirish va vakuum chiqish nuqtalari, to'lish vaqti, qotirish rejimi; qolip konstruksiyasining asosiy elementlarini belgilash.

Jihozlar va materiallar

Detal chizmasi, armatura va smolalarning texnik ma'lumot varaqlari (TDS), kalkulyator yoki elektron jadval; namoyish uchun: vakuum nasosi, vakuumetr, vakuum plyonkasi, germetik lenta, peel ply, taqsimlovchi to'r, spiral quvur, smola tutqich (trap).

Nazariy ma'lumot

Texnologik xarita – mahsulotni tayyorlash jarayonining barcha operatsiyalari, ularning ketma-ketligi, jihozlar, materiallar, rejimlar va nazorat usullarini belgilovchi asosiy texnologik hujjat. Vakuumli infuziya uchun texnologik xarita quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi (24-rasm).



24-rasm. Vakuumli infuziya texnologik jarayonining blok-sxemasi

Qolip konstruksiyasiga talablar:

- qolip materiali vakuumda gaz o'tkazmasligi va qotirish haroratiga chidashi kerak (shishaplastik qolip, alyuminiy, laminatlangan plita, shisha);
- qolip sirti detal sirtidan 50–100 mm kengroq bo'lib, germetik lenta va spiral quvurlar uchun **flanes** hosil qiladi;

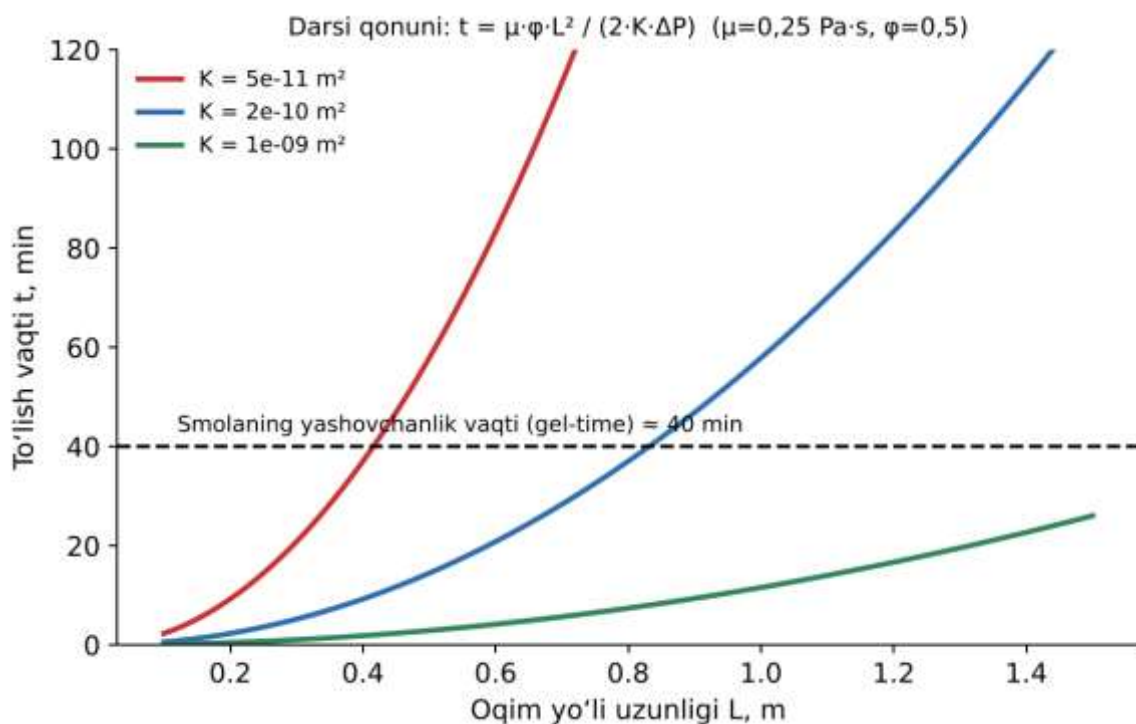
- chiqarish qiyaligi $1-3^\circ$, ichki burchaklar radiusi $\geq 3-5$ mm (armatura burchakni “ko‘prik” qilib o‘tmasligi uchun);
- qolip bikirligi vakuum ostida egilmaslikka yetarli bo‘lishi;
- qolip sirti polirlangan va separator bilan ishlov berilgan.

Kirish va chiqish nuqtalarini joylashtirish. Asosiy qoida: smola **eng uzun oqim yo‘lini** gel-vaqtdan oldin bosib o‘tishi kerak. Shuning uchun uzunchoq detallarda kirish kanali uzun tomon bo‘ylab (oqim qisqa tomon bo‘ylab) joylashtiriladi; vakuum chiqishi – kirishga qarama-qarshi chekkada, smola eng oxirgi yetib boradigan joyda. Taqsimlovchi to‘r odatda vakuum chiqishigacha 30–50 mm yetkazilmaydi (“to‘xtash zonasi”), bu smolaning chiqishga oldinroq yetib borib, ichkarida quruq joy qoldirishining oldini oladi.

To‘lish vaqti Darsi formulasi bilan baholanadi (2-ma’ruza):

$$t = \mu \cdot \varphi \cdot L^2 / (2 \cdot K \cdot \Delta P)$$

Taqsimlovchi to‘r bilan samarali o‘tkazuvchanlik $K = 10^{-9} \text{ m}^2$ tartibida, to‘rsiz esa $10^{-10} \dots 10^{-11} \text{ m}^2$. 25-rasmda turli K da to‘lish vaqtining oqim uzunligiga bog‘liqligi ko‘rsatilgan.



25-rasm. Darsi qonuni bo‘yicha to‘lish vaqtining oqim yo‘li uzunligiga bog‘liqligi

Germetiklik sinovi. Paket yig'ilgach, nasos o'chiriladi va 10 daqiqa davomida vakuum pasayishi kuzatiladi; pasayish 5 mbar dan oshmasligi kerak. Aks holda sizish joyi (ko'pincha germetik lenta burmalari) ultratovushli sizish detektori yoki quloq bilan topiladi.

Namunaviy hisob

Topshiriq. O'lchamlari 1000×600 mm, qalinligi 4 mm bo'lgan tekis shishaplastik panel (masalan, ustaxona stoli qopqog'i) vakuumli infuziya bilan tayyorlanadi. Armatura – ±45° ikki o'qli shisha mato, sirt zichligi 600 g/m²; smola – infuziya epoksidi, qovushqoqligi 25 °C da $\mu = 0,25 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, gel-vaqti 40 min; maqsad $V_f = 0,50$.

1-qadam. Qatlamlar soni.

$$t_q = 0,600 / (2540 \cdot 0,50) = 0,472 \text{ mm}; \quad n = 4,0 / 0,472 = 8,5 \rightarrow 8 \text{ qatlam } (t = 3,78 \text{ mm})$$

8 qatlam qabul qilinadi; simmetriya uchun qatlamlar $[\pm 45]_4 S$ tartibida (o'rta nisbatan oyna-simmetrik) yotqiziladi – bu qotishdan keyin panel qiyshayib qolmasligini ta'minlaydi.

2-qadam. Tola va smola massasi. Panel yuzasi 0,6 m².

$$mf = 8 \cdot 0,600 \cdot 0,6 = 2,88 \text{ kg}; \quad Vf_hajm = 2,88 / 2540 = 1,134 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 (1,134 \text{ l})$$

$V_f = 0,5$ bo'lgani uchun smola hajmi tola hajmiga teng: 1,134 l, massasi $1,134 \cdot 1,15 = 1,30 \text{ kg}$. Peel ply, taqsimlovchi to'r va quvurlardagi yo'qotishlar ($\approx 0,5\text{--}0,6 \text{ kg/m}^2$ to'r uchun) hisobga olinsa: $1,30 + 0,6 \cdot 0,6 + 0,1 \approx 1,76 \text{ kg} \approx 1,8 \text{ kg}$. Smola:qotirgich nisbati 100:30 bo'lsa: smola 1,38 kg + qotirgich 0,42 kg.

3-qadam. Kirish sxemasi va to'lish vaqti. Variant A – kirish 600 mm li qisqa tomon bo'ylab, oqim 1,0 m. Variant B – kirish 1000 mm li uzun tomon bo'ylab, oqim 0,6 m. Taqsimlovchi to'r bilan $K = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$, $\varphi = 0,5$, $\Delta P = 0,09 \text{ MPa}$:

$$t_A = 0,25 \cdot 0,5 \cdot 1,0^2 / (2 \cdot 10^{-9} \cdot 0,9 \cdot 10^5) = 0,125 / 1,8 \cdot 10^{-4} = 694 \text{ s} \approx 11,6 \text{ min}$$

$$t_B = 0,25 \cdot 0,5 \cdot 0,6^2 / 1,8 \cdot 10^{-4} = 0,045 / 1,8 \cdot 10^{-4} = 250 \text{ s} \approx 4,2 \text{ min}$$

Ikkala variant ham gel-vaqtdan (40 min) kam. Ammo to'r faqat sirt bo'ylab tez oqim beradi; qalinlik bo'yicha shimdirish uchun qo'shimcha vaqt kerak bo'ladi,

shuning uchun zaxira katta bo'lgan **B variant** tanlanadi: kirish – uzun tomon bo'ylab spiral quvur, vakuum chiqishi – qarama-qarshi uzun tomonda.

4-qadam. Qolip. Qolip – 15 mm li laminatlangan plita yoki shisha list, o'lchami 1200×800 mm (har tomondan 100 mm flanes). Sirt: 3 qavat separator mum, har biri 15 daqiqada polirlanadi.

5-qadam. Qotirish rejimi. 25 °C da 24 soat (qolipda), so'ngra qolipdan olib, 60 °C da 6 soat qo'shimcha qizdirish (postcuring) – smolaning to'liq qotishi va Tg ning oshishi uchun.

6-jadval. Texnologik xarita (namuna)

№	Operatsiya	Jihoz, materiallar	Rejim, parametrlar	Nazorat
1	Qolipni tayyorlash	plita, mum separator, salfetka	3 qavat, har biri 15 min	sirt yaltiroq, chang yo'q
2	Armaturani bichish	stol, qaychi, shablon	8 dona 1000×600 mm, ±45°	o'lcham ±5 mm
3	Qatlamlarni yotqizish	qo'lqop, aerosol yelim (minimal)	[±45]4S	yo'nalish, Burma yo'q
4	Peel ply va to'r	peel ply, taqsimlovchi to'r	to'r chiqishgacha 40 mm yetmaydi	joylashuv
5	Spiral quvurlar, germetik	spiral quvur, germetik lenta	kirish – uzun tomon	lentaning uzluksizligi
6	Vakuum paketi	plyonka, plyonka burmalari	vakuum –0,09 MPa	vakuummetr
7	Germetiklik sinovi	vakuummetr, sekundomer	10 min	$\Delta p < 5 \text{ mbar}$
8	Smola tayyorlash	tarozi, idish, aralashtirgich	100:30, 3 min aralashtirish, degazatsiya 5 min	tarozi ±1 g
9	Infuziya	smola idishi, qisqich	$t \approx 4-6 \text{ min}$	front kuzatuv
10	Qotirish	–	25 °C, 24 soat	qattqlik (Barkol)
11	Qo'shimcha qizdirish	pech	60 °C, 6 soat	–
12	Qolipdan olish, kesish	plastik pona, freza	kompression freza	o'lcham, qirra
13	Sifat nazorati	lupa, tanga, tarozi	vizual, tap-test, massa	pufak, quruq joy yo'q

Ishni bajarish tartibi

1. Individual variant bo'yicha detal chizmasini o'rganing (7-jadval).

2. Armatura turi, yo'nalishi va qatlamlar sonini aniqlang, simmetrik yotqizish sxemasini tuzing.
3. Tola va smola massasini, yo'qotishlarni hisobga olib, hisoblang.
4. Kamida ikki variantda kirish/chiqish sxemasini chizing, to'lish vaqtini hisoblang, maqbulini tanlang.
5. Qolip konstruksiyasining eskizini chizing (o'lchamlar, flanes, qiyalik, material).
6. 6-jadval shaklida texnologik xarita tuzing.
7. Xavfsizlik va chiqindilarni utilizatsiya qilish bo'yicha talablarni yozing.

7-jadval. Individual variantlar

Variant	Detal	O'lcham, mm	Qalinlik, mm	Armatura
1	Ustaxona stoli qopqog'i	1200×700	5	shisha ±45°, 600 g/m ²
2	Kayak o'rindig'i	500×400 (egri)	3	shisha mato 300 g/m ²
3	Elektr shkaf eshigi	800×600	3	shisha 0/90°, 450 g/m ²
4	Skeytbord	800×220	8	shisha + uglerod
5	Robot platformasi	400×400	2	uglerod mato 200 g/m ²
6	Qayiq o'rindig'i	1500×350	6	shisha ±45°, 800 g/m ²

Nazorat savollari

1. Texnologik xarita nima va unda qanday ma'lumotlar keltiriladi?
2. Vakuumli infuziya uchun qolipga qanday konstruktiv talablar qo'yiladi?
3. Smola kirish va vakuum chiqish nuqtalari qanday qoidalar asosida joylashtiriladi?
4. Nima uchun taqsimlovchi to'r vakuum chiqishigacha yetkazilmaydi?
5. Laminatni simmetrik yotqizish nima uchun zarur?

Test topshiriqlari

1. Germetiklik sinovida 10 daqiqada ruxsat etilgan vakuum pasayishi qancha?
 - A) 5 mbar dan kam
 - B) 50 mbar
 - C) 0,5 bar
 - D) cheklanmaydi

2. Uzunchoq detalda smola kirish kanali qanday joylashtiriladi?
- A) qisqa tomon bo'ylab
 - B) uzun tomon bo'ylab
 - C) markazdagi bitta nuqtada
 - D) vakuum chiqishi bilan bir joyda
3. Oqim yo'li 1,0 m dan 0,5 m ga qisqarsa to'lish vaqti necha marta kamayadi?
- A) 2
 - B) 4
 - C) 8
 - D) o'zgarmaydi
4. 600 g/m^2 li 8 qatlam, $0,6 \text{ m}^2$ yuzali panelda tola massasi qancha?
- A) 0,48 kg
 - B) 1,44 kg
 - C) 2,88 kg
 - D) 4,80 kg
5. Qotishdan keyin smolani qo'shimcha qizdirishdan (postcuring) maqsad nima?
- A) rangini o'zgartirish
 - B) qotishni yakunlash va Tg ni oshirish
 - C) tolani eritish
 - D) separatorni olib tashlash

KALIT: 1–A; 2–B; 3–B; 4–C; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. 7-jadvaldagi variantingiz uchun to'liq texnologik xarita tuzing va qolip eskizini (uch ko'rinishda) chizing.
2. Smolaning qovushqoqligi 20°C da $0,45 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, 30°C da $0,20 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ bo'lsa, variantingiz uchun ikki haroratda to'lish vaqtini hisoblang va ustaxonada qaysi haroratda infuziya o'tkazishni tavsiya qilishingizni asoslang.

3-AMALIY MASHG‘ULOT. KOMPOZIT MATERIALLARNI PARMALASH VA FREZALASHDA KESISH REJIMLARI VA OPTIMAL ASBOBLARNI TANLASH

Ishning maqsadi

Kompozit turi, detal qalinligi va sifat talablaridan kelib chiqib parmalash va frezalash uchun asbob materiali va geometriyasini tanlash, kesish rejimlarini (v , n , S , fz , vf) hisoblash, stanok imkoniyatlari bilan tekshirish, qatlamlanishning yo‘qligini kritik o‘q kuchi bo‘yicha baholash.

Jihozlar va materiallar

Asbob kataloglari (qattiq qotishma, olmos qoplamali, PCD parmalar va kompression frezalar), stanok pasporti (shpindel aylanishlar diapazoni, quvvati), kalkulyator; namoyish uchun turli geometriyali parmalar va frezalar to‘plami.

Nazariy ma’lumot

Asbob tanlash algoritmi:

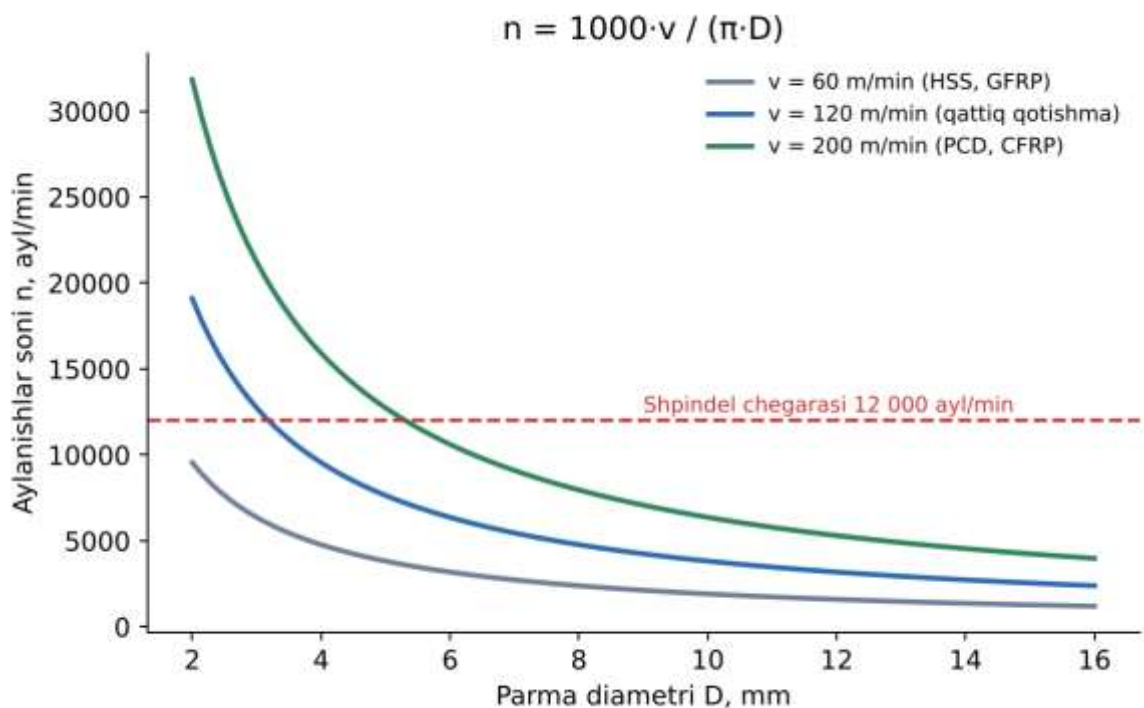
1. Material: shishaplastik / uglerodplastik / aramidplastik / gibril / MMK.
2. Seriya: yakka (qattiq qotishma), o‘rta (olmos qoplama), yirik (PCD).
3. Sifat talabi: F_d chegarasi, sirt g‘adir-budurligi R_a , teshik aniqligi (H7, H8, H9).
4. Geometriya: parmalar uchun – uchi burchagi (shishaplastik uchun 118° , uglerodplastik uchun $90-130^\circ$ yoki ikki pog‘onali), o‘roqsimon (brad-point) – yupqa laminat uchun, xanjar (dagger) – aviatsiya teshiklari uchun, pog‘onali – qatlamlanish xavfi yuqori bo‘lganda; frezalar uchun – kompression, ko‘p tishli (“ananas”), PCD.

Asosiy formulalar:

$$n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot D); \quad vf = S \cdot n \text{ (parmalash)}; \quad vf = fz \cdot z \cdot n \text{ (frezalash)}$$

Parmalash vaqti: $t = (1 + 0,3 \cdot D + 2) / vf$. Frezalash vaqti: $t = (L_k + D) / vf$, bu yerda L_k – kontur uzunligi.

Agar hisoblangan n stanokning maksimal aylanishlar sonidan katta bo‘lsa, $n = n_{\max}$ qabul qilinadi va haqiqiy kesish tezligi qayta hisoblanadi; surish tezligi esa fz bo‘yicha qayta aniqlanadi (26-rasm).



26-rasm. Aylanishlar sonining parma diametri va kesish tezligiga bog‘liqligi

O‘q kuchi va qatlamlanish. O‘q kuchi uchun empirik formula:

$$F_z = C_p \cdot D^x \cdot S^y$$

Uglerodplastik va qattiq qotishma parma uchun taxminiy qiymatlar: $C_p \approx 600$, $x \approx 1,0$, $y \approx 0,7$ (D – mm, S – mm/ayl, F_z – N). Hisoblangan F_z ni Hocheng–Dharan kritik kuchi F^* bilan taqqoslash orqali teshik chiqishida qatlamlanish bo‘lish-bo‘lmasligi baholanadi.

Kesish quvvati. Kompozitlarning solishtirma kesish energiyasi kc kichik (uglerodplastik uchun 0,1–0,3 J/mm³), shuning uchun quvvat odatda cheklovchi omil emas:

$$N = kc \cdot Q, \quad Q = ae \cdot ap \cdot vf \text{ (frezalashda olib tashlanadigan material hajmi tezligi)}$$

Namunaviy hisob

1-masala. Parmalash. Qalinligi 10 mm bo‘lgan kvazi-izotrop uglerodplastik plitada Ø8 mm (H9) teshiklar ochiladi; seriya – 2000 dona. Stanok: $n_{\max} = 12\,000$ ayl/min, $N = 3$ kVt.

Tanlov: o‘rta seriya → CVD-olmos qoplamali qattiq qotishma parma, uchi burchagi 120°, ikki pog‘onali. 3-jadvaldan $v = 100$ m/min, $S = 0,04$ mm/ayl.

$$n = 1000 \cdot 100 / (3,1416 \cdot 8) = 3979 \approx 4000 \text{ ayl/min (nmax dan kichik – qabul qilinadi)}$$

$$vf = 0,04 \cdot 4000 = 160 \text{ mm/min}$$

$$t = (10 + 0,3 \cdot 8 + 2) / 160 = 14,4 / 160 = 0,09 \text{ min} \approx 5,4 \text{ s}$$

O‘q kuchi: $F_z = 600 \cdot 8 \cdot 0,04^{0,7}$. Bunda $0,04^{0,7} = e^{(0,7 \cdot \ln 0,04)} = e^{(0,7 \cdot (-3,219))} = e^{(-2,253)} = 0,105$, demak $F_z = 4800 \cdot 0,105 \approx 504 \text{ N}$.

Kritik kuch ($G_{IC} = 200 \text{ J/m}^2$, $E = 50 \text{ GPa}$, $\nu = 0,3$), $h = 1,0 \text{ mm}$ uchun:

$$F^* = \pi \cdot \sqrt{[8 \cdot 200 \cdot 50 \cdot 10^9 \cdot (10^{-3})^3 / 2,73]} = \pi \cdot \sqrt{(80\,000 / 2,73)} = \pi \cdot 171,2 = 538 \text{ N}$$

$h = 0,5 \text{ mm}$ uchun $F^* = 190 \text{ N}$ (3-ma’ruza). $F_z = 504 \text{ N} > 190 \text{ N}$ – oxirgi millimetrdan qatlamlanish xavfi bor. Choralar: (a) teshikning oxirgi $1,5 \text{ mm}$ da surishni $S = 0,01 \text{ mm/ayl}$ gacha kamaytirish: $F_z = 4800 \cdot 0,01^{0,7} = 4800 \cdot 0,0398 = 191 \text{ N} \approx F^*$ (chegaraviy); (b) qo‘shimcha ravishda **tayanch plita** qo‘yish – u oxirgi qatlamlarni ushlab turadi va F^* ni amalda bir necha marta oshiradi; (c) $\varnothing 4 \text{ mm}$ uchuvchi teshik ochib, so‘ngra $\varnothing 8 \text{ mm}$ ga kengaytirish – markaziy qism (ko‘ndalang qirra) ishlamagani uchun o‘q kuchi 40–50 % ga kamayadi.

Qabul qilingan rejim: $S_1 = 0,04 \text{ mm/ayl}$ (0–8,5 mm), $S_2 = 0,01 \text{ mm/ayl}$ (8,5–12,4 mm), tayanch plita bilan. Vaqt: $8,5/160 + 3,9/40 = 0,053 + 0,098 = 0,151 \text{ min} \approx 9 \text{ s}$.

2-masala. Konturni frezalash. Xuddi shu plita konturi (perimetri $L_k = 1200 \text{ mm}$) $\varnothing 10 \text{ mm}$ kompression freza ($z = 6$) bilan to‘liq qalinlikda kesiladi. Tavsiya: $v = 300 \text{ m/min}$, $f_z = 0,04 \text{ mm/tish}$.

$$n = 1000 \cdot 300 / (3,1416 \cdot 10) = 9549 \text{ ayl/min } (\leq 12\,000)$$

$$vf = 0,04 \cdot 6 \cdot 9549 = 2292 \text{ mm/min}$$

$$t = (1200 + 10) / 2292 = 0,53 \text{ min} \approx 32 \text{ s}$$

Quvvat: $Q = a_e \cdot a_p \cdot vf = 10 \cdot 10 \cdot 2292 = 229\,200 \text{ mm}^3/\text{min} = 3820 \text{ mm}^3/\text{s}$ (to‘liq kanal kesish, $a_e = D$). $k_c = 0,2 \text{ J/mm}^3$ bo‘lsa $N = 0,2 \cdot 3820 = 764 \text{ Vt} < 3 \text{ kVt}$. Stanok quvvati yetarli.

3-masala. Shishaplastik uchun. Xuddi shu teshik ($\varnothing 8$) 6 mm shishaplastikda qattiq qotishma parma bilan, yakka buyurtma: $v = 80 \text{ m/min} \rightarrow n = 3183 \text{ ayl/min}$, $S = 0,08 \text{ mm/ayl} \rightarrow vf = 255 \text{ mm/min}$.

8-jadval. Kesish rejimi kartasi (namuna)

Parametr	Parmalash (CFRP, Ø8)	Frezalash (CFRP, Ø10)	Parmalash (GFRP, Ø8)
Asbob	CVD-olmos, 120°, pog'onali	kompression, z = 6	qattiq qotishma VK8, 118°
v, m/min	100	300	80
n, ayl/min	4000	9549	3183
S yoki fz	0,04 / 0,01 mm/ayl	0,04 mm/tish	0,08 mm/ayl
vf, mm/min	160 / 40	2292	255
Asosiy vaqt	9 s	32 s	4 s
Qo'shimcha	tayanch plita, chang so'rish	chang so'rish, qisqichlar	tayanch plita

Ishni bajarish tartibi

1. Variant shartlarini yozib oling (9-jadval).
2. Asbob materiali va geometriyasini tanlash algoritmi bo'yicha tanlang va asoslang.
3. v va S (fz) ni jadvaldan tanlab, n, vf, asosiy vaqtni hisoblang; stanok cheklovlari bilan tekshiring.
4. Fz ni hisoblab, F* bilan taqqoslang; zarur bo'lsa ikki bosqichli surish yoki uchuvchi teshik qo'llang.
5. Frezalash uchun quvvatni tekshiring.
6. 8-jadval shaklida kesish rejimi kartasini tuzing.

9-jadval. Individual variantlar

Variant	Material, qalinlik	Teshik/kontur	Seriya	nmax, ayl/min
1	CFRP, 6 mm	Ø6, kontur 800 mm	500	10 000
2	GFRP, 12 mm	Ø10, kontur 1500 mm	50	6000
3	CFRP, 4 mm	Ø4,8 (parchin), kontur 600 mm	10 000	18 000
4	Aramid/epoksid, 5 mm	Ø6, kontur 400 mm	100	12 000
5	GFRP, 3 mm	Ø5, kontur 2000 mm	1000	8000
6	CFRP/Al paket, 6+4 mm	Ø6,35	5000	12 000

Nazorat savollari

1. Kompozit uchun parma tanlash algoritmining bosqichlarini ayting.

2. Hisoblangan aylanishlar soni stanok imkoniyatidan katta bo'lsa nima qilinadi?
3. O'q kuchini kamaytirishning qanday usullarini bilasiz?
4. Kompression frezaning ishlash prinsipi nimada?
5. Nima uchun kompozitlarni frezalashda quvvat odatda cheklovchi omil emas?

Test topshiriqlari

1. $D = 10 \text{ mm}$, $v = 300 \text{ m/min}$ uchun n qancha?
 - A) 3000 ayl/min
 - B) 9549 ayl/min
 - C) 30 000 ayl/min
 - D) 954 ayl/min
2. $f_z = 0,05 \text{ mm/tish}$, $z = 4$, $n = 8000 \text{ ayl/min}$ bo'lsa v_f qancha?
 - A) 1600 mm/min
 - B) 400 mm/min
 - C) 3200 mm/min
 - D) 160 mm/min
3. Yirik seriyali uglerodplastik teshiklari uchun eng maqbul asbob materiali qaysi?
 - A) R6M5
 - B) uglerodli po'lat U8
 - C) keramika (oksidli)
 - D) PCD
4. Uchuvchi teshik ochish o'q kuchini qanday o'zgartiradi?
 - A) oshiradi
 - B) o'zgartirmaydi
 - C) kamaytiradi (ko'ndalang qirra ishlamaydi)
 - D) nolga tushiradi
5. Teshikning oxirgi qismida surishni kamaytirishdan maqsad nima?
 - A) unumdorlikni oshirish
 - B) chiqishda qatlamlanishning oldini olish
 - C) asbobni sovitish
 - D) qirindini maydalash

KALIT: 1–B; 2–A; 3–D; 4–C; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. 9-jadvaldagi variantingiz uchun to'liq kesish rejimi kartasini tuzing, o'q kuchini hisoblab qatlamlanish xavfini baholang.
2. 6-variant (CFRP/Al paket) uchun asosiy muammolarni (alyuminiy qirindisining uglerodplastik teshik devorini tirnashi, turli optimal tezliklar) tahlil qiling va ikki bosqichli rejim taklif eting.

4-AMALIY MASHG'ULOT. GIDROABRAZIV VA LAZERLI KESISH DASTGOHLARI UCHUN TEXNOLOGIK PARAMETRLARNI HISOBLASH HAMDA DASTURLASH

Ishning maqsadi

Gidroabraziv va lazerli kesish jarayonlarining asosiy parametrlarini (oqim tezligi, suv va abraziv sarfi, quvvat, surish tezligi, chiziqli energiya, kesik eni) hisoblash, kerakli sifat darajasi uchun rejimni tanlash va kompozit detal konturini kesish uchun CNC boshqaruv dasturini (G-kod) tuzish ko'nikmasini shakllantirish.

Jihozlar va materiallar

Detal chizmasi, gidroabraziv va lazer dastgohlarining texnik tavsiflari, kalkulyator yoki elektron jadval, matn muharriri yoki CNC simulyatori (masalan, NC Viewer, CAMotics yoki shunga o'xshash bepul dastur).

Nazariy ma'lumot

Gidroabraziv kesish parametrlari. Jarayonni belgilovchi asosiy parametrlar: suv bosimi p (300–600 MPa), soplo diametri d (0,1–0,4 mm), fokuslovchi naycha diametri d_n (0,8–1,2 mm), abraziv turi va o'lchami (granat 80 mesh), abraziv sarfi ma (0,2–0,6 kg/min), kallakning surilish tezligi u , detalgacha masofa (1–3 mm).

Hisob formulalari (4-ma'ruza):

$$v = \varphi \cdot \sqrt[3]{(2p/\rho)}; \quad Q = Cd \cdot (\pi \cdot d^2/4) \cdot \sqrt[3]{(2p/\rho)}; \quad N = p \cdot Q; \quad ma = R \cdot mw$$

Sifat darajalari. Ishlab chiqaruvchilar kesish sifatini besh darajaga bo'ladi. "Ajratish tezligi" (Q1) – material faqat bo'linadigan maksimal tezlik; yuqori sifat uchun tezlik kamaytiriladi (10-jadval).

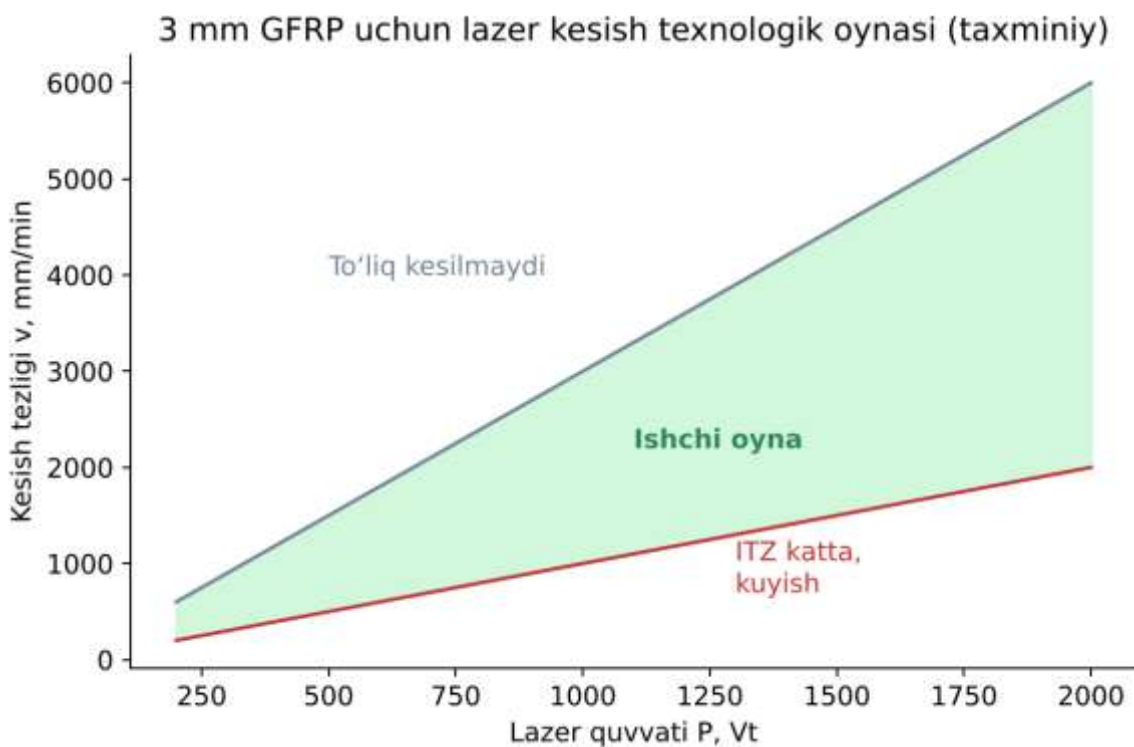
10-jadval. Gidroabraziv kesish sifat darajalari (taxminiy)

Daraja	Tavsif	Tezlik, ajratish tezligidan %	Konuslik, sirt
Q1	ajratish (zagotovka)	100	katta konus, chiziqli izlar
Q2	qo'pol kesish	75–80	sezilarli izlar
Q3	standart	50–55	kichik izlar pastki qismda
Q4	yaxshi	38–42	izlar deyarli yo'q
Q5	yuqori sifat	28–33	silliqlik, minimal konus

Kesik eni va korreksiya. Kesik eni $b \approx d_n + (0,05 \dots 0,15)$ mm. Dasturda asbob trayektoriyasi kontur chizig‘idan $b/2$ masofaga siljiriladi (G41 – chapga, G42 – o‘ngga korreksiya). Tashqi kontur uchun asbob detal tashqarisida, ichki kontur (teshik) uchun ichkarisida yurishi kerak.

Kesish tartibi qoidalari: (1) avval ichki konturlar (teshiklar), keyin tashqi kontur – aks holda detal ajralib, siljib ketadi; (2) teshib kirish detal tashqarisida yoki chiqindi qismida, past bosimda (100–150 MPa) yoki aylanma harakat bilan bajariladi, kompozitlarda – oldindan parmalangan teshikdan; (3) kirish (lead-in) va chiqish (lead-out) yo‘llari konturga silliq ulanadi; (4) burchaklarda tezlik pasaytiriladi (oqim “orqada qolishi” sababli).

Lazer kesish parametrlari. Quvvat P , kesish tezligi v , fokus holati, yordamchi gaz (siqilgan havo yoki azot, 0,3–1,0 MPa), impuls chastotasi. Asosiy integral ko‘rsatkich – chiziqli energiya $E_l = P/v$. 27-rasmda 3 mm shishaplastik uchun texnologik oyna ko‘rsatilgan: tezlik juda katta bo‘lsa material kesilmaydi, juda kichik bo‘lsa ITZ kattalashib, qirra kuyadi.



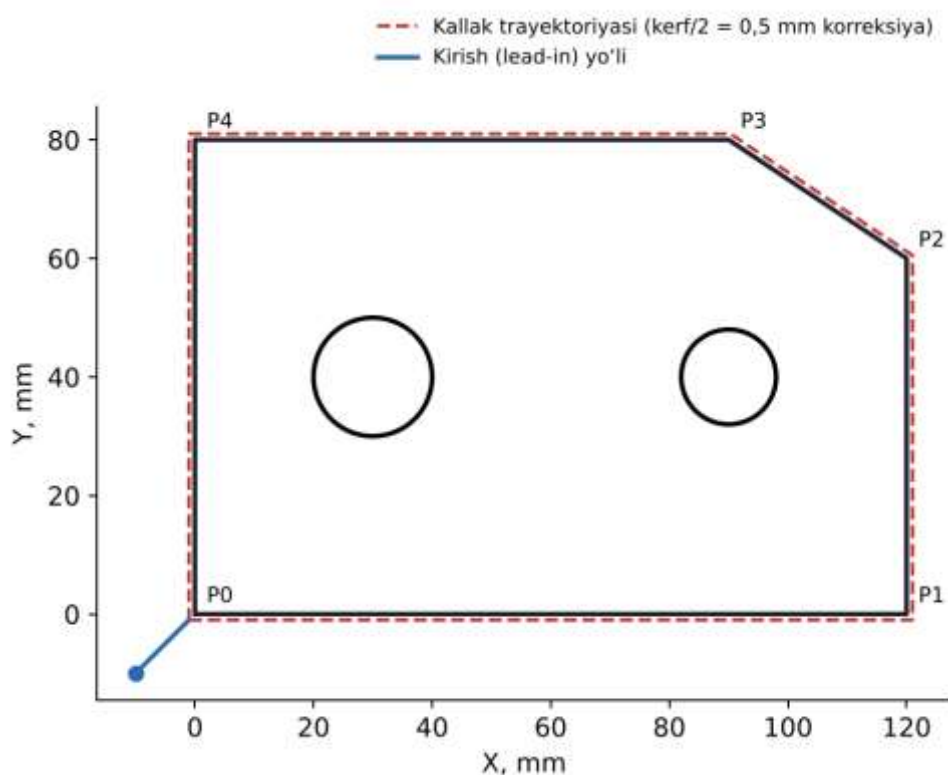
27-rasm. 3 mm shishaplastik uchun lazer kesish texnologik oynasi

G-kod asoslari. Ko‘pchilik CNC tizimlarda ISO 6983 standartiga asoslangan buyruqlar ishlatiladi:

Kod	Vazifasi
G00	tez (ishchi bo‘lmagan) siljish
G01	to‘g‘ri chiziqli ishchi harakat (F tezlikda)
G02 / G03	aylana yoyi bo‘ylab soat strelkasi yo‘nalishida / teskari
G04 P...	kutish (P – soniya)
G17	XY tekislik
G21	o‘lchov birligi – mm
G40 / G41 / G42	korreksiyanı bekor qilish / chapga / o‘ngga
G90 / G91	absolyut / nisbiy koordinatalar
M07 / M09	kesish oqimini (nurni) yoqish / o‘chirish (dastgohga qarab farq qiladi)
M30	dastur oxiri

Namunaviy hisob

Topshiriq. Qalinligi 6 mm uglerodplastik plitadan 28-rasmdagi detal (tashqi kontur P0–P4, Ø20 va Ø16 teshiklar) gidroabraziv usulda Q4 sifat bilan kesilsin. Dastgoh: $p = 380 \text{ MPa}$, $d = 0,30 \text{ mm}$, $d_n = 1,0 \text{ mm}$, $C_d = 0,70$, $R = 0,2$.



28-rasm. Kesiladigan detal konturi va kallak trayektoriyasi

1-qadam. Oqim parametrlari.

$$\sqrt[3]{(2p/\rho)} = \sqrt[3]{(2 \cdot 3,8 \cdot 10^8 / 1000)} = \sqrt[3]{(7,6 \cdot 10^5)} = 872 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,70 \cdot (3,1416 \cdot 0,0003^2 / 4) \cdot 872 = 0,70 \cdot 7,07 \cdot 10^{-8} \cdot 872 = 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \approx 2,59 \text{ l/min}$$

$$N = 3,8 \cdot 10^8 \cdot 4,31 \cdot 10^{-5} = 16\,400 \text{ Vt} \approx 16,4 \text{ kVt}; \quad ma = 0,2 \cdot 2,59 \approx 0,52 \text{ kg/min}$$

2-qadam. Surilish tezligi. Dastgoh ma'lumotnomasiga ko'ra 6 mm uglerodplastik uchun ajratish tezligi $\approx 750 \text{ mm/min}$. Q4 uchun: $u = 0,40 \cdot 750 = 300 \text{ mm/min}$.

3-qadam. Kesik eni va korreksiya. $b \approx 1,0 + 0,1 = 1,1 \text{ mm}$; dasturda radius korreksiyasi $b/2 \approx 0,55 \text{ mm}$ (stanok korrektorlar jadvalida $D01 = 0,55$).

4-qadam. Kontur uzunligi va vaqt.

$$L_{tashqi} = 120 + 60 + \sqrt{(30^2 + 20^2)} + 90 + 80 = 120 + 60 + 36,06 + 90 + 80 = 386,1 \text{ mm}$$

$$L_{teshik} = \pi \cdot 20 + \pi \cdot 16 = 62,8 + 50,3 = 113,1 \text{ mm}$$

Kirish yo'llari: $10 + 8 + 14,1 \text{ (kirish)} + 14,1 \text{ (chiqish)} \approx 46 \text{ mm}$. Jami ishchi yo'l $\approx 545 \text{ mm}$.

$$t = 545/300 = 1,82 \text{ min}; \quad t_{eshib \ kirish} 3 \cdot 1,5 \text{ s} = 4,5 \text{ s}; \quad jami \approx 1,9 \text{ min}$$

Bitta detalga abraziv sarfi: $0,52 \cdot 1,9 \approx 1,0 \text{ kg}$.

5-qadam. Boshqaruv dasturi. Teshiklar ichki konturlar sifatida soat strelkasiga teskari (G03, korreksiya G41 – chapga, ya'ni teshik ichkarisiga), tashqi kontur soat strelkasi yo'nalishida (G41 – chapga, ya'ni detal tashqarisiga) kesiladi:

```
O1001 (PLITA 120x80, CFRP 6 MM, AWJ, Q4)
N10 G21 G90 G17 (mm, absolyut koordinatalar, XY tekislik)
N20 F300 (ishchi surilish tezligi, mm/min)
N30 G00 X30 Y40 (1-teshik markaziga tez siljish)
N40 M07 (oqimni yoqish, past bosimda teshib kirish)
N50 G04 P1.5 (1,5 s kutish)
N60 G41 D01 G01 X40 Y40 (kirish yo'li, korreksiya chapga)
N70 G03 X40 Y40 I-10 J0 (Ø20 to'liq aylana)
N80 G40 G01 X30 Y40 (korreksiyani bekor qilish)
N90 M09 (oqimni o'chirish)
N100 G00 X90 Y40 (2-teshik markazi)
N110 M07
N120 G04 P1.5
N130 G41 D01 G01 X98 Y40
N140 G03 X98 Y40 I-8 J0 (Ø16 to'liq aylana)
N150 G40 G01 X90 Y40
N160 M09
N170 G00 X-10 Y-10 (tashqi kontur kirish nuqtasi)
N180 M07
N190 G04 P1.5
```

N200 G41 D01 G01 X0 Y0 (P0, kirish yo'li)
 N210 G01 X0 Y80 (P4)
 N220 X90 Y80 (P3)
 N230 X120 Y60 (P2)
 N240 X120 Y0 (P1)
 N250 X0 Y0 (P0)
 N260 G40 G01 X-10 Y-10 (chiqish yo'li)
 N270 M09
 N280 G00 X-50 Y-50 (kallakni chetga olib chiqish)
 N290 M30 (dastur oxiri)

6-qadam. Lazer varianti bilan taqqoslash. Xuddi shu detal 3 mm shishaplastikdan CO₂-lazer (P = 1000 Vt) bilan kesilsa: texnologik oynadan $v = 2000$ mm/min (33,3 mm/s) tanlanadi, $E_l = 1000/33,3 = 30$ J/mm (ishchi oyna 20–60 J/mm ichida). Kesish vaqti: $545/2000 = 0,27$ min ≈ 16 s – gidroabrazivdan 7 marta tez. Ammo ITZ $\sim 0,2\text{--}0,5$ mm bo'ladi va kuchli tutun so'rish zarur; 6 mm uglerodplastik uchun esa lazer yaroqsiz.

Ishni bajarish tartibi

1. Variant bo'yicha detal chizmasini oling (11-jadval), kontur nuqtalari koordinatalarini aniqlang.
2. Oqim tezligi, suv va abraziv sarfi, gidravlik quvvatni hisoblang.
3. Talab qilingan sifat darajasi bo'yicha surilish tezligini tanlang.
4. Kesik eni va korreksiya qiymatini aniqlang.
5. Kesish ketma-ketligini, kirish/chiqish nuqtalarini belgilang va kontur uzunligi, vaqt, abraziv sarfini hisoblang.
6. G-kod dasturini yozing va simulyatorda tekshiring (trayektoriya, korreksiya tomoni, ketma-ketlik).
7. Agar material va qalinlik imkon bersa, lazer varianti uchun E_l va vaqtni hisoblab, taqqoslang.

11-jadval. Individual variantlar

Variant	Detal	Material	Ichki elementlar	Sifat
1	To'g'ri to'rtburchak 150×100 mm	CFRP 4 mm	Ø12 (2 ta)	Q3
2	Uchburchak (asosi 120, balandligi 90 mm)	GFRP 10 mm	Ø20 markazda	Q4
3	Burchaklari R10 bilan yumaloqlangan 200×80 mm	CFRP 6 mm	30×20 mm to'rtburchak teshik	Q5

Variant	Detal	Material	Ichki elementlar	Sifat
4	Trapetsiya (asoslari 160 va 100, balandligi 70 mm)	GFRP 3 mm (lazer ham)	Ø10 (3 ta)	Q3
5	L-simon 120×120 mm, eni 40 mm	Al/SiC 5 mm	Ø8 (2 ta)	Q4

Nazorat savollari

1. Hidroabraziv kesishda qaysi parametrlar kesish chuqurligi va sifatini belgilaydi?
2. Sifat darajasi Q1 dan Q5 ga o'tganda surilish tezligi, konuslik va sirt qanday o'zgaradi?
3. Nima uchun avval ichki konturlar, keyin tashqi kontur kesiladi?
4. G41 va G42 korreksiyalari qanday hollarda ishlatiladi? Tashqi va ichki kontur uchun korreksiya tomonini qanday aniqlaysiz?
5. Lazer kesishda chiziqli energiya qanday tanlanadi va u ITZ ga qanday ta'sir qiladi?

Test topshiriqlari

1. Aylana yoyi bo'ylab soat strelkasiga teskari harakat qaysi kod bilan beriladi?
 - A) G01
 - B) G02
 - C) G03
 - D) G04
2. Fokuslovchi naycha diametri 1,0 mm bo'lsa, radius korreksiyasi taxminan qancha olinadi?
 - A) 0,1 mm
 - B) 0,55 mm
 - C) 1,1 mm
 - D) 2,0 mm
3. Ajratish tezligi 600 mm/min bo'lsa, Q5 sifat uchun tezlik taxminan qancha?
 - A) 600 mm/min
 - B) 450 mm/min
 - C) 180 mm/min
 - D) 60 mm/min

4. $P = 1200 \text{ Vt}$, $v = 3600 \text{ mm/min}$ bo'lsa El qancha?

- A) 20 J/mm
- B) $0,33 \text{ J/mm}$
- C) 3 J/mm
- D) 60 J/mm

5. Kompozitda gidroabraziv bilan teshib kirishda qatlamlanishni kamaytirish uchun nima qilinadi?

- A) bosim maksimal qilinadi
- B) past bosimda yoki oldindan parmalangan teshikdan kiriladi
- C) abraziv o'chiriladi
- D) detal qizdiriladi

KALIT: 1–C; 2–B; 3–C; 4–A; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. 11-jadvaldagi variantingiz uchun to'liq hisob va G-kod dasturini tayyorlang, simulyatorda trayektoriyani tekshirib, ekran rasmini hisobotga qo'shing.

2. Gidroabraziv kesish uchun bir soatlik xarajatni (elektr energiyasi – nasos quvvati 37 kVt , abraziv, suv, soplo va naycha yeyilishi) taxminiy hisoblang va bitta detal tannarxidagi kesish ulushini aniqlang.

5-AMALIY MASHG‘ULOT. SANOATDA KOMPOZIT BUYUMLAR ISHLAB CHIQUARISH LINIYASIDAGI TEXNOLOGIK NUQSONLAR TAHLILI VA ULARNI BARTARAF ETISH USULLARI

Ishning maqsadi

Kompozit buyumlar ishlab chiqarishda uchraydigan asosiy nuqsonlarni tasniflash, ularning sabablarini sifat menejmenti vositalari (Pareto diagrammasi, Isikava diagrammasi, jarayon qobiliyati indeksleri) yordamida tahlil qilish va bartaraf etish choralarini ishlab chiqish.

Jihozlar va materiallar

Nuqsonli namunalar to‘plami (yoki ularning fotosuratleri), brak qayd jurnali ma’lumotleri, elektron jadval, lupa, tanga (tap-test uchun), shtangensirkul, tarozi.

Nazariy ma’lumot

Kompozit ishlab chiqarishda nuqsonning narxi juda yuqori: metall detalni ko‘pincha qayta ishlash mumkin bo‘lsa, qotgan kompozit detal deyarli hech qachon “tuzatilmaydi”. Shuning uchun sifatni **nazorat qilish** emas, **jarayonni boshqarish** orqali ta’minlash zarur.

12-jadval. Kompozit buyumlarning asosiy texnologik nuqsonlari

Nuqson	Tashqi belgisi	Asosiy sabablari	Oldini olish	Aniqlash usuli
G‘ovaklik, pufakchalar	oq dog‘lar, sirdagi teshikchalar	smola degazatsiya qilinmagan, vakuum sizishi, namlik	degazatsiya, germetiklik sinovi, quruq armatura	vizual, zichlik, UT
Quruq joy	oq, smolasiz tolalar	oqim yo‘li uzun, gel-vaqt kam, noto‘g‘ri chiqish	Darsi hisobi, kirishni ko‘paytirish	vizual, tap-test
Qatlamlanish	bo‘g‘iq tovush, ko‘tarilish	zarba, parmalash, ifloslangan qatlam	toza yotqizish, to‘g‘ri kesish rejimi	tap-test, UT, termografiya
Tola burmasi	to‘lqinsimon sirt	yotqizishda tortilmagan, burchakdagi “ko‘prik”	bichish shablonlari, radiuslar	vizual, KT
Smolaga boy zona	tiniq, qalin sirt	ortiqcha smola, armatura siljigan	vakuum, aniq dozalash	vizual, qalinlik
Qiyshayish (tob tashlash)	tekis emas	nosimmetrik laminat, notekis qotish	simmetrik yotqizish, sekin sovitish	lekalo, CMM

Nuqson	Tashqi belgisi	Asosiy sabablari	Oldini olish	Aniqlash usuli
Qotmay qolish	yopishqoq sirt	noto'g'ri nisbat, past harorat	taroziida tortish, $\geq 18^{\circ}\text{C}$	Barkol qattiqligi
Gelkout darzlari	yulduzsimon darzlar	qalin gelkout, qolipdan erta olish	0,4–0,6 mm, to'liq qotirish	vizual

Pareto tahlili. Italyan iqtisodchisi V. Pareto qonuniyatiga ko'ra, muammolarning taxminan 80 % i sabablarning 20 % i bilan bog'liq. Nuqsonlar soni bo'yicha kamayish tartibida ustunlar va kumulyativ ulush egri chizig'i quriladi; 80 % chizig'igacha bo'lgan nuqsonlar birinchi navbatda bartaraf etiladi.

Isikava (“baliq skeleti”) diagrammasi – tanlangan nuqsonning barcha mumkin bo'lgan sabablarini “6M” guruhlarini bo'yicha tizimlashtiradi: Material, Usul (Method), Uskuna (Machine), Inson (Man), Muhit (Mother nature), O'lchash (Measurement).

Jarayon qobiliyati indeksleri. Ko'rsatkich (masalan, qalinlik) normal taqsimlangan bo'lsa:

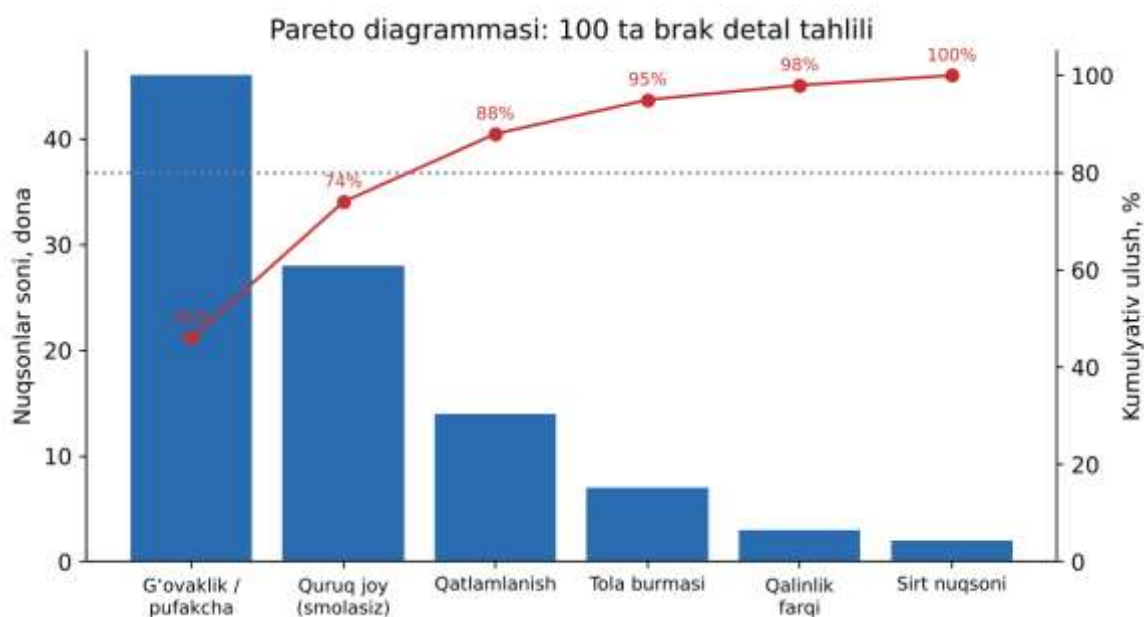
$$Cp = (YuCh - PCh) / (6\sigma); \quad Cpk = \min(YuCh - \bar{x}; \bar{x} - PCh) / (3\sigma)$$

bu yerda YuCh va PCh – yuqori va pastki chegaralar, $\bar{x}$ – o'rtacha qiymat, σ – o'rtacha kvadratik og'ish. $Cpk \geq 1,33$ – jarayon barqaror va qobiliyatli; $1,0 \leq Cpk < 1,33$ – chegaraviy; $Cpk < 1$ – brak muqarrar.

Namunaviy hisob

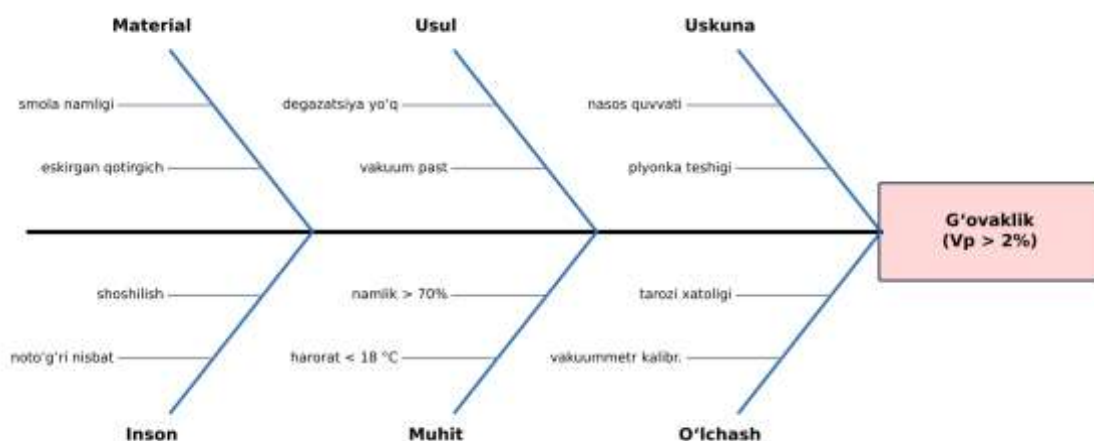
Vaziyat. Korxonada vakuumli infuziya bilan yiliga 2000 ta shishaplastik panel (tannarxi 450 000 so'm) ishlab chiqariladi. Brak darajasi 6 %. So'nggi 100 ta brak detal tahlil qilindi: g'ovaklik – 46, quruq joy – 28, qatlamlanish – 14, tola burmasi – 7, qalinlik farqi – 3, sirt nuqsoni – 2.

1-qadam. Pareto diagrammasi (29-rasm). Kumulyativ ulushlar: 46 %; 74 %; 88 %; 95 %; 98 %; 100 %. Dastlabki ikki nuqson (g'ovaklik va quruq joy) braklarning 74 % ini, uchta esa 88 % ini tashkil etadi – asosiy e'tibor shularga qaratiladi.



29-rasm. Brak detallar bo'yicha Pareto diagrammasi

2-qadam. Isikava diagrammasi – eng ko'p uchragan nuqson – g'ovaklik uchun (30-rasm). Ishchi guruh har bir sabab bo'yicha tekshiruv o'tkazdi va quyidagilarni aniqladi: smola idishi ochiq saqlanib namlik yutgan; degazatsiya bosqichi tejash uchun o'tkazib yuborilgan; ustaxonada qishda harorat 15–16 °C gacha tushgan; vakuummetr 2 yildan beri kalibrlanmagan.



30-rasm. G'ovaklik nuqsoni uchun Isikava diagrammasi

3-qadam. G'ovaklikni miqdoriy baholash. Paneldan kesilgan namunada $W_f = 0,62$ (kuydirish usuli bilan aniqlangan), $\rho_e = 1,72 \text{ g/sm}^3$ ($\rho_f = 2,54$; $\rho_m = 1,15$):

$$\rho_t = 1 / (0,62/2,54 + 0,38/1,15) = 1 / (0,2441 + 0,3304) = 1 / 0,5745 = 1,741 \text{ g/sm}^3$$

$$V_v = (1,741 - 1,720) / 1,741 \cdot 100 = 1,2 \%$$

Talab ($\leq 2\%$) bajariladi; demak g'ovaklik barcha panellarda emas, balki ma'lum partiyalarda (sovuq kunlar, eski smola) paydo bo'lmoqda – bu Isikava tahlili natijasini tasdiqlaydi.

4-qadam. Qalinlik bo'yicha jarayon qobiliyati. Talab $4,0 \pm 0,3$ mm; 50 ta o'lchov: $\bar{x} = 4,05$ mm, $\sigma = 0,08$ mm.

$$C_p = (4,3 - 3,7)/(6 \cdot 0,08) = 0,6/0,48 = 1,25$$

$$C_{pk} = \min(4,3 - 4,05; 4,05 - 3,7)/(3 \cdot 0,08) = \min(0,25; 0,35)/0,24 = 1,04$$

Jarayon chegaraviy: tarqoqlik qoniqarli, lekin o'rtacha qiymat yuqoriga siljigan (ortiqcha smola). O'rtachani 4,00 ga keltirish C_{pk} ni $C_p = 1,25$ ga, tarqoqlikni $\sigma = 0,07$ gacha kamaytirish esa 1,43 ga oshiradi.

5-qadam. Choralar rejasi (PDCA).

13-jadval. Tuzatuvchi choralar rejasi

№	Chora	Bartaraf etiladigan sabab	Mas'ul	Muddat
1	Smolani germetik idishda, 18–25 °C da saqlash	namlik	ombor mudiri	darhol
2	Majburiy degazatsiya (5 min, –0,09 MPa) – texnologik xaritaga kiritish	havo pufakchalari	texnolog	1 hafta
3	Ustaxonani isitish, harorat va namlikni qayd etish	past harorat	bosh mexanik	1 oy
4	Vakuummترلarni kalibrlash, germetiklik sinovini jurnalga yozish	vakuum sizishi	metrolog	2 hafta
5	Har bir panel uchun Darsi bo'yicha kirish sxemasini tekshirish	quruq joy	texnolog	2 hafta
6	Smola dozasini 5 % ga kamaytirish, qalinlikni nazorat kartasida kuzatish	qalinlik siljishi	usta	1 hafta
7	Operatorlarni qayta o'qitish	inson omili	bo'lim boshlig'i	1 oy

6-qadam. Iqtisodiy samara. Hozirgi yo'qotish: $2000 \cdot 0,06 = 120$ panel $\times$ 450 000 = 54 000 000 so'm/yil. Choralaridan keyin brak 2 % gacha kamaysa: 40×450 000 = 18 000 000 so'm. Yillik tejam – 36 000 000 so'm; choralar xarajati (isitish, kalibrlash, o'qitish) $\approx$ 12 000 000 so'm bo'lsa, ular 4 oyda qoplanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. O'qituvchi bergan brak jurnali ma'lumotlarini (14-jadval) elektron jadvalga kiriting.
2. Pareto diagrammasini quring, asosiy nuqsonlarni aniqlang.
3. Eng ko'p uchragan nuqson uchun Isikava diagrammasini chizing (6M bo'yicha kamida 12 sabab).
4. Berilgan namunalar bo'yicha g'ovaklik yoki Cp, Cpk ni hisoblang.
5. 13-jadval shaklida tuzatuvchi choralar rejasini tuzing.
6. Choralarning iqtisodiy samarasini hisoblang va xulosa yozing.

14-jadval. Individual variantlar (100 ta brak bo'yicha)

Variant	Mahsulot, usul	Nuqsonlar soni
1	quvurlar, namotka	tola og'ishi 35, g'ovaklik 25, quruq joy 20, o'lcham 12, darz 8
2	qayiq korpusi, qo'lda qoliplash	pufakcha 40, gelkout darzi 25, qotmay qolish 15, burma 12, qalinlik 8
3	SMC kapot, presslash	sirt g'ovakligi 38, to'lmagan joy 27, yoriq 15, tob tashlash 12, kuyish 8
4	CFRP plita, avtoklav	qatlamlanish 30, g'ovaklik 30, burma 20, smolaga boy zona 12, ifloslanish 8
5	profil, pultruziya	sirt darzi 42, oq tola 23, o'lcham 18, egrilik 10, qotmay qolish 7

Nazorat savollari

1. Kompozit ishlab chiqarishda sifatni nazorat qilishdan ko'ra jarayonni boshqarish nima uchun muhimroq?
2. G'ovaklik va quruq joy nuqsonlarining sabablari va oldini olish usullarini taqqoslang.
3. Pareto diagrammasi qanday quriladi va undan qanday xulosa chiqariladi?
4. Isikava diagrammasining "6M" guruhlarini ayting va har biriga kompozit ishlab chiqarishdan misol keltiring.
5. Cp va Cpk ning farqi nimada? $Cpk < 1$ bo'lsa nima qilish kerak?

Test topshiriqlari

1. Pareto tamoyiliga ko'ra muammolarning taxminan necha foizi sabablarning 20 % i bilan bog'liq?
 - A) 20 %
 - B) 50 %
 - C) 80 %
 - D) 100 %
2. Laminatni nosimmetrik yotqizish qaysi nuqsonga olib keladi?
 - A) qiyshayish (tob tashlash)
 - B) gelkout darzi
 - C) quruq joy
 - D) qotmay qolish
3. $YuCh = 4,3$; $PCh = 3,7$; $\sigma = 0,1$ bo'lsa Cp qancha?
 - A) 0,6
 - B) 1,0
 - C) 1,33
 - D) 2,0
4. Isikava diagrammasining asosiy vazifasi nima?
 - A) nuqsonlar sonini sanash
 - B) nuqsonning mumkin bo'lgan sabablarini tizimlashtirish
 - C) tannarxni hisoblash
 - D) mahsulotni sertifikatlash
5. Nazariy zichlik 1,80, haqiqiy zichlik 1,764 g/sm³ bo'lsa g'ovaklik qancha?
 - A) 0,2 %
 - B) 2 %
 - C) 3,6 %
 - D) 20 %

KALIT: 1–C; 2–A; 3–B; 4–B; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. 14-jadvaldagi variantingiz bo'yicha to'liq tahlil (Pareto, Isikava, choralar rejasi) bajaring va 5–7 slayddan iborat qisqa taqdimot tayyorlang.
2. Maktab ustaxonasida o'quvchilar tayyorlaydigan shishaplastik buyumlar uchun "Sifat nazorati varag'i" (tekshiriladigan belgilar, usul, baho mezon) ishlab chiqing.

1-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT MATERIALLARNI PARMALASHDA QATLAMLARGA AJRALISH NUQSONINI O‘RGANISH

Ishning maqsadi

Kompozit plitani parmalashda surish, kesish tezligi, parma turi va tayanch plitaning qatlamlanish (delaminatsiya) darajasiga ta’sirini tajribada aniqlash; delaminatsiya omilini o‘lchash va hisoblash ko‘nikmasini hosil qilish.

Jihozlar va materiallar

Vertikal parmalash stanogi yoki CNC frezer; qalinligi 4–6 mm bo‘lgan shishaplastik yoki uglerodplastik plita (100×200 mm); Ø6 mm parmalar: tezkesar po‘lat (118°), qattiq qotishma, o‘roqsimon (brad-point); fanera tayanch plita; qisqichlar; HEPA filtrli changyutgich; skaner (600 dpi) yoki raqamli mikroskop; ImageJ dasturi (bepul); shtangensirkul; himoya vositalari (ko‘zoynak, FFP3 respirator, qo‘lqop).

Nazariy ma’lumot

Parmalashda qatlamlanish ikki xil bo‘ladi: kirishda (peel-up) va chiqishda (push-out) (3-ma’ruza, 12-rasm). Chiqishdagi qatlamlanish o‘q kuchi F_z kritik qiymatdan oshganda yuz beradi; o‘q kuchi esa surish S ortishi bilan ortadi. Shuning uchun qatlamlanish darajasi asosan surish va parma geometriyasiga bog‘liq.

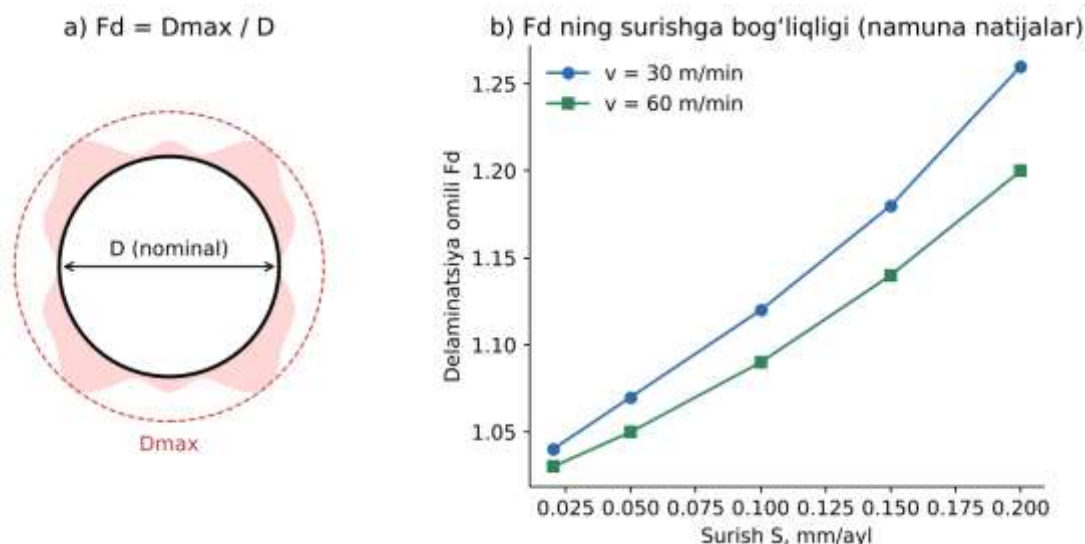
Qatlamlanish darajasi **delaminatsiya omili** bilan baholanadi (31-rasm, a):

$$Fd = D_{max} / D$$

Bu ko‘rsatkich shikastlangan zonaning shaklini hisobga olmaydi: ingichka uzun darz va keng halqasimon zona bir xil D_{max} ga ega bo‘lishi mumkin. Shuning uchun aniqroq baholash uchun J.P. Davim taklif etgan **tuzatilgan delaminatsiya omili** ishlatiladi:

$$Fda = Fd + [Ad / (A_{max} - A_0)] \cdot (Fd^2 - Fd)$$

bu yerda A_d – shikastlangan zona yuzasi (ImageJ bilan o‘lchanadi), $A_{max} = \pi \cdot D_{max}^2 / 4$, $A_0 = \pi \cdot D^2 / 4$.



31-rasm. Delaminatsiya omilini aniqlash: a – o'lchash sxemasi; b – F_d ning surishga bog'liqligi

Ishni bajarish tartibi

1. Plitani stanok stoliga qisqichlar bilan mahkamlang; birinchi qatorda tayanch plita **qo'ymang**.
2. Qattiq qotishma parma bilan $n = 1600$ ayl/min ($v \approx 30$ m/min) da $S = 0,02$; $0,05$; $0,10$; $0,15$; $0,20$ mm/ayl surishlarda 5 ta teshik oching (har biri orasida ≥ 20 mm).
3. Xuddi shunday $n = 3200$ ayl/min ($v \approx 60$ m/min) da yana 5 ta teshik oching.
4. Ikkinchi plitada fanera tayanch plita bilan $S = 0,10$ mm/ayl da tezkesar po'lat, qattiq qotishma va o'roqsimon parmalar bilan bittadan teshik oching.
5. Plitaning chiqish tomonini skanerlang (yorug'lik orqadan tushganda shishaplastikda qatlamlangan zona oqarib ko'rinadi; uglerodplastikda qiya yoritish yoki bo'yovchi penetrant ishlatiladi).
6. ImageJ da har bir teshik uchun D_{max} va shikastlangan yuza A_d ni o'lchang.
7. F_d va F_{da} ni hisoblab, 15-jadvalga kiriting, F_d – S grafigini quring (31-rasm, b).

Namunaviy natijalar va hisob

15-jadval. Parmalashda qatlamlanish o'lchovlari ($D = 6 \text{ mm}$, shishaplastik 5 mm , tayanch plitasiz)

S, mm/ayl	Dmax, mm (v=30)	Fd (v=30)	Dmax, mm (v=60)	Fd (v=60)
0,02	6,24	1,040	6,18	1,030
0,05	6,42	1,070	6,30	1,050
0,10	6,72	1,120	6,54	1,090
0,15	7,08	1,180	6,84	1,140
0,20	7,56	1,260	7,20	1,200

Fda hisobi ($S = 0,10$, $v = 30 \text{ m/min}$, o'lchangan $A_d = 3,6 \text{ mm}^2$):

$$A_0 = \pi \cdot 6^2 / 4 = 28,27 \text{ mm}^2; \quad A_{\max} = \pi \cdot 6,72^2 / 4 = 35,47 \text{ mm}^2; \quad A_{\max} - A_0 = 7,20 \text{ mm}^2$$

$$F_{da} = 1,120 + (3,6/7,20) \cdot (1,120^2 - 1,120) = 1,120 + 0,5 \cdot 0,134 = 1,187$$

Parma turi va tayanch plita ta'siri ($S = 0,10 \text{ mm/ayl}$, tayanch plita bilan):
tezkesar po'lat – $F_d = 1,16$ (bir nechta teshikdan keyin keskin oshadi); qattiq qotishma – $F_d = 1,06$; o'roqsimon parma – $F_d = 1,03$. Tayanch plita qattiq qotishma parma uchun F_d ni 1,12 dan 1,06 gacha kamaytirdi.

Natijalar tahlili: surish 0,02 dan 0,20 mm/ayl gacha oshganda F_d 1,04 dan 1,26 gacha (shikastlangan zona diametri 21 % ga) ortdi; kesish tezligini oshirish F_d ni biroz kamaytirdi (o'q kuchi kamayadi). Aviatsiya talabiga ($F_d \leq 1,10$) $S \leq 0,08 \text{ mm/ayl}$ ($v = 30$) yoki $S \leq 0,11 \text{ mm/ayl}$ ($v = 60$) da javob beriladi; tayanch plita va o'roqsimon parma qo'llanganda unumdorlikni oshirish imkoni paydo bo'ladi.

Hisobot mazmuni

Ishning maqsadi; jihozlar; tajriba sxemasi; 15-jadval; F_d – S grafigi; F_{da} hisobi; parma turlari bo'yicha taqqoslash; xulosa va maktab ustaxonasi uchun tavsiyalar.

Nazorat savollari

1. Kirishda va chiqishda qatlamlanishning fizik sabablarini tushuntiring.
2. Delaminatsiya omili F_d qanday aniqlanadi va uning kamchiligi nimada?
3. Tuzatilgan omil F_{da} qaysi qo'shimcha ma'lumotni hisobga oladi?

4. Tajribada surish va kesish tezligi F_d ga qanday ta'sir qildi? Sababini izohlang.

5. Tayanch plita va o'roqsimon parma qatlamlanishni qanday kamaytiradi?

Test topshiriqlari

1. $D = 8 \text{ mm}$, $D_{\max} = 9,2 \text{ mm}$ bo'lsa F_d qancha?

- A) 0,87
- B) 1,15
- C) 1,20
- D) 9,2

2. Qatlamlanishga eng kuchli ta'sir qiluvchi kesish rejimi parametri qaysi?

- A) surish
- B) chuqurlik
- C) sovitish suyuqligi
- D) xona harorati

3. ImageJ dasturi laboratoriya ishida nima uchun ishlatiladi?

- A) parmani boshqarish
- B) shikastlangan zona o'lchamlari va yuzasini o'lchash
- C) o'q kuchini o'lchash
- D) G-kod yozish

4. $F_d = 1$ nimani bildiradi?

- A) teshik ochilmagan
- B) qatlamlanish yo'q
- C) maksimal qatlamlanish
- D) parma sindi

5. Qaysi parma yupqa laminatda eng kichik qatlamlanish beradi?

- A) tezkesar po'lat, 118°
- B) o'tmaslashgan qattiq qotishma
- C) o'roqsimon (brad-point)
- D) markazlovchi parma

KALIT: 1–B; 2–A; 3–B; 4–B; 5–C

Mustaqil topshiriqlar

1. 15-jadval ma'lumotlari asosida $F_d = a + b \cdot S$ chiziqli regressiya tenglamasini ($v = 30$ va $v = 60$ uchun) elektron jadvalda tuzing va $F_d = 1,10$ bo'ladigan chegaraviy surishni aniqlang.

2. Maktab ustaxonasida fanera va shishaplastik plitalarni dril bilan xavfsiz parmalash bo'yicha o'quvchilar uchun bir sahifalik yo'riqnoma tayyorlang.

2-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT MATERIALLARNI FREZALASHDA KESISH REJIMLARI VA SIRT G‘ADIR-BUDURLIGINI TADQIQ ETISH

Ishning maqsadi

Kompozit plitani frezalashda kesish tezligi, tishga surish va tola yo‘nalishining sirt g‘adir-budurligiga (Ra) ta‘sirini tajribada o‘rganish, profilometr bilan o‘lchash va maqbul rejimni tanlash.

Jihozlar va materiallar

CNC frezer yoki universal frezer stanogi; Ø8 mm to‘rt tishli qattiq qotishma (yoki kompression) freza; qalinligi 6 mm bo‘lgan bir yo‘nalishli va 0°/90° uglerodplastik yoki shishaplastik plitalar; portativ profilometr (Ra, Rz o‘lchaydigan) yoki g‘adir-budurlik namunalari to‘plami; lupa (10×); chang so‘rgich; himoya vositalari.

Nazariy ma‘lumot

Sirt g‘adir-budurligi – baza uzunligi l da sirt profilning notekisliklari majmuasi. Asosiy parametr – profilning o‘rta arifmetik og‘ishi:

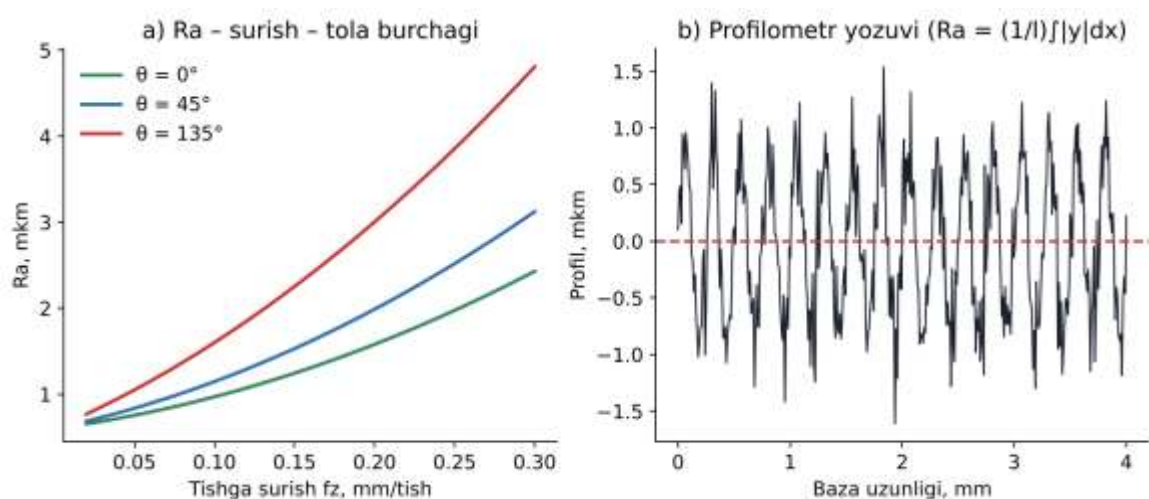
$$Ra = (1/l) \cdot \int |y(x)| dx$$

bu yerda y(x) – profilning o‘rta chiziqdan og‘ishi (32-rasm, b). Rz – profil notekisliklarining eng katta balandligi.

Metallarni frezalashda nazariy g‘adir-budurlik asosan kinematik omil – tishga surish va keskich uchi radiusi bilan aniqlanadi:

$$Rz, naz \approx fz^2 / (8 \cdot r), \quad Ra, naz \approx Rz, naz / 4$$

Masalan, $fz = 0,1$ mm, $r = 0,4$ mm: $Rz = 0,01/3,2 = 0,0031$ mm = 3,1 mkm, $Ra \approx 0,8$ mkm. Kompozitlarda esa haqiqiy Ra nazariydan 1,5–4 marta katta bo‘ladi, chunki unga tolalarning sinishi, tortilib chiqishi, matritsa bo‘laklarining uzilishi va ayniqsa **tola burchagi θ** ta‘sir qiladi (32-rasm, a): $\theta = 135^\circ$ bo‘lgan zonalarda Ra eng katta. Kesish tezligi oshganda Ra odatda kamayadi (tolalar egilishga ulgurmay kesiladi), lekin harorat oshib, smola kuyishi mumkin.



32-rasm. Frezalashda sirt g'adir-budurligi: a – R_a ning surish va tola burchagiga bog'liqligi; b – profilometr yozuvi

Ishni bajarish tartibi

1. Plitani stolga mahkamlang, chang so'rgichni frezaga yaqin joylashtiring.
2. Rejimlarni hisoblang: $v = 100, 200, 300 \text{ m/min}$ uchun $n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot 8) = 3979, 7958, 11\,937 \text{ ayl/min}$; har bir n da $f_z = 0,05; 0,10; 0,15 \text{ mm/tish}$ uchun $v_f = f_z \cdot 4 \cdot n$.
3. Bir yo'nalishli plitada tolalarga nisbatan $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ va 135° yo'nalishlarda qirralarni frezalang (yon frezalash, $a_e = 1 \text{ mm}$, $a_p = 6 \text{ mm}$).
4. Har bir sirtida profilometr bilan 3 marta R_a ni o'lchang (baza uzunligi $0,8 \text{ mm}$, baholash uzunligi 4 mm), o'rtachasini hisoblang.
5. Lupa ostida sirtini kuzating: tortilib chiqqan tolalar, kuyish, qatlamlanishni qayd eting.
6. Natijalarni 16- va 17-jadvallarga kiriting, grafiklar quring.

Namunaviy natijalar va hisob

Rejim hisobi ($v = 200 \text{ m/min}$, $f_z = 0,10 \text{ mm/tish}$):

$$n = 1000 \cdot 200 / (3,1416 \cdot 8) = 7958 \text{ ayl/min}; \quad v_f = 0,10 \cdot 4 \cdot 7958 = 3183 \text{ mm/min}$$

16-jadval. R_a (μm) ning kesish tezligi va surishga bog'liqligi ($0^\circ/90^\circ$ CFRP)

fz, mm/tish	v = 100 m/min	v = 200 m/min	v = 300 m/min
0,05	1,6	1,2	1,1
0,10	2,4	1,8	1,6
0,15	3,5	2,7	2,4

17-jadval. Ra (mkm) ning tola burchagiga bog‘liqligi (UD CFRP, $v = 200$ m/min)

fz, mm/tish	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 135^\circ$
0,05	0,9	1,0	1,4	1,6
0,10	1,3	1,6	2,2	2,9
0,15	1,8	2,3	3,1	4,4

Tahlil. Surish 3 marta oshganda Ra 2–2,5 marta ortdi – surish g‘adir-budurlikka eng kuchli ta’sir qiluvchi omil. Kesish tezligini 100 dan 300 m/min ga oshirish Ra ni 30–35 % ga kamaytirdi. $\theta = 135^\circ$ da Ra $\theta = 0^\circ$ ga nisbatan 1,8–2,4 marta katta; sirtda tortilib chiqqan tolalar kuzatildi. $Ra \leq 1,6$ mkm talabi uchun maqbul rejim: $v = 300$ m/min, $fz = 0,10$ mm/tish ($vf = 0,10 \cdot 4 \cdot 11\,937 = 4775$ mm/min) – bunda unumdorlik ham yuqori.

Hisobot mazmuni

Ishning maqsadi; rejimlar hisobi; 16- va 17-jadvallar; Ra–fz va Ra– θ grafiklari; sirtning lupa ostidagi tavsifi; maqbul rejim va xulosa.

Nazorat savollari

1. Ra va Rz parametrlarini ta’riflang. Ular qanday o’lchanadi?
2. Nima uchun kompozitlarda haqiqiy Ra nazariy qiymatdan katta bo’ladi?
3. Tola burchagi θ ning qaysi qiymatida sirt sifati eng yomon va nima uchun?
4. Kesish tezligi va surish Ra ga qanday ta’sir qildi?
5. Kompozit qirralarini frezalashda yuqori sirt sifatiga erishish uchun qanday choralar ko’rasiz?

Test topshiriqlari

1. Ø8 mm freza uchun $v = 200$ m/min bo’lsa n taxminan qancha?
 - A) 796 ayl/min
 - B) 2500 ayl/min
 - C) 7958 ayl/min
 - D) 25 000 ayl/min
2. Sirt g‘adir-budurligiga eng kuchli ta’sir qiluvchi rejim parametri qaysi?
 - A) tishga surish
 - B) shpindel quvvati

- C) stol o'lchami
D) freza uzunligi
3. $fz = 0,2 \text{ mm}$, $r = 0,5 \text{ mm}$ bo'lsa nazariy Rz qancha?
A) 1 mkm
B) 5 mkm
C) 10 mkm
D) 40 mkm
4. Qaysi tola burchagida Ra eng katta bo'ladi?
A) 0°
B) 45°
C) 90°
D) 135°
5. Profilometrda odatda qaysi baza uzunligi ishlatiladi (Ra 0,1–2 mkm uchun)?
A) 0,08 mm
B) 0,8 mm
C) 8 mm
D) 80 mm

KALIT: 1–C; 2–A; 3–C; 4–D; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

- 16-jadval ma'lumotlari bo'yicha $Ra = C \cdot fz^a \cdot v^b$ ko'rinishidagi empirik formulaning a va b ko'rsatkichlarini logarifmlash usuli bilan aniqlang.
- Maktab ustaxonasida g'adir-budurlikni vizual-taktil taqqoslash uchun namunalar to'plamini (Ra 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5 mkm) qanday tayyorlash mumkinligini tavsiflang.

3-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT DETALLARNI YELIMLI BIRIKMALARI MUSTAHKAMLIGINI MEXANIK SINASH

Ishning maqsadi

Sirtni tayyorlash usulining kompozit plastinalar yelimli birikmasi mustahkamligiga ta'sirini siljishga sinash orqali aniqlash, buzilish turini tahlil qilish va natijalarni statistik qayta ishlash.

Jihozlar va materiallar

Universal sinov mashinasi (cho'zish kuchi ≥ 10 kN) yoki yuklama datchikli richagli qurilma; shishaplastik plastinalar $100 \times 25 \times 2$ mm (18 dona); ikki komponentli epoksid yelim; P120 silliqlash qog'ozi; izopropil spirti yoki aseton; shtangensirkul; qisqichlar; 12,5 mm li shablon; tarozi; himoya vositalari.

Nazariy ma'lumot

Yelimli birikmalar mustahkamligini baholashning eng keng tarqalgan usuli – **bir tomonlama ustma-ust namunani cho'zib siljitish** (ISO 4587 yoki ASTM D5868 tipidagi sinov, 33-rasm, a). Namuna uchlaridan tortiladi; yelim qatlami siljish kuchlanishi ostida ishlaydi. Natija – o'rtacha siljish mustahkamligi:

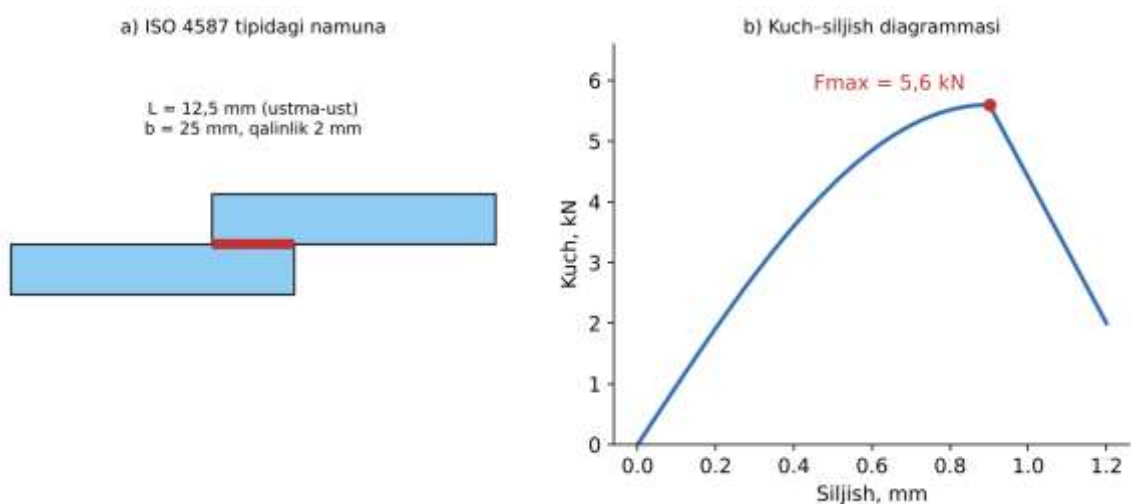
$$\tau = F_{max} / (b \cdot L)$$

bu yerda F_{max} – buzuvchi kuch, b – eni, L – ustma-ust uzunlik. 5-ma'ruzada ko'rilganidek, haqiqiy kuchlanish chetlarda yuqoriroq, shuning uchun τ – shartli (taqqoslash uchun) ko'rsatkich.

Natijalar tarqoq bo'lgani uchun har bir variantda kamida 3–5 namuna sinaladi va o'rtacha qiymat, o'rtacha kvadratik og'ish hamda variatsiya koeffitsiyenti hisoblanadi:

$$\tau_{o'rt} = \Sigma \tau_i / n; \quad s = \sqrt{[\Sigma (\tau_i - \tau_{o'rt})^2 / (n - 1)]}; \quad CV = s / \tau_{o'rt} \cdot 100 \%$$

Buzilish turlari: adgezion (A) – yelim sirtidan toza ko'chadi; kogeziyon (K) – yelim qatlamining ichida; substrat (S) – kompozitning yuqori qatlami yirtiladi; aralash.



33-rasm. Yelimli birikmani siljishga sinash: a – namuna; b – kuch–siljish diagrammasi

Ishni bajarish tartibi

1. Plastinalarni uch guruhga ajrating (har birida 3 juft): 1-guruh – sirtga ishlov berilmaydi; 2-guruh – faqat P120 silliqlash qog‘ozi bilan ishlov; 3-guruh – silliqlash + spirt bilan yog‘sizlantirish va 10 min quritish. 3-guruhda “suv tomchisi” sinovini o‘tkazing.

2. Yelimni ishlab chiqaruvchi nisbatida tortib aralashtiring.

3. Shablon yordamida ustma-ust uzunlikni $L = 12,5 \text{ mm}$ qilib yopishtiring, qisqichlar bilan 24 soat qotiring. Ortiqcha yelimni olib tashlang.

4. Har bir namunaning b va L ni shtangensirkul bilan o‘lchang.

5. Namunani sinov mashinasiga o‘qdosh qilib o‘rnating (qisqichlarga qalinlik kompensatsiyalovchi qistirmalar qo‘ying), 1–2 mm/min tezlikda buzilguncha cho‘zing, $F_{\max}$ ni qayd eting.

6. Buzilish turini vizual aniqlang (A , K , S).

7. τ , o‘rtacha qiymat, s va CV ni hisoblang, 18-jadvalni to‘ldiring.

Namunaviy natijalar va hisob

Birikma yuzasi: $b \cdot L = 25 \cdot 12,5 = 312,5 \text{ mm}^2$.

18-jadval. Yelimli birikmalarni siljishga sinash natijalari

Guruh	Namuna	$F_{\max}$, kN	τ , MPa	Buzilish turi
1 – ishlovsiz	1 / 2 / 3	2,1 / 2,5 / 1,8	6,72 / 8,00 / 5,76	A / A / A

Guruh	Namuna	Fmax, kN	τ , MPa	Buzilish turi
2 – silliqdash	1 / 2 / 3	4,3 / 4,6 / 4,1	13,76 / 14,72 / 13,12	K+A / K / K+A
3 – silliqdash + yog‘sizlantirish	1 / 2 / 3	5,6 / 5,9 / 5,4	17,92 / 18,88 / 17,28	K / S / K

Statistik qayta ishlash (3-guruh):

$$\tau_{o'rt} = (17,92 + 18,88 + 17,28)/3 = 54,08/3 = 18,03 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{[(-0,11)^2 + 0,85^2 + (-0,75)^2]/2} = \sqrt{(1,297/2)} = \sqrt{0,649} = 0,81 \text{ MPa}; \quad CV = 0,81/18,03 \cdot 100 = 4,5 \%$$

Xuddi shunday 1-guruh: $\tau_{o'rt} = 6,83 \text{ MPa}$; 2-guruh: $\tau_{o'rt} = 13,87 \text{ MPa}$.

Tahlil. To‘liq sirt tayyorlash (3-guruh) birikma mustahkamligini ishlovsiz holatga nisbatan $18,03/6,83 = 2,64$ marta oshirdi. 1-guruhda barcha namunalar adgezion buzildi – bu sirdagi separator va yog‘ qoldiqlari yopishishga to‘sqinlik qilganini ko‘rsatadi; 3-guruhda kogezion va substrat buzilishi – yelim imkoniyati to‘liq ishlatilgan. Xulosa: sirtni tayyorlash yelim tanlashdan ham muhimroq omil.

Hisobot mazmuni

Ishning maqsadi; namuna eskizi; sirt tayyorlash usullari; 18-jadval; statistik hisob; guruhlar bo‘yicha τ ustunli diagrammasi (xatolik chiziqlari bilan); buzilish sirlari fotosuratlar; xulosa.

Nazorat savollari

1. Ustma-ust namuna bilan sinashda hisoblangan τ nima uchun “shartli” ko‘rsatkich hisoblanadi?
2. Adgezion, kogezion va substrat buzilishlari qanday farqlanadi va ular nimadan dalolat beradi?
3. Kompozit sirtini yelimlashga tayyorlash bosqichlarini ayting.
4. Nima uchun har bir variantda bir nechta namuna sinaladi? CV nimani ko‘rsatadi?
5. Sinashda namunani o‘qdoshtirish va qistirmalar ishlatish nima uchun zarur?

Test topshiriqlari

1. $F_{\max} = 4,5 \text{ kN}$, $b = 25 \text{ mm}$, $L = 12,5 \text{ mm}$ bo'lsa τ qancha?
 - A) 4,5 MPa
 - B) 14,4 MPa
 - C) 36 MPa
 - D) 144 MPa
2. Yelim sirtidan toza ko'chib tushishi qanday buzilish?
 - A) adgezion
 - B) kogeziion
 - C) substrat
 - D) charchoq
3. Sifatli birikmada qanday buzilish kutiladi?
 - A) adgezion
 - B) faqat aralash
 - C) kogeziion yoki substrat
 - D) buzilmaydi
4. Sinov tezligi odatda qancha olinadi?
 - A) 1–2 mm/min
 - B) 100 mm/min
 - C) 1 m/s
 - D) 10 m/s
5. Toza sirtida suv tomchisi qanday holatda bo'ladi?
 - A) sharcha bo'lib turadi
 - B) sirt bo'ylab yoyilib ketadi
 - C) bug'lanadi
 - D) muzlaydi

KALIT: 1–B; 2–A; 3–C; 4–A; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. Ustma-ust uzunlik $L = 6, 12,5, 25$ va 50 mm bo'lgan namunalar uchun buzuvchi kuch qanday o'zgarishini 5-ma'ruzadagi kuchlanish taqsimoti asosida bashorat qiling va grafik ko'rinishida tasvirlang.

2. Maktab ustaxonasida yelimli birikmani sinash uchun oddiy richagli qurilma (yuk osiladigan richag, chelak va suv) loyihasini chizing va 2 kN kuchga erishish uchun richag yelkalari nisbatini hisoblang.

4-LABORATORIYA ISHI. MATRITSASI METALL BO‘LGAN KOMPOZITLARNI BURASHDA (YO‘NISHDA) KESUVCHI ASBOB YEYILISHINI BAHOLASH

Ishning maqsadi

Zarrachali metall matritsali kompozitni (Al + SiC) tokarlik stanogida yo‘nishda kesish tezligining keskich orqa sirti yeyilishiga ta’sirini tajribada aniqlash, yeyilish egri chiziqlarini qurish, Teylor tenglamasi ko‘rsatkichlarini hisoblash va asbob materialini asoslab tanlash.

Jihozlar va materiallar

Tokarlik-vint qirqish stanogi (16K20 yoki shunga o‘xshash); Al–Si qotishmasi asosidagi 20 % SiC zarrachali kompozit zagotovka (Ø60–80 mm) yoki uning o‘rnini bosuvchi abraziv to‘ldirilgan alyuminiy; qattiq qotishma (VK8) va PCD almashinadigan plastinali keskichlar; instrumental mikroskop yoki o‘lchov shkalali raqamli mikroskop (×20–50); sekundomer; himoya ko‘zoynagi, chang so‘rgich.

Nazariy ma’lumot

MMK larda matritsa (alyuminiy) yumshoq va plastik, armatura zarrachalari (SiC, mikroqattiqligi ~2500–2800 HV) esa qattiq qotishmadagi WC dan (~1600–2000 HV) qattiqroq. Natijada keskich qirrasi **abraziv yeyilishga** uchraydi: zarrachalar orqa sirtini “silliqlash qog‘ozi” kabi tirnaydi. Bundan tashqari alyuminiy keskichga yopishib, o‘simta (narost) hosil qiladi.

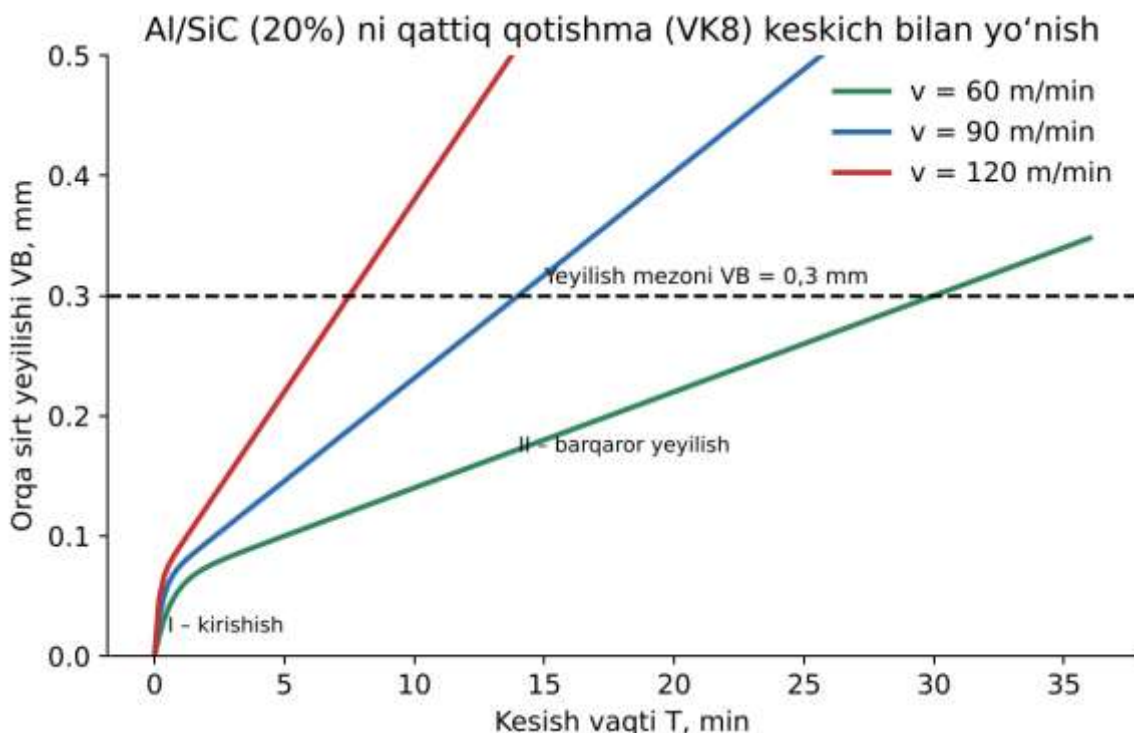
Yeyilish odatda keskich orqa sirtidagi yeyilish fasetkasining balandligi **VB** bilan o‘lchanadi. Yeyilish egri chizig‘ida uch bosqich ajratiladi: I – kirishish (tez yeyilish), II – barqaror (normal) yeyilish, III – halokatli yeyilish. Asbob chidamliligi $T - VB$ belgilangan mezonga (odatda 0,3 mm) yetguncha ketgan kesish vaqti.

Teylor tenglamasi kesish tezligi va chidamlilik orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi:

$$v \cdot T^n = C$$

bu yerda n va C – asbob-material juftligi uchun tajribada aniqlanadigan ko‘rsatkichlar. Ikki tajriba nuqtasidan:

$$n = \ln(v_1/v_2) / \ln(T_2/T_1), \quad C = v_1 \cdot T_1^n$$



34-rasm. *Al/SiC kompozitni yo‘nishda keskich orqa sirti yeyilishining vaqtga bog‘liqligi*

Ishni bajarish tartibi

1. Zagotovkani patronga mahkamlab, qobiq qatlamini olib tashlang (bu natijaga kiritilmaydi).
2. Kesish chuqurligi $t = 1$ mm, surish $S = 0,1$ mm/ayl ni o‘zgarmas saqlang.
3. Yangi VK8 plastina bilan $v = 60$ m/min ($n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot D)$) da yo‘nishni boshlang; har 2–5 min da stanokni to‘xtatib, plastinani mikroskopda o‘lchang (VB), qiymatlarni yozing. $VB = 0,3$ mm ga yetganda tajribani to‘xtating.
4. Yangi qirralar bilan $v = 90$ va 120 m/min da tajribani takrorlang.
5. Taqqoslash uchun PCD keskich bilan $v = 300$ m/min da 30 min yo‘nib, VB ni o‘lchang.
6. VB–T grafiklarini quring (34-rasm), T ni aniqlang, Teylor ko‘rsatkichlarini hisoblang.
7. Yo‘nilgan sirt sifatini (R_a , o‘simta izlari) kuzating.

Namunaviy natijalar va hisob

19-jadval. $VB = 0,3$ mm mezonni bo'yicha chidamlilik

v, m/min	n (D = 70 mm), ayl/min	T, min	Olingan metall hajmi, sm ³
60 (VK8)	273	30,0	180
90 (VK8)	409	14,0	126
120 (VK8)	546	7,5	90
300 (PCD)	1364	> 30 (VB = 0,06 mm)	> 900

Olingan metall hajmi: $V = v \cdot S \cdot t \cdot T = 60\,000 \text{ mm/min} \cdot 0,1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm} \cdot 30 \text{ min} = 180\,000 \text{ mm}^3 = 180 \text{ sm}^3$ (qolganlari xuddi shunday).

Taylor ko'rsatkichlari ($v_1 = 60$, $T_1 = 30$; $v_2 = 120$, $T_2 = 7,5$):

$$n = \ln(60/120) / \ln(7,5/30) = (-0,693)/(-1,386) = 0,50$$

$$C = 60 \cdot 30^{0,5} = 60 \cdot 5,477 = 328,6$$

Tekshiruv ($v = 90$): $T = (C/v)^{(1/n)} = (328,6/90)^2 = 3,651^2 = 13,3 \text{ min}$ (tajribada 14,0 min – farq 5 %).

Tahlil. Qattiq qotishma keskich uchun tezlikni 2 marta oshirish chidamlilikni 4 marta kamaytiradi va olingan metall hajmini 2 marta kamaytiradi – ya'ni yuqori tezlik iqtisodiy jihatdan foydasiz. PCD keskich 300 m/min da 30 min dan keyin ham deyarli yeyilmadi va unumdorlik 5 marta yuqori bo'ldi. Shu sababli MMK larga seriyali ishlov berishda PCD asboblari yagona maqbul tanlov; qattiq qotishma faqat yakka ta'mirlash ishlarida, past tezliklarda ishlatiladi.

Hisobot mazmuni

Ishning maqsadi; jihozlar va rejimlar; VB o'lchovlari jadvallari; VB–T grafiklari; 19-jadval; Taylor ko'rsatkichlari hisobi; VK8 va PCD ni taqqoslash; xulosa.

Nazorat savollari

1. MMK larni kesishda asbob nima uchun tez yeyiladi?
2. Yeyilish egri chizig'ining uch bosqichini tavsiflang.

3. Asbob chidamliligi qanday aniqlanadi? Yeyilish mezoni sifatida nima olinadi?

4. Teylor tenglamasidagi n va C qanday aniqlanadi va ular nimani anglatadi?

5. Nima uchun Al/SiC uchun PCD asboblari tavsiya etiladi?

Test topshiriqlari

1. Orqa sirt yeyilishi qaysi belgi bilan ifodalanadi?

A) KT

B) VB

C) Ra

D) HV

2. Teylor tenglamasi qaysi?

A) $v \cdot T^n = C$

B) $F = m \cdot a$

C) $\tau = F/(b \cdot L)$

D) $F_d = D_{\max}/D$

3. $n = 0,5$ bo'lsa, tezlik 2 marta oshganda chidamlilik qanday o'zgaradi?

A) 2 marta kamayadi

B) o'zgarmaydi

C) 4 marta kamayadi

D) 2 marta oshadi

4. SiC zarrachalari qattiq qotishma keskichda asosan qanday yeyilish hosil qiladi?

A) abraziv

B) diffuzion

C) kimyoviy

D) elektroeroziya

5. $v = 60$ m/min, $S = 0,1$ mm/ayl, $t = 1$ mm, $T = 10$ min bo'lsa olingan metall hajmi qancha?

A) 6 sm^3

B) 60 sm^3

C) 600 sm^3

D) 6000 sm^3

KALIT: 1–B; 2–A; 3–C; 4–A; 5–B

Mustaqil topshiriqlar

1. Teylor tenglamasi asosida asbob narxi, almashtirish vaqti va stanok-soat narxini hisobga olib, VK8 keskich uchun iqtisodiy kesish tezligini hisoblang: $T_{iq} = (1/n - 1) \cdot (T_a + K_a/K_s)$, bu yerda $T_a = 2$ min – almashtirish vaqti, $K_a = 25\,000$ so‘m – bitta qirra narxi, $K_s = 2500$ so‘m/min – stanok-daqiqa narxi.

2. Alyuminiy matritsali kompozitlar ishlatiladigan 5 ta buyumni (avtomobil, velosiped, elektronika, aviatsiya) toping va ularni ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan ishlov berish usullarini qisqacha tavsiflang.

5-LABORATORIYA ISHI. KOMPOZIT MATERIALLARDAGI NUQSONLARNI ULTRATOVUSHLI USUL BILAN BUZMASDAN NAZORAT QILISH

Ishning maqsadi

Ultratovushli defektoskopni kalibrlash, kompozit plastinada puls-exo usuli bilan ichki nuqsonlarni (qatlamlanish, g'ovaklik, yelimlanmagan joy) aniqlash, ularning chuqurligi va o'lchamini baholash hamda natijalarni taqillatish (tap-test) usuli bilan taqqoslash.

Jihozlar va materiallar

Ultratovushli defektoskop (puls-exo rejimli); 5 MHz chastotali kontakt datchik (to'g'ri, Ø10 mm); akustik kontakt moddasi (gel yoki suv); qalinligi ma'lum bo'lgan etalon namuna (6,0 mm); sun'iy nuqsonli kompozit plastina (qatlamlar orasiga ftoroplast plyonka bo'laklari qo'yib qoliplangan, 300×200 mm); 10×10 mm katakli shablon; tap-test bolg'achasi yoki tanga; marker.

Nazariy ma'lumot

Ultratovush – chastotasi 20 kHz dan yuqori bo'lgan elastik to'lqinlar. Defektoskopiya 1–10 MHz chastota ishlatiladi. **Puls-exo usulida** datchik qisqa impuls yuboradi va o'zi qaytgan signallarni qabul qiladi. Ekranda (A-skan, 35-rasm, a) kirish signali, nuqsondan qaytgan exo va tubdan qaytgan exo ko'rinadi. To'lqin nuqsongacha borib qaytgani uchun:

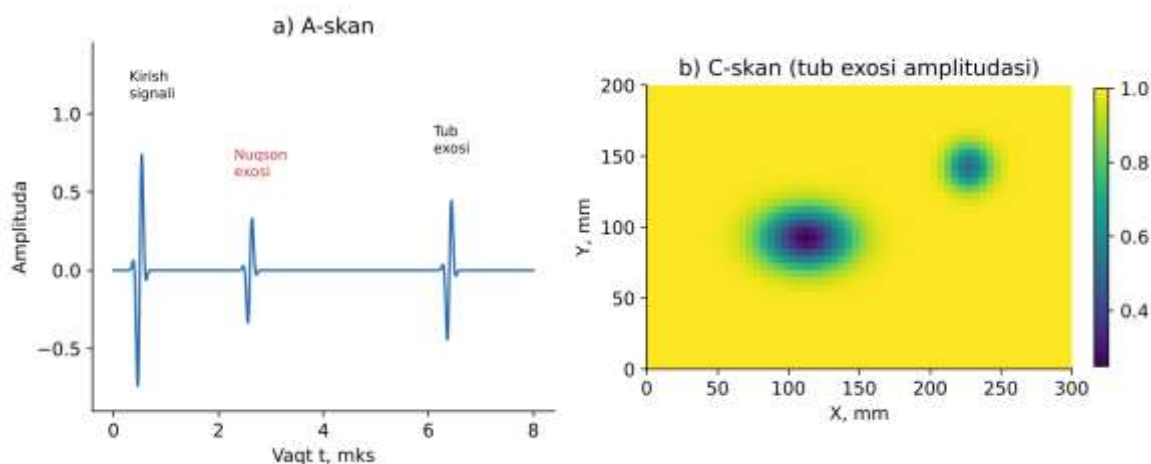
$$h = v \cdot t / 2$$

bu yerda v – materialdagi ultratovush tezligi, t – kirish va exo orasidagi vaqt. Tezlik avval qalinligi ma'lum etalonda aniqlanadi (kalibrlash): $v = 2 \cdot h_0 / t_0$.

Kompozitlarda ultratovush kuchli so'nadi (tolalar va qatlamlar chegarasida sochiladi), shuning uchun nisbatan past chastota (2–5 MHz) tanlanadi. Nuqsonni aniqlashning ikkita belgisi bor: (1) oraliq exo paydo bo'lishi (qatlamlanish, yelimlanmagan joy); (2) tub exosi amplitudasining kamayishi (g'ovaklik, mayda darzlar). Amplitudalar nisbati detsibellarda ifodalanadi:

$$\Delta A = 20 \cdot \lg(A_1/A_2), \text{ dB}$$

Nuqson o‘lchami “**–6 dB usuli**” bilan aniqlanadi: datchik nuqson ustidan surilib, nuqson exosi amplitudasi maksimal qiymatning yarmiga (–6 dB) tushgan nuqtalar belgilanadi – ular orasidagi masofa nuqson chegarasini beradi. Butun sirt katakma-katak tekshirilib, tub exosi amplitudasi xarita ko‘rinishida tasvirlansa, **C-skan** hosil bo‘ladi (35-rasm, b).



35-rasm. Ultratovushli nazorat natijalari: a – A-skan; b – C-skan

Ishni bajarish tartibi

1. Defektoskopni yoqing, 5 MHz datchikni ulang, kuchaytirishni sozlang.
2. **Kalibrlash:** etalon ($h_0 = 6,0$ mm) sirtiga gel surtib, datchikni qo‘ying; tub exosi vaqtini o‘lchang va tezlikni hisoblang.
3. Sinaladigan plastinaga 10×10 mm katakli setka chizing (30×20 katak).
4. Har bir katakda datchikni qo‘yib, tub exosi amplitudasini (ekran balandligining % ida) va oraliq exo bo‘lsa uning vaqtini yozing (sog‘lom zonada tub exosini 80 % ga sozlang).
5. Oraliq exo topilgan joylarda nuqson chuqurligini hisoblang; –6 dB usuli bilan chegarasini marker bilan belgilang.
6. Natijalardan elektron jadvalda shartli rangli C-skan xaritasini tuzing (yashil – 60–100 %, sariq – 30–60 %, qizil – < 30 %).
7. Xuddi shu plastinani tap-test bilan tekshirib, “bo‘g‘iq” zonalarni boshqa rangda belgilang; ikki usul natijalarini taqqoslang.

Namunaviy natijalar va hisob

Kalibrlash: $h_0 = 6,0$ mm, $t_0 = 4,0$ mks:

$$v = 2 \cdot 6,0 / 4,0 = 3,0 \text{ mm/mks} = 3000 \text{ m/s}$$

O'lchash: A-skanda (35-rasm, a) nuqson exosi kirish signalidan 2,1 mks, tub exosi 5,9 mks keyin qayd etildi:

$$h_{nuqson} = 3,0 \cdot 2,1 / 2 = 3,15 \text{ mm}; \quad h_{plastina} = 3,0 \cdot 5,9 / 2 = 8,85 \text{ mm}$$

Demak qatlamlanish taxminan plastina qalinligining o'rtasida ($3,15/8,85 \approx 0,36$ h) joylashgan.

So'nish: sog'lom zonada tub exosi 80 %, nuqson ustida 20 %:

$$\Delta A = 20 \cdot \lg(80/20) = 20 \cdot 0,602 = 12,0 \text{ dB}$$

20-jadval. Aniqlangan nuqsonlar

№	Koordinata (X; Y), mm	Turi	Chuqurlik, mm	O'lcham (–6 dB), mm	Tap-test
1	110; 90	qatlamlanish (sun'iy plyonka)	3,15	$\approx 45 \times 30$	aniqlandi (bo'g'iq)
2	228; 140	g'ovak zona	– (tub exosi –8 dB)	$\approx 18 \times 18$	aniqlanmadi
3	40; 30	yo'q (sog'lom)	–	–	jarangdor

Tahlil. Ultratovushli usul ikkala nuqsonni ham aniqladi va qatlamlanish chuqurligini o'lchash imkonini berdi. Tap-test faqat yirik (diametri > 20–25 mm) va sirtga yaqin qatlamlanishni sezdi; g'ovak zona tovushni deyarli o'zgartirmadi. Xulosa: tap-test – tez, arzon dastlabki saralash usuli, ultratovush esa miqdoriy va ishonchli nazorat usuli; ular birgalikda qo'llanilishi maqsadga muvofiq.

Hisobot mazmuni

Ishning maqsadi; jihozlar; kalibrlash hisobi; A-skan eskizi; C-skan xaritasi; 20-jadval; ultratovush va tap-test natijalarini taqqoslash; xulosa.

Nazorat savollari

1. Puls-exo usulining fizik asosini tushuntiring.
2. Defektoskop qanday kalibrlanadi va nima uchun bu bosqich zarur?
3. Kompozitlarda ultratovushning kuchli so'nishi nimadan kelib chiqadi va chastota qanday tanlanadi?
4. A-skan va C-skan farqini ayting.

5. “–6 dB usuli” bilan nuqson o‘lchami qanday aniqlanadi?

Test topshiriqlari

1. Etalon qalinligi 5 mm, tub exosi 3,2 mks da qaytdi. Ultratovush tezligi qancha?

- A) 1600 m/s
- B) 3125 m/s
- C) 6250 m/s
- D) 800 m/s

2. Kontakt usulida gel nima uchun surtiladi?

- A) datchikni sovitish uchun
- B) datchik va sirt orasidagi havo qatlamini yo‘qotish uchun
- C) sirtni tozalash uchun
- D) signalni kuchaytirish uchun

3. Amplitudalar nisbati 4 ga teng bo‘lsa, so‘nish necha dB?

- A) 4 dB
- B) 6 dB
- C) 12 dB
- D) 40 dB

4. Kompozitlarni ultratovushli nazorat qilishda odatda qaysi chastota ishlatiladi?

- A) 50 Gs
- B) 20 kHz
- C) 2–5 MHz
- D) 1 GHz

5. Qaysi nuqsonni tap-test bilan aniqlash eng qiyin?

- A) yirik qatlamlanish
- B) sirtga yaqin yelimlanmagan joy
- C) tarqoq g‘ovaklik
- D) ko‘rinib turgan darz

KALIT: 1–B; 2–B; 3–C; 4–C; 5–C

Mustaqil topshiriqlar

1. 20-jadval va C-skan natijalari asosida plastinani “yaroqli/yaroqsiz” deb baholang, agar ruxsat etilgan nuqson maydoni 400 mm² dan oshmasa va nuqsonlar orasidagi masofa 50 mm dan kam bo‘lmasa.

2. Ultratovushli, termografik va rentgen nazorat usullarini sezgirlik, unumdorlik, narx va xavfsizlik bo'yicha taqqoslovchi jadval tuzing; maktab va kichik korxona uchun qaysi biri real ekanligini asoslang.

MUSTAQIL TA'LIM MAVZULARI VA ULARNI BAJARISH BO'YICHA KO'RSATMALAR

Mustaqil ta'lim tinglovchilarning ma'ruza va amaliy mashg'ulotlarda olgan bilimlarini chuqurlashtirish, ilmiy-texnik adabiyotlar va internet manbalari bilan ishlash, olingan bilimlarni maktab ta'limiga moslashtirish ko'nikmalarini rivojlantirishga qaratilgan. Har bir tinglovchi quyidagi mavzulardan birini tanlab, 8–10 betlik referat (yoki 10–12 slaydli taqdimot) tayyorlaydi va himoya qiladi.

№	Mavzu	Tavsiya etiladigan manba
1	Polimer kompozit materiallarni mexanik ishlash texnologiyalari va xususiyatlari	[3], [4], 3-ma'ruza
2	Kompozit materiallarga gidroabraziv kesish texnologiyasi yordamida ishlov berish	[4], [9], 4-ma'ruza
3	Kompozitlarni lazer yordamida kesish va termik ta'sirlarni tahlil qilish	[4], [10], 4-ma'ruza
4	Aerokosmik sanoatda qo'llaniladigan qatlamli kompozitlarni parmalash usullari	[4], [8], 3-ma'ruza
5	Kompozit materiallarni ultratovushli mexanik ishlash samaradorligi	[4], 4-ma'ruza
6	Matritsasi metall bo'lgan kompozit materiallarga ishlov berish muammolari va yechimlari	[4], [6], 4-laboratoriya ishi
7	Kompozit detallarni yig'ishda qo'llaniladigan yelimlash va payvandlash texnologiyalari	[3], [7], 5-ma'ruza
8	Kompozit materiallarga ishlov berishda raqamli dasturli boshqaruv dastgohlarini qo'llash	[3], 4-amaliy mashg'ulot
9	Ishlov berilgan kompozit detallarning sirt sifati va nuqsonlarini buzmasdan nazorat qilish usullari	[3], [7], 5-laboratoriya ishi
10	Kompozit materiallarga ishlov berishda ekologik xavfsizlik va mehnat muhofazasi	[3], [11], Kirish

Referatning tuzilishi: kirish (mavzuning dolzarbligi); asosiy qism (2–3 bo'lim, kamida 3 ta rasm yoki jadval va 1 ta sonli misol bilan); “Maktab ta'limida qo'llash” bo'limi (mavzuni Texnologiya darsida yoki to'garakda qanday tushuntirish, qaysi oddiy tajribani ko'rsatish mumkin); xulosa; kamida 5 ta adabiyot (shundan kamida 2 tasi so'nggi 10 yilda nashr etilgan).

BAHOLASH MEZONLARI

Fan bo'yicha tinglovchilar bilimi oraliq (ON) va yakuniy (YaN) nazorat turlari bilan 5 ballik tizimda baholanadi. Amaliy va laboratoriya mashg'ulotlarida

har bir mavzu bo'yicha olingan baholar hamda mustaqil ta'lim topshiriqlari bahosi o'rtachalanib, oraliq nazorat bahosi bilan qayta o'rtachalanadi. Yakuniy nazorat yozma ish shaklida o'tkaziladi.

Baho	Mezon
5 (a'lo)	Tinglovchi mustaqil xulosa va qaror qabul qiladi, ijodiy fikrlaydi, olgan bilimni amalda qo'llay oladi: kompozit tarkibini loyihalaydi, texnologik xarita va kesish rejimi kartasini mustaqil tuzadi, nuqsonlar sababini tahlil qiladi, hisoblarni xatosiz bajaradi
4 (yaxshi)	Mustaqil mushohada yuritadi, bilimni amalda qo'llay oladi, mavzu mohiyatini tushunadi; hisoblarda kichik xatolarga yo'l qo'yadi
3 (qoniqarli)	Bilimini amalda qo'llay oladi, mavzu mohiyatini tushunadi va aytib beradi, lekin mustaqil loyihalash va tahlilda qiynaladi
2 (qoniqarsiz)	Fan dasturini o'zlashtirmagan, mavzu mohiyatini tushunmaydi va u haqida tasavvurga ega emas

YAKUNIY NAZORAT SAVOLLARI

1. Kompozit material tushunchasi. Matritsa, armatura va interfeysning vazifalari.
2. Kompozitlarning matritsa turi va armatura shakli bo'yicha tasnifi.
3. Shisha, uglerod va aramid tolalarning olinishi, xossalari va qo'llanilishi.
4. Poliefir va epoksid smolalarning xossalari, qotirish xususiyatlari.
5. Kompozitlarning metallardan afzalliklari va kamchiliklari. Solishtirma mustahkamlik va bikirlik.
6. Aralashmalar qoidasi: E_1 , E_2 , G_{12} , ν_{12} va σ_1 ni hisoblash.
7. Tolaning massa ulushidan hajmiy ulushiga o'tish. Qatlam qalinligini hisoblash.
8. Polimer kompozit detalni shakllantirishning umumiy bosqichlari. Qoliplarga talablar.
9. Kontaktli qoliplash va purkash texnologiyalari.
10. Vakuumli infuziya: jarayon sxemasi, yordamchi materiallar, afzalliklari.
11. Darsi qonuni va infuziyada to'lish vaqtini hisoblash.
12. Prepreglar va avtoklav texnologiyasi. Qotirish sikli.
13. Presslash (SMC/BMC), namotka va pultruziya usullari. Qoliplash usulini tanlash.

14. Kompozitlarga mexanik ishlov berishning o'ziga xos xususiyatlari.
15. Tola burchagining kesish jarayoni va sirt sifatiga ta'siri.
16. Parmalashda qatlamlanish turlari va sabablari. Kritik o'q kuchi.
17. Delaminatsiya omili va tuzatilgan delaminatsiya omili.
18. Kompozitlarni parmalash va frezalash uchun asbob materiallari va geometriyasi.
19. Kesish rejimlarini hisoblash va stanok cheklovlari bilan tekshirish.
20. Hidroabraziv kesish: qurilma, parametrlar, sifat darajalari, hisob formulalari.
21. Lazerli kesish: lazer turlari, chiziqli energiya, issiqlik ta'sir zonasi.
22. Ultratovushli frezalash va parmalashning mohiyati va afzalliklari.
23. CNC dasturlash asoslari: G-kodlar, radius korreksiyasi, kesish ketma-ketligi.
24. Yelimli birikma turlari, yelimlar, sirtni tayyorlash.
25. Yelimli birikmada kuchlanish taqsimoti va ustma-ust uzunlikni hisoblash.
26. Bolt va parchin birikmalari: buzilish turlari, loyihalash qoidalari, galvanik korroziya.
27. Kompozit buyumlarning texnologik nuqsonlari, sabablari va oldini olish.
28. G'ovaklikni aniqlash. Jarayon qobiliyati indeksleri C_p va C_{pk} .
29. Buzmasdan nazorat usullari: vizual, tap-test, ultratovush, termografiya, rentgen.
30. Metall matritsali kompozitlarga ishlov berishda asbob yeyilishi. Teylor tenglamasi.
31. Kompozitlar bilan ishlashda mehnat muhofazasi va ekologik xavfsizlik.
32. Maktab ustaxonasida kompozit buyumlar tayyorlashni tashkil etish.

GLOSSARIY

Atama	Ta'rifi
Adgeziya	turli jismlar sirtlarining bir-biriga yopishishi; tola–matritsa va yelim–sirt bog‘lanishini belgilaydi
Anizotropiya	material xossalariining yo‘nalishga bog‘liqligi

Atama	Ta’rifi
Aralashmalar qoidasi	kompozit xossalari komponentlar xossalari va hajmiy ulushlari orqali hisoblash usuli
Armatura (to’ldiruvchi)	kompozitda asosiy yuklamani ko’taruvchi tola yoki zarrachalar
Avtoklav	kompozitlarni bosim va harorat ostida qotiruvchi germetik qizdiriladigan idish
C-skan	ultratovushli nazorat natijasining sirt bo’ylab xarita ko’rinishidagi tasviri
Darsi qonuni	suyuqlikning g’ovak muhit orqali oqish tezligini o’tkazuvchanlik, qovushqoqlik va bosim gradienti bilan bog’lovchi qonun
Delaminatsiya (qatlamlanish)	laminat qatlamlarining bir-biridan ajralishi
Delaminatsiya omili	teshik atrofidagi shikastlangan zona maksimal diametrining nominal diametrga nisbati
Gelkout	qolipga birinchi surtiladigan bezak-himoya smola qatlami
Gel-vaqt (yashovchanlik)	aralashtirilgan smolaning suyuq holatda ishlatish mumkin bo’lgan vaqti
Gidroabraziv kesish	yuqori bosimli suv va abraziv aralashmasi oqimi bilan materialni kesish
G’ovaklik	kompozit hajmidagi havo bo’shliqlarining ulushi
Interfeys	tola va matritsa orasidagi chegara qatlami
Issqlik ta’sir zonasi (ITZ)	termik kesishda materialning tuzilishi va xossalari o’zgargan zona
Kerf (kesik eni)	kesish natijasida hosil bo’lgan ariqchaning eni
Kompozit material	ikki yoki undan ortiq turli komponentdan tashkil topgan, yangi xossalarga ega sun’iy material
Kompression freza	yuqori va pastki qismlarida qarama-qarshi spiralli, laminatni ikki sirtini toza kesuvchi freza
Laminat	turli yo’nalishda yotqizilgan qatlamlardan iborat kompozit
Matritsa	armaturani bog’lovchi va yuklamani uzatuvchi uzluksiz faza
Namotka	smolali tolani aylanuvchi opravkaga o’rash usuli
PCD	polikristall olmos – kompozitlarga ishlov berish uchun eng chidamli asbob materiali
Peel ply (ajratuvchi to’qima)	qotgandan keyin yirtib olinadigan, sirtni yelimlashga tayyorlovchi to’qima
Prepreg	zavodda oldindan smola bilan shimdirilgan tola materiali
Pultruziya	smolali tolalarni qizdirilgan filyeradan tortib, uzluksiz profil olish usuli
Puls-exo usuli	ultratovush impulsini yuborib, qaytgan exo signallari orqali nuqsonlarni aniqlash usuli
RTM	smolani yopiq qolipdagi quruq armaturaga bosim ostida haydash usuli

Atama	Ta'rifi
Separator	buyumning qolipga yopishib qolishining oldini oluvchi ajratuvchi modda
Sendvich konstruksiya	ikki mustahkam qoplama va yengil to'ldirgichdan iborat qatlamli konstruksiya
SMC	kalta shisha tola, smola va to'ldiruvchilardan iborat listli qoliplash massasi
Solishtirma mustahkamlik	mustahkamlik chegarasining zichlikka nisbati
Tap-test	sirtga yengil urib, tovush o'zgarishi orqali ichki nuqsonlarni aniqlash usuli
Teylor tenglamasi	kesish tezligi va asbob chidamliligi orasidagi bog'lanish: $v \cdot T^n = C$
Vakuumli infuziya	vakuum ostida smolani quruq armaturaga so'rib shimdirish usuli
Vf	tolaning kompozitdagi hajmiy ulushi

ADABIYOTLAR

Asosiy adabiyotlar

1. Umarov V., Muxamedov G.I., Quchqarov X.O. Polimerli kompozit materiallar fizikasi. O'quv qo'llanma. – Namangan, 2017.
2. Баженов С.Л. Механика и технология композиционных материалов. – Долгопрудный: Интеллект, 2014.
3. Campbell F.C. Manufacturing Processes for Advanced Composites. – Oxford: Elsevier, 2004.
4. Davim J.P. (ed.) Machining of Composite Materials. – London: ISTE – Wiley, 2010.
5. Hull D., Clyne T.W. An Introduction to Composite Materials. 2nd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

Qo'shimcha adabiyotlar

6. Mallick P.K. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2007.
7. Strong A.B. Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications. 2nd ed. – Dearborn: SME, 2008.

8. Hocheng H., Tsao C.C. The path towards delamination-free drilling of composite materials // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – Vol. 167. – P. 251–264.
9. Folkes J. Waterjet – an innovative tool for manufacturing // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Vol. 209. – P. 6181–6189.
10. Gay D. Composite Materials: Design and Applications. 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2014.
11. O‘zbekiston Respublikasining “Mehnatni muhofaza qilish to‘g‘risida”gi Qonuni (O‘RQ-410, 2016).

Axborot manbalari

- <https://ziyonet.uz> – ta’lim portali
- <https://www.compositesworld.com> – kompozitlar sanoati yangiliklari va texnologiyalari
- <https://www.ccm.udel.edu> – Delaver universiteti Kompozit materiallar markazi
- <https://www.standart.uz> – O‘zbekiston standartlashtirish agentligi