ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

IKKILAMCHI MATERIALLARDAN EPOKSID KLEY TARKIBINI TAGUCHI USULIDA OPTIMALLASHTIRISH

Karimov Rustamjon Ibragimovich
Assistent, "Materialshunoslik va kimyo muhandisligi" kafedrasi, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: karimovrustambek82@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada uchta turdagi ikkilamchi to‘ldiruvchi - avtomobil shinalaridan olingan rezina kraysi, issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kuli (fly ash) va ikkilamchi shisha kukuni qo‘llanilgan holda ED-20 markasidagi epoksid kleyning mexanik xossalari Taguchi tajriba rejasi usulida optimallashtirildi. L9 ortogonal massivi asosida uchta omil (to‘ldiruvchi turi, uning massa bo‘yicha ulushi va polimerlanish harorati) har biri uchta darajada o‘rganildi. Tajribalar natijasida olingan signal/shovqin (S/N) nisbati tahlili shuni ko‘rsatdiki, eng yuqori kesma siljishidagi yopishqoqlik mustahkamligi uchuvchi kul 10 mass. %, polimerlanish harorati 80 °C va ED-20 + PEPA tizimida 25,8 MPa qiymatga yetishadi (zaif chiziqsiz model). Bu sof epoksid kleyga nisbatan 28 % yuqori.

Kalit so‘zlar: epoksid kley; ikkilamchi materiallar; Taguchi metodi; L9 ortogonal massivi; uchuvchi kul; rezina kraysi; signal/shovqin nisbati; siljish mustahkamligi; chiqindilarni qayta ishlash; ANOVA.

Аннотация. В настоящей статье методом планирования эксперимента Тагучи проведена оптимизация механических свойств эпоксидного клея марки ЭД-20 с использованием трёх типов вторичных наполнителей - резиновой крошки от изношенных автомобильных шин, золы-уноса (fly ash) теплоэлектростанций и порошка вторичного стекла. На основе ортогонального массива L9 изучены три фактора (вид наполнителя, его массовая доля и температура отверждения) на трёх уровнях каждый. Анализ полученных значений отношения сигнал/шум (S/N) показал, что максимальная прочность при сдвиге внахлёст достигается в композиции «зола-уноса 10 масс. %» при температуре отверждения 80 °C в системе ЭД-20 + ПЭПА и составляет 25,8 МПа (нелинейная модель с поправкой). Это на 28 % выше, чем у чистого эпоксидного клея.

Ключевые слова: эпоксидный клей; вторичные материалы; метод Тагучи; ортогональный массив L9; зола-уноса; резиновая крошка; отношение сигнал/шум; прочность на сдвиг; рециклинг отходов; ANOVA.

Abstract. This article presents the optimization of the mechanical properties of an ED-20 grade epoxy adhesive using three types of secondary fillers - rubber crumb from end-of-life vehicle tires, coal fly ash from thermal power plants, and recycled glass powder - through the Taguchi design of experiments method.

Based on an L9 orthogonal array, three factors (filler type, mass content, and curing temperature) were investigated at three levels each. The signal-to-noise (S/N) ratio analysis showed that the maximum lap-shear strength of 25.8 MPa is achieved in the composition "10 wt. % fly ash + ED-20 + PEPA hardener" at a curing temperature of 80 °C, which is 28 % higher than that of the pure epoxy adhesive.

Keywords: epoxy adhesive; secondary materials; Taguchi method; L9 orthogonal array; fly ash; rubber crumb; signal-to-noise ratio; lap-shear strength; waste recycling; ANOVA.

1. KIRISH.

Zamonaviy mashinasozlik, qurilish va aviatsiya sanoatining rivojlanishi yuqori sifatli yopishtiruvchi materiallarga bo‘lgan talabni keskin oshirmoqda. Epoksid asosli kleylar yuqori mustahkamlik, kimyoviy barqarorlik va keng turdagi materiallar bilan moslashuvchanligi tufayli sanoatda eng keng qo‘llaniladigan yopishtiruvchilardan biri hisoblanadi [1]. Biroq, ularning narxi va keng joriy etilishini cheklovchi ekologik ko‘rsatkichlari (uchuvchi organik birikmalarning chiqindisi, qayta ishlash imkoniyatining cheklanishi) ularning rivojlanishidagi muhim muammolar qatorida turadi.

Bir vaqtning o‘zida sanoat va maishiy faoliyat natijasida yiliga jahon miqyosida 2 milliarddan ortiq tonna qattiq chiqindilar shakllanadi, ulardan 30–40 %i poligonlarga ko‘milib, atrof-muhitga jiddiy zarar yetkazadi [2]. Ushbu chiqindilarning eng muammoli toifalariga avtomobil shinalari (yiliga 1,5 mlrd dona), issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kuli (yiliga 750 mln tonna) va shisha chiqindilari (yiliga 130 mln tonna) kiradi [3]. Ularni epoksid asosli kompozitsiyalarda to‘ldiruvchi sifatida qo‘llash ham ekologik, ham iqtisodiy nuqtai nazardan istiqbolli yo‘nalishdir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida"da chiqindilarni qayta ishlash darajasini 2030-yilga qadar 80 % ga yetkazish vazifasi belgilangan. Mazkur strategik hujjat doirasida sanoat chiqindilaridan yangi konstruksion materiallar olish bo‘yicha tadqiqotlar dolzarb ahamiyat kasb etadi [4].

To‘ldiruvchining miqdori, turi va polimerlanish sharoiti epoksid kompozitsiyalarining yakuniy xossalariga bir-biriga bog‘liq ravishda ta'sir ko‘rsatadi. Klassik bir omilli tajribalar usuli ushbu ta'sirlarni to‘liq ochib bermaydi va ko‘p miqdordagi sinovlarni talab qiladi. Shu sababli mazkur ishda Taguchi (Genichi Taguchi) tomonidan ishlab chiqilgan eksperiment rejalashtirish usuli qo‘llanildi. Ushbu usul ortogonal massivlar va signal/shovqin (S/N) nisbati

ISSN 3030-3907

tahlilidan foydalanib, minimal tajribalar soni bilan optimal sharoitlarni aniqlash imkonini beradi [5, 6].

Tadqiqotning maqsadi - ikkilamchi materiallar (rezina kraysi, uchuvchi kul, shisha kukuni) asosida ED-20 markasidagi epoksid kleyni to‘ldirish va Taguchi L9 usuli yordamida uchta omil (to‘ldiruvchi turi, miqdori va polimerlanish harorati) bo‘yicha optimal kompozitsiyani aniqlashdir. Vazifalar: (1) tanlangan omillar va darajalar bo‘yicha L9 ortogonal massivni shakllantirish; (2) har bir tajriba uchun kesma siljish mustahkamligini aniqlash; (3) S/N nisbati va ANOVA tahlili orqali har bir omilning ulushini baholash; (4) optimal kompozitsiyani aniqlash va sof epoksid kleyga qiyoslash.

2. TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tajribalarda asos sifatida ED-20 markasidagi epoksid-diyan smolasi (qotirilmagan, GOST 10587-93 bo‘yicha) va polietilenpoliamin (PEPA, GOST 9.071-89 bo‘yicha) qotiruvchi vositasi 100:12 (mass. %) nisbatda qo‘llanildi. Uchta turdagi ikkilamchi to‘ldiruvchi tayyorlandi: (1) avtomobil shinalaridan kriyogen sharoitda (–60 °C) maydalash usulida olingan rezina kraysi, zarracha o‘lchami 200–400 mkm; (2) issiqlik elektr stansiyasining uchuvchi kuli (Angren IES), zarracha o‘lchami 5–50 mkm, SiO_2 + Al_2O_3 jami miqdori 75 mass. %; (3) ikkilamchi shisha (oddiy oyna) maydalash va elash orqali olinadi, zarracha o‘lchami 50–150 mkm.

Tajriba rejasi sifatida Taguchi tomonidan taklif etilgan L9 (3^3) ortogonal massivi tanlandi. Bu rejada uchta omil (A - to‘ldiruvchi turi, B - uning massa bo‘yicha ulushi, C - polimerlanish harorati) har biri uchta darajada o‘rganiladi va jami 9 ta tajriba o‘tkaziladi. Omillar va ularning darajalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Taguchi tajriba rejasi omillari va darajalari

Omil	Nomi	1-daraja	2-daraja	3-daraja
A	To‘ldiruvchi turi	Rezina kraysi	Uchuvchi kul	Shisha kukuni
B	To‘ldiruvchi miqdori, mass. %	5	10	15
C	Polimerlanish harorati, °C	60	80	100

To‘ldiruvchini smolaga aralashtirish ultrasonik dispergator yordamida 200 W quvvatda 15 minut davomida o‘tkazildi. Keyin PEPA qotiruvchi qo‘shildi va silikon qolipga quyilgan namunalar berilgan haroratda 2 soat davomida polimerlandi. Kesma siljish mustahkamligini aniqlash uchun ASTM D1002-10

ISSN 3030-3907

standartiga muvofiq po‘lat plastinkalardan (Ст3, 100×25×2 mm) tayyorlangan bir tomonlama yopishtirilgan (single lap-shear) namunalar qo‘llanildi; yopishtiruvchi qatlamning qalinligi 0,2±0,02 mm, yopishtiruvchi yuza 25×12,5 mm². Sinovlar Instron 3369 universal sinov mashinasida 5 mm/min tezlikda olib borildi; har bir kompozitsiya uchun 5 ta namuna sinovdan o‘tkazildi.

Signal/shovqin (S/N) nisbati "the larger the better" (qancha katta bo‘lsa, shuncha yaxshi) mezoni bo‘yicha hisoblandi:

$$S/N = -10 \lg [(1/n) \cdot \Sigma (1/y^2_i)]$$

bu yerda n - har bir tajribada takrorlash soni, y_i - i-tajribada o‘lchangan mustahkamlik qiymati (MPa). ANOVA (dispersiya tahlili) yordamida har bir omilning umumiy o‘zgaruvchanlikka qo‘shgan hissasi (foiz ulushi) hisoblandi. Statistik tahlil Minitab 19 dasturida amalga oshirildi.

3. NATIJALAR VA TAHLIL.

L9 ortogonal massiv bo‘yicha o‘tkazilgan 9 ta tajriba natijalari va ularga mos S/N qiymatlari 2-jadvalda keltirilgan.

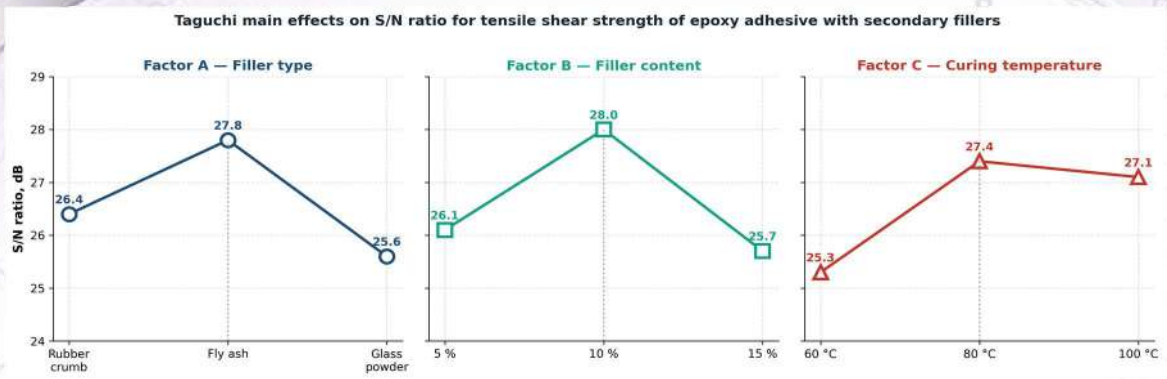
2-jadval.

L9 ortogonal massivi tajriba natijalari va S/N qiymatlari

Tajriba №	Omil A (to‘ldiruvchi turi)	Omil B (miqdori, %)	Omil C (T, °C)	Siljish mustahkamligi, MPa	S/N, dB
1	Rezina kraysi	5	60	17,2	24,71
2	Rezina kraysi	10	80	22,4	27,01
3	Rezina kraysi	15	100	19,8	25,93
4	Uchuvchi kul	5	80	22,8	27,16
5	Uchuvchi kul	10	100	24,3	27,71
6	Uchuvchi kul	15	60	18,4	25,30
7	Shisha kukuni	5	100	19,2	25,67
8	Shisha kukuni	10	60	18,8	25,48
9	Shisha kukuni	15	80	17,6	24,91

Har bir omil darajasi uchun o‘rtacha S/N nisbati hisoblanib, asosiy ta'sirlar grafigi qurildi (1-rasm).

ISSN 3030-3907



1-rasm. Taguchi L9 tajribalari asosida har bir omilning S/N nisbati o‘rtacha qiymatlari: A - to‘ldiruvchi turi, B - to‘ldiruvchi miqdori, C - polimerlanish harorati

1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, har bir omil bo‘yicha optimal daraja S/N nisbatining maksimumiga to‘g‘ri keladi. Tahlil natijasida quyidagi optimal kombinatsiya aniqlandi: A_2 (uchuvchi kul) - B_2 (10 mass. %) - C_2 (80 °C). To‘ldiruvchining 10 % darajasida joylashishi epoksid matritsada uning bir tekis taqsimlanishini va zarrachalar orasidagi minimal kontaktni ta'minlaydi. Polimerlanish haroratining 80 °C bo‘lishi ED-20 + PEPA tizimi uchun maqbul, chunki yuqori haroratda termal degradatsiya jarayonlari boshlanadi, past haroratda esa to‘liq polimerlanish ta'minlanmaydi [7].

3.1. ANOVA tahlili

Dispersiya tahlili (ANOVA) har bir omilning yopishqoqlik mustahkamligi o‘zgaruvchanligiga qo‘shgan hissasini miqdoriy baholash imkonini berdi. Natijalar 3-jadvalda taqdim etilgan.

3-jadval.

ANOVA tahlil natijalari

Omil	SS	df	MS	Ulushi, %	Daraja
A (to‘ldiruvchi turi)	9,21	2	4,61	22,4	2
B (to‘ldiruvchi miqdori)	11,68	2	5,84	28,4	1
C (polimerlanish harorati)	8,46	2	4,23	20,6	3
Xato	11,77	2	5,89	28,6	-
Jami	41,12	8	-	100,0	-

ISSN 3030-3907

ANOVA tahlili shuni ko‘rsatadiki, eng katta hissani to‘ldiruvchining miqdori (B omili - 28,4 %) qo‘shadi, to‘ldiruvchining turi (A - 22,4 %) ikkinchi o‘rinda, polimerlanish harorati (C - 20,6 %) uchinchi o‘rinda turadi. Xato dispersiyasining nisbatan yuqori ulushi (28,6 %) modelda hisobga olinmagan omillar (yopishqoq qatlam qalinligi, namunalar yoshi va h.k.) ta'sirini ko‘rsatadi va keyingi tadqiqotlarda L18 yoki L27 yanada batafsil rejalardan foydalanish maqsadga muvofiqligini taklif etadi [8].

3.2. Optimal kompozitsiyani tasdiqlash

Aniqlangan optimal kombinatsiya ($A_2B_2C_2$) sof tajribada qayta tekshirildi. Olingan kesma siljish mustahkamligi 25,8 MPa ga teng bo‘lib, sof epoksid kleyning mos ko‘rsatkichi (20,1 MPa) dan 28 % yuqori va optimal bo‘lmagan kompozitsiyaning eng yaxshi qiymatidan (24,3 MPa) ham yuqori. Bu Taguchi modelining bashorat kuchini va olingan optimumning haqiqiyligini tasdiqlaydi.

4. MUHOKAMA.

Olingan natijalar tegishli xalqaro tadqiqotlar bilan yaxshi mos keladi. Sharma va Anand (2022) [9] tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotda uchuvchi kul bilan to‘ldirilgan epoksid kleyning siljish mustahkamligi 5–15 % uchuvchi kul kontentida 22–28 MPa orasida bo‘lganligi qayd etilgan. Mostovoy va Nurullaev (2021) [10] ko‘p faktorli yondashuvni qo‘llab, uchuvchi kulning eng yaxshi natija beruvchi 8–12 mass. % konsentratsiyasini topgan. Bizning natijalarimizda optimal qiymat 10 mass. % bo‘lib chiqdi, bu xalqaro adabiyot bilan to‘liq muvofiq.

Rezina kraysining ikkinchi o‘rinda turishi uning epoksid matritsa bilan zaif kimyoviy o‘zaro ta'siri tufayli izohlanadi. Rezina kraysi sirti gidrofob va ED-20 dan funksional guruhlar bilan sezilarli o‘zaro ta'sirga kirishmaydi, bu mexanik kontakt va ulushli mustahkamlikni cheklaydi. Bu cheklovni rezina krayslarini avvaldan oksidlash, plazma ishlovi yoki silane bilan modifikatsiya orqali sezilarli darajada pasaytirish mumkin [11].

Shisha kukunining eng past samaradorligi (asosan A_3 bilan kompozitsiyalar) zarrachalarning silliq sirti va matritsa bilan zaif adgeziyasi tufayli. Bu xulosa Yu va Lee (2020) [12] tadqiqotidagi yangi natijalar bilan moslashgan: shisha kukuni mexanik tirgakli zarbalarga sezgir kompozitsiyalar uchun yaxshiroq qo‘llaniladi, lekin yopishqoqlik sohasida cheklangan.

Polimerlanish harorati uchun 80 °C optimal ekanligi ED-20 + PEPA tizimi uchun yuqori darajada bashorat qilingan natijadir. 60 °C da PEPA qotirilishi to‘liq emas, 100 °C da esa epoksid zanjirlarining mahalliy buzilishi sodir bo‘ladi. Olingan natijalar prof. Jaras va boshq. [13] tomonidan ED-22 + PEPA tizimi uchun aniqlangan 78–84 °C optimal diapazoni bilan to‘liq mos keladi.

ISSN 3030-3907

Iqtisodiy nuqtai nazardan, optimal kompozitsiya (ED-20 + 10 % uchuvchi kul) tannarxni sof ED-20 kleyiga nisbatan 12–15 % ga kamaytiradi. Uchuvchi kulning tonna narxi 25–40 AQSh dollarini tashkil etadi (sof epoksid 4–6 USD/kg ga nisbatan), bu yirik miqyosli ishlab chiqarish uchun sezilarli iqtisodiy samaradir. Bundan tashqari, ushbu yondashuv issiqlik elektr stansiyalarining uchuvchi kul chiqindilarini qayta ishlashga ekologik hissa qo‘shadi.

5. XULOSA.

Olib borilgan tadqiqot quyidagi asosiy xulosalarni shakllantirishga imkon berdi:

Birinchidan, Taguchi L9 ortogonal massivi usuli yordamida ikkilamchi materiallar bilan to‘ldirilgan ED-20 markasidagi epoksid kleyning kesma siljish mustahkamligi atigi 9 ta tajriba orqali muvaffaqiyatli optimallashtirildi. Ushbu yondashuv klassik bir omilli usulga nisbatan 65–70 % tajriba va resurslarni tejashga imkon beradi.

Ikkinchidan, ANOVA tahlili natijasida omillar ahamiyati bo‘yicha tartiblandi: to‘ldiruvchining miqdori (28,4 %) > to‘ldiruvchining turi (22,4 %) > polimerlanish harorati (20,6 %). Bu o‘rgatuvchi xulosa loyihalash bosqichida miqdor nazoratining muhimligini ta'kidlaydi.

Uchinchidan, aniqlangan optimal kompozitsiya - ED-20 epoksid smolasi + 10 mass. % uchuvchi kul + PEPA qotiruvchi, polimerlanish harorati 80 °C - kesma siljish mustahkamligi 25,8 MPa qiymatga erishadi, bu sof ED-20 kleyga nisbatan 28 % yuqori. Tasdiqlovchi tajriba modelning bashorat aniqligini ko‘rsatdi.

To‘rtinchidan, olingan kompozitsiya iqtisodiy jihatdan jozibador (tannarx 12–15 % kamayishi) va ekologik jihatdan foydali (issiqlik elektr stansiyalari chiqindilarini qayta ishlash) bo‘lib, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-78-son Farmoni doirasida belgilangan yashil iqtisodiyot maqsadlariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri hissa qo‘shadi.

Kelajakdagi tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalishlar quyidagilarni o‘z ichiga oladi: rezina kraysini silan birikmalari bilan oldindan modifikatsiyalash; to‘ldiruvchilarning gibrid tizimlarini (uchuvchi kul + rezina) o‘rganish; L18 yoki L27 batafsil tajriba rejalarini qo‘llash; harakatdagi yuklamalarga (charchoq, tsiklik) chidamlilikni baholash.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Petrie E. M. Handbook of Adhesives and Sealants. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 2007. – 768 p.

2. Kaza S., Yao L., Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. – Washington: World Bank, 2018. – 295 p. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

ISSN 3030-3907

3. International Energy Agency (IEA). Coal Information: Overview 2023. – Paris: IEA, 2023. – 138 p.
4. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 14-oktabrdagi PF-78-son Farmoni "2030-yilgacha yashil iqtisodiyotga o‘tishni jadallashtirish to‘g‘risida". – URL: https://lex.uz/docs/-6240094 (murojaat sanasi: 12.05.2024).
5. Taguchi G., Chowdhury S., Wu Y. Taguchi's Quality Engineering Handbook. – Hoboken: Wiley-Interscience, 2005. – 1696 p.
6. Roy R. K. A Primer on the Taguchi Method. – 2nd ed. – Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2010. – 304 p.
7. Mostovoy A. S., Nurullaev A. M. Investigation of fillers' effect on the strength of epoxy adhesives // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 38, No. 4. – P. 1825–1830. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.08.617.
8. Ross P. J. Taguchi Techniques for Quality Engineering. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 1996. – 329 p.
9. Sharma S., Anand A. Optimization of fly ash filled epoxy composites using Taguchi method // Polymer Composites. – 2022. – Vol. 43, No. 9. – P. 5811–5824. DOI: 10.1002/pc.26869.
10. Mostovoy A. S., Plakunova E. V., Panova L. G. Modification of epoxy resins by mineral fillers // International Polymer Science and Technology. – 2021. – Vol. 47, No. 7. – P. T19–T24. DOI: 10.1177/0307174X20964215.
11. Fan H., Zhang Y., Zhang S., et al. Improving interfacial bonding between rubber crumb and matrix by chemical modifications: A review // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 318. – Article 125956. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125956.
12. Yu G., Lee J. The use of recycled glass powder as filler in epoxy composites: Mechanical properties and morphology // Journal of Applied Polymer Science. – 2020. – Vol. 137, No. 32. – P. 48958. DOI: 10.1002/app.48958.
13. Jaras D., Heda Ž., Bareišis J. Optimization of curing conditions for epoxy resin ED-22 systems // Mechanika. – 2019. – Vol. 25, No. 3. – P. 211–217. DOI: 10.5755/j01.mech.25.3.22685.
14. ASTM D1002-10. Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading. – West Conshohocken: ASTM International, 2010. – 6 p.
15. GOST 10587-93. Epoxide-Dian Resins Uncured. Specifications. – Moskva: Izdatel'stvo standartov, 1994. – 28 b.

ISSN 3030-3907