ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 7

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

FAXVERK TIZIMLAR QO‘LLASH UCHUN POLIMER KOMPOZIT MATERIALLARNI KESILISHDAGI (SREZ) MUSTAHKAMLIGINI TADQIQ QILISH

Tulaganov Baxrom Abdukabilovich
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti rektori
Xakimov Qaxramon Qodirovich
Toshkent arxitektura-qurilish universiteti mustaqil izlanuvchisi,
SQB Testing and R&D Center direktori

Annotatsiya. Mazkur maqolada shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi (srez) mustahkamligi eksperimental va sonli tadqiqotlar asosida o‘rganilgan. Sinovlar GOST R 57968–2017 standarti talablariga muvofiq ravishda o‘tkazilib, turli turdagi namunalar uchun maksimal yuk va mustahkamlik ko‘rsatkichlari aniqlangan. Olingan natijalar material turiga qarab kesilishdagi mustahkamlik sezilarli darajada farqlanishini ko‘rsatdi. Deformatsiya diagrammalari tahlili materiallarning elastik va bosqichma-bosqich buzilish xatti-harakatini aniqlash imkonini berdi. Bundan tashqari, ANSYS dasturi yordamida bajarilgan sonli modellashtirish natijalari eksperimental ma’lumotlar bilan yaxshi mos kelishi aniqlangan. Tadqiqot natijalari shisha tolali kompozit materiallarning kesuvchi kuchlar ta’siridagi xatti-harakatini chuqurroq tushunishga hamda ularni konstruktiv elementlarda samarali qo‘llash imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: shisha tolali kompozit, polimer materiallar, kesilish mustahkamligi, srez, deformatsiya, delaminatsiya, ANSYS, eksperimental sinov.

Аннотация. В данной статье исследована прочность на срез стеклопластиковых полимерных композиционных материалов на основе экспериментальных и численных методов. Испытания проведены в соответствии с требованиями стандарта GOST R 57968–2017, в результате чего определены максимальные нагрузки и значения прочности для различных типов образцов. Полученные результаты показали, что прочность на срез существенно зависит от типа материала. Анализ диаграмм деформирования позволил выявить упругое и поэтапное разрушение материала. Кроме того, численное моделирование, выполненное в программной среде ANSYS, продемонстрировало хорошее совпадение с экспериментальными данными. Результаты исследования способствуют более глубокому пониманию поведения стеклопластиковых композитов при действии срезающих нагрузок и расширяют возможности их применения в конструктивных элементах.

Ключевые слова: стеклопластик, полимерные композиты, прочность на срез, деформация, деламинация, ANSYS, экспериментальные испытания.

Abstract. This paper investigates the shear strength of glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials based on experimental and numerical approaches. The tests were conducted in accordance with GOST R 57968–2017 standard, and the maximum load and shear strength values were determined for different types of specimens. The results revealed that the shear strength significantly depends on the type and structure of the material. Analysis of load–deformation diagrams showed elastic behavior followed by a progressive failure mechanism. In addition, numerical simulations performed using ANSYS software demonstrated good agreement with experimental data. The findings contribute to a better understanding of the behavior of GFRP composites under shear loading and expand their application potential in structural elements.

Keywords: glass fiber composites, polymer materials, shear strength, deformation, delamination, ANSYS, experimental testing.

KIRISH.

Zamonaviy qurilish va mashinasozlik sanoatida yuqori mustahkamlik, yengillik va uzoq muddatli ekspluatatsion barqarorlikni ta’minlay oladigan materiallarga bo‘lgan talab tobora ortib bormoqda. An’anaviy metall materiallar (po‘lat, alyuminiy va boshqalar) ko‘plab afzalliklarga ega bo‘lishiga qaramay, ularning og‘irligi, korroziyaga moyilligi hamda ekspluatatsiya xarajatlarining yuqoriligi yangi turdagi materiallarni izlash zaruratini yuzaga keltiradi. Shu nuqtai nazardan, tolali polimer kompozit materiallar, xususan, shisha tolali polimer kompozitlar muhandislik amaliyotida keng qo‘llanilayotgan ilg‘or materiallar qatoriga kiradi [2–4].

Shisha tolali polimer kompozit materiallar yuqori solishtirma mustahkamlik, korroziyaga chidamlilik, elektr izolyatsion xususiyatlar va texnologik moslashuvchanlik kabi muhim afzalliklarga ega [5,6]. Ushbu ko‘rsatkichlar ularni qurilish konstruksiyalarida, jumladan, faxverk tizimlarida, ko‘prik elementlarida, sanoat ramalarida va turli yuk ko‘taruvchi va o‘zini o‘zi ko‘taruvchi konstruksiyalarda keng qo‘llash imkonini bermoqda [8,9]. Ayniqsa, agressiv muhitlarda ishlovchi inshootlar uchun kompozit materiallar eng maqbul yechimlardan biri sifatida qaralmoqda.

Biroq, kompozit materiallarning ishlash samaradorligi nafaqat ularning umumiy mustahkamlik xususiyatlariga, balki lokal yuklanish sharoitlaridagi xatti-harakatiga ham bog‘liq. Amaliy konstruksiyalarda elementlar ko‘pincha murvatli, shpilkali yoki boshqa turdagi mexanik birikmalar orqali ulanadi. Bunday birikmalarda esa asosiy yuklanish turi sifatida kesilish (srez) kuchlari namoyon bo‘ladi. Natijada, materialda kuchlanishlar kontsentratsiyasi, ayniqsa teshik atrofida, keskin ortadi va bu konstruksiyaning ishonchliligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi [10].

ISSN 3030-3907

Kompozit materiallarning kesilishdagi mustahkamligini aniqlash murakkab masala bo‘lib, u materialning mikro va makrostrukturaviy xususiyatlariga bog‘liqdir. Xususan, tolalar orientatsiyasi, ularning hajmiy ulushi, polimer matritsaning xossalari hamda qatlamlararo bog‘lanish sifati kesilishdagi qarshilikka sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [3,7]. Bundan tashqari, yuklanish tezligi, tashqi muhit sharoitlari va ishlab chiqarish texnologiyasi ham materialning buzilish mexanizmini belgilaydi.

Ilmiy tadqiqotlarda kompozit materiallarning kesilishdagi xatti-harakatini o‘rganish uchun turli eksperimental va nazariy usullar qo‘llaniladi. Jumladan, standartlashtirilgan sinov usullari (GOST, ASTM) asosida olingan natijalar materialning real ish sharoitidagi xulq-atvorini baholash imkonini beradi [1,11]. Shu bilan birga, zamonaviy hisoblash usullari, xususan, chekli elementlar usuli (FEM) yordamida material ichidagi kuchlanish va deformatsiya maydonlarini aniqlash, buzilish jarayonlarini modellashtirish va eksperimental natijalarni tasdiqlash mumkin [12].

So‘nggi tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, kompozit materiallarda kesilish jarayoni oddiy mo‘rt buzilish emas, balki murakkab, ko‘p bosqichli mexanizm asosida kechadi. Ushbu jarayonda tolalararo sirpanish, matritsaning mikro yorilishi va qatlamlararo ajralish (delaminatsiya) kabi hodisalar muhim rol o‘ynaydi [10]. Bu esa materialning energiya yutish qobiliyatini oshiradi va uning buzilishdan oldingi deformatsion xatti-harakatini murakkablashtiradi.

Yuqoridagilarni inobatga olgan holda, shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi mustahkamligini chuqur o‘rganish, ularning buzilish mexanizmlarini aniqlash hamda konstruktiv elementlarda qo‘llash imkoniyatlarini baholash dolzarb ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Mazkur ishning asosiy maqsadi shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi mustahkamligini eksperimental sinovlar asosida aniqlash, yuk–deformatsiya diagrammalarini tahlil qilish hamda sonli modellashtirish yordamida olingan natijalarni tasdiqlashdan iborat. Tadqiqot natijalari kompozit materiallardan tayyorlangan konstruksiyalarni loyihalashda ularning ishonchliligini oshirish, optimal konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish va amaliy qo‘llash sohalarini kengaytirishga xizmat qiladi.

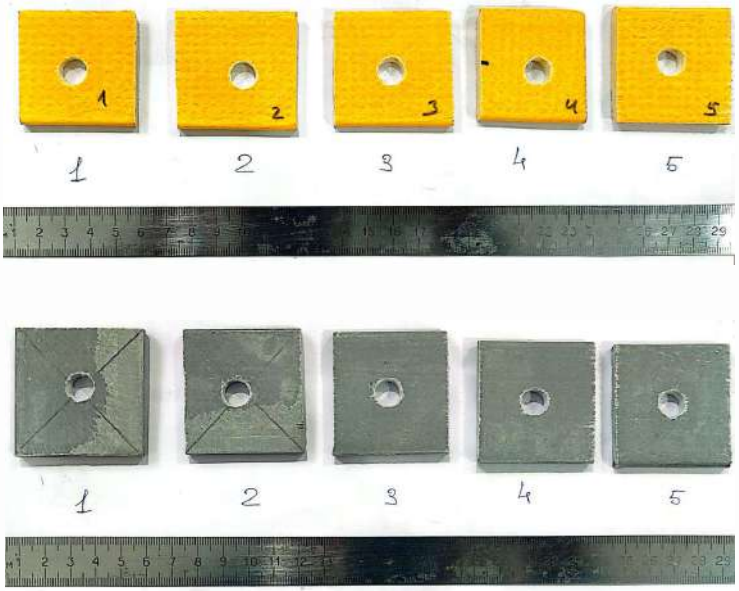
TADQIQOT USULLARI. Shisha tolali polimer kompozit profillarning kesilishdagi (srez) mustahkamligini aniqlash materialning kesuvchi kuchlarga qarshilik ko‘rsatkichlarini baholash uchun o‘tkaziladigan muhim mexanik sinovdir. Bu usul kompozit konstruksiyalarni loyihalashda (ko‘priklar, qurilish profillari, mashinasozlik detallarida) juda muhim hisoblanadi.

Ushbu tadqiqot ishida shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi mustahkamligini aniqlash maqsadida tadqiqot sinovlar o‘tkazildi.

ISSN 3030-3907

Sinov jarayonida namuna tayyorlash hamda sinovdan oldingi nazorat ishlari GOST R 57968 – 2017 talablariga muvofiq ravishda amalga oshirildi.

Tadqiqot jarayonida polimer kompozit materialdan kvadrat shakldagi plastina ko‘rinishidagi namunalar tayyorlandi. Namunalarning o‘lchamlari 50,0 ± 0,1 mm, hamda ularning markaziy qismida diametri 12 mm bo‘lgan teshik ochildi. Tayyorlangan namunalar qalinligi 4.0 mm oralig‘ida bo‘lishi ta’minlandi. Tavsiya etilgan qalinlik 2–4 mm diapazonda.



1-rasm. Tadqiqot uchun tayyorlangan namunalar

Namunalarda tolalar bilan mustahkamlash sxemasi plastinaning o‘rta tekisligiga nisbatan simmetrik tarzda olingan. Namunalarning tashqi yuzasi tekshirilib, ularda yoriqlar, qatlamlanishlar, sinishlar, qirralarning shikastlanishi yoki ko‘z bilan ko‘rinadigan boshqa nuqsonlar mavjud emasligi ta’minlandi.

Namuna tayyorlash jarayonida mexanik ishlov berish ishlari hamda plastinadan kesib olish yo‘nalishi standartlarga muvofiq ravishda amalga oshirildi.

Namunalarning markaziy qismidagi teshikni tayyorlash bir necha bosqichda amalga oshirildi. Dastlab diametri 9 mm bo‘lgan boshlang‘ich teshik burg‘ulandi, so‘ngra u kerakli diametrgacha kengaytirildi. Har bir sinov uchun beshta namuna tayyorlandi.

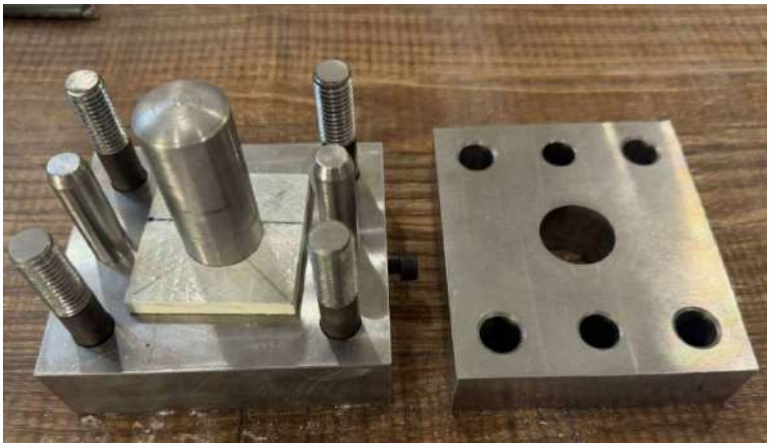
Sinov boshlanishidan oldin barcha namunalar markirovka qilindi. Belgilar sinov natijalariga ta’sir qilmaydigan tarzda qo‘yildi hamda sinov jarayonida namunaning joylashuvi va yo‘nalishini aniq aniqlash imkonini berdi.

Namunalarning qalinligi kesilish zonasida markazga nisbatan taxminan 120° burchak ostida joylashgan uchta nuqtada o‘lchandi. O‘lchangan qiymatlar asosida o‘rtacha arifmetik qiymat hisoblandi va uchta ahamiyatli raqamgacha

ISSN 3030-3907

yaxlitlanib sinov qaydnomasiga kiritildi. Qalinlik qiymatlari uchun variatsiya koeffitsienti 2 % dan oshmasligi ta’minlandi.

Sinovdan oldin barcha namunalar geometrik o‘lchamlari va tashqi ko‘rinishi bo‘yicha qayta tekshiruv nazoratidan o‘tkazildi.



2-rasm. Tadqiqot o‘tkazish uchun tayyorlangan maxsus moslama ko‘rinishi

Sinovlar laboratoriya xonasida standart atmosfera sharoitida o‘tkazildi. Bunda atrof-muhit harorati (23 ± 2) °C, havoning nisbiy namligi (50 ± 10) % va atmosfera bosimi (95 ± 10) kPa qiymatlari ta’minlandi. Sinov jarayonida ushbu parametrlarning barqarorligi nazorat qilib turildi hamda jarayon amalga oshirildi.

Sinovdan oldin namunalar belgilangan harorat sharoitida 8 soat vaqt davomida saqlandi. Bu orqali namunalarni sinov sharoitiga to‘liq moslashtirish ta’minlandi.

Sinov jarayonida namuna maxsus sinov moslamasiga o‘rnatildi. Namuna puanson yordamida pichoq va shayba orasiga joylashtirildi hamda gayka yordamida mahkamlandi. So‘ngra u moslamaning pastki plitasidagi teshikka joylashtirildi. Yuqoridan puanson, yo‘naltiruvchi shtiftlar va shpilkalar ustiga yuqori plita o‘rnatildi hamda u gaykalar yordamida mahkamlandi.

Sinov jixozining faol tutqichi harakat tezligi belgilangan diapazonda sozlandi. Tajriba jarayonida harakat tezligi 2 mm/min qiymatda tanlandi. Ya’ni tavsiya etilgan optimal tezlik tanlab olingan. Sinov davomida polimer kompozit namunasi faol tutqichning belgilangan harakat tezligida bir tekis yuk berildi. Yuk berish jarayonida namunada yuzaga kelgan deformatsiyalar qayd etib turildi. Shu bilan birga, deformatsiya diagrammasi yozib olindi. Sinov natijasida namuna bardosh bera olgan maksimal kuch qiymati P_{max} aniqlanib, sinov qaydnomasiga kiritildi.

ISSN 3030-3907



3-rasm. Tadqiqot sinov jarayonlari, WEW-2000B Universal sinov mashinasi

TADQIQOT NATIJALARI. O‘tkazilgan tajriba sinovlari natijasida shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi (srez) mustahkamlik ko‘rsatkichlari aniqlandi. Sinovlar GOST R 57968–2017 standarti talablariga muvofiq amalga oshirilib, har bir turdagi material uchun bir nechta namunalar sinovdan o‘tkazildi va olingan natijalar statistik qayta ishlash asosida baholandi.

Tadqiqotlar asosida turli namunalar uchun kesilishdagi mustahkamlik qiymatlari quyidagicha aniqlandi:

“Sariq” turidagi namunalar uchun ushbu ko‘rsatkich 126–137 MPa diapazonda bo‘lib, o‘rtacha qiymat 132 MPa ga teng;

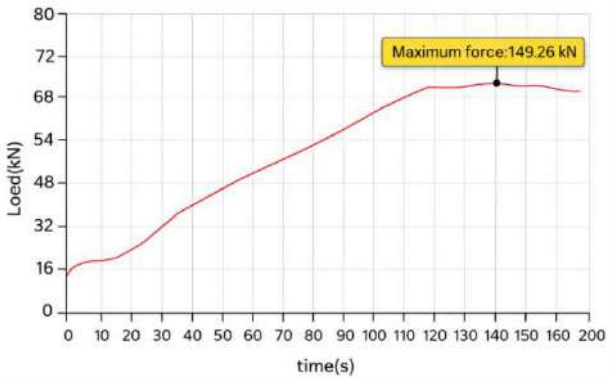
“Seriy” turidagi namunalar uchun esa kesilishdagi mustahkamlik 120–129 MPa oralig‘ida aniqlanib, o‘rtacha qiymati 125 MPa ni tashkil etdi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, tadqiq etilgan kompozit materiallar turiga qarab kesilishdagi mustahkamlik ko‘rsatkichlari sezilarli darajada farqlanadi. Eng yuqori natijalar “Sariq” turidagi namunalar uchun kuzatildi, bu

ISSN 3030-3907

esa ushbu materialning ichki strukturasi va tolalar joylashuvi kesuvchi kuchlarga nisbatan yuqori qarshilik ko‘rsatishini bildiradi.

Sinov natijalari orasidagi farqlar material tarkibi, tolalarning yo‘nalishi, qatlamlararo bog‘lanish sifati hamda ishlab chiqarish texnologiyasi bilan izohlanadi. Shu bilan birga, barcha namunalar uchun olingan qiymatlar barqaror diapazonda bo‘lib, variatsiya darajasi kichik ekanligi sinov natijalarining ishonchliligini tasdiqlaydi.



4-rasm. WEW-2000B Universal sinov mashinasi olingan ayrim tadqiqot natijalari.

O‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatdiki, shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi mustahkamligi material turiga bog‘liq holda sezilarli darajada farqlanadi. Protokol ma’lumotlariga ko‘ra, “Seriy” namunalarida 125 MPa, “Sariq” namunalarida esa eng yuqori natija — 132 MPa qayd etildi. Bu farqlar kompozit materialning ichki tuzilishi, tolalar orientatsiyasi va qatlamlararo bog‘lanish sifati bilan izohlanadi.

Qo‘yilgan yuk–vaqt grafiklari tahlili materiallarning deformatsiyalanish xatti-harakatini yanada aniqroq tushunish imkonini berdi. Grafiklardan ko‘rinishicha, barcha namunalarda yukning vaqt bo‘yicha ortishi dastlab deyarli chiziqli xarakterga ega. Bu holat materialning sinovning asosiy qismida elastik rejimda ishlayotganligini ko‘rsatadi.

Shuningdek, grafiklarda quyidagi muhim xususiyatlar kuzatildi:

- yuk dastlab sekin ortadi, so‘ngra barqaror ravishda chiziqli o‘sish bosqichiga o‘tadi;
- maksimal yuk qiymatlari taxminan 128–149 kN oralig‘ida qayd etilgan;
- maksimal nuqtaga yetgandan so‘ng grafikda keskin pasayish emas, balki biroz yumshoq tushish kuzatiladi.

Mazkur holat kesilish sinovlari uchun muhim bo‘lib, egilish sinovlaridan farqli ravishda materialda qisman plastik deformatsiya yoki bosqichma-bosqich buzilish mexanizmi mavjudligini ko‘rsatadi. Bu esa kompozit materialning tolalari va matritsa o‘rtasidagi bog‘lanishning ma’lum darajada energiya yutish qobiliyatiga ega ekanligini bildiradi.

ISSN 3030-3907

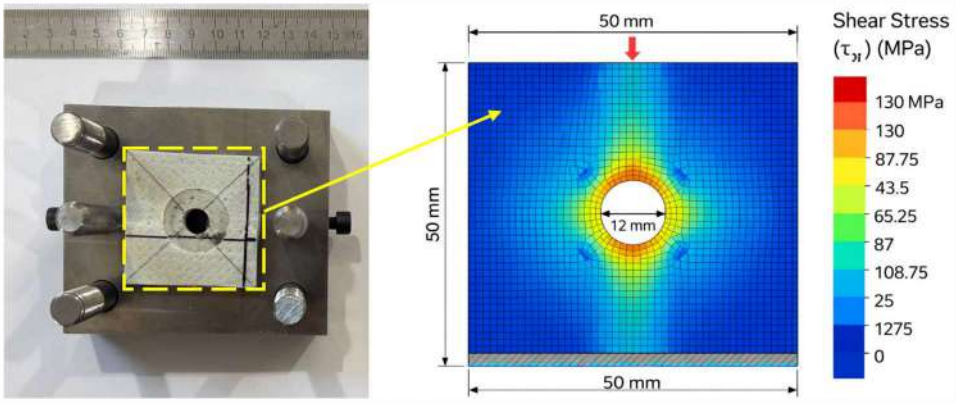
Grafiklarning maksimal nuqtaga yaqin qismida kichik tebranishlar va og‘ishlar kuzatiladi. Bu quyidagi jarayonlar bilan izohlanadi:

- tolalararo sirpanish (slippage),
- matritsa yorilishi,
- qatlamlararo ajralish (delaminatsiya).

Mazkur jarayonlar yakuniy buzilishdan oldingi bosqich sifatida qaraladi va materialning ichki strukturaviy xatti-harakatini ifodalaydi.

Bundan tashqari, barcha grafiklarda yuklanish jarayonining barqarorligi kuzatilgan bo‘lib, bu sinov tezligining (2 mm/min) to‘g‘ri tanlanganligini va eksperimental sharoitlarning standartlarga mos ekanligini tasdiqlaydi. Natijalarning yaqin diapazonda joylashishi esa sinovlarning takrorlanuvchanligi va ishonchliligini ko‘rsatadi.

Umuman olganda, eksperimental natijalar va grafik tahlillar shuni ko‘rsatadiki, shisha tolali polimer kompozit materiallar kesilishdagi yuqori mustahkamlikka ega bo‘lib, ularning buzilish mexanizmi egilish sinovlariga nisbatan murakkabroq va bosqichma-bosqich kechadi. Bu esa mazkur materiallarni tugunli birikmalar, murvatli ulanishlar hamda kesuvchi kuchlar ta’sir etuvchi konstruktiv elementlarda qo‘llash imkoniyatlarini kengaytiradi.



5-rasm. Namunaning raqamli modellashtirish dasturidagi tadqiqot natijalari.

Shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi mustahkamligini qo‘shimcha ravishda baholash maqsadida chekli elementlar usuli asosida sonli modellashtirish amalga oshirildi. Modellashtirish ANSYS dasturida bajarildi.

Model sifatida o‘lchamlari 50×50×4 mm bo‘lgan va markazida diametri 12 mm teshikka ega plastina qabul qilindi. Material izotrop elastik muhit sifatida qabul qilinib, uning mexanik xossalari eksperimental natijalarga mos ravishda tanlandi.

Hisoblash jarayonida plastinaning pastki qismi to‘liq mahkamlangan, yuqori qismiga esa eksperimental sharoitlarga mos ravishda bosim yuklamasi

ISSN 3030-3907

berildi. Teshik atrofida kuchlanishlarning aniqligini oshirish maqsadida zichlashtirilgan hisoblash to‘ri (mesh) qo‘llanildi.

Natijalar tahlili shuni ko‘rsatdiki, maksimal kesilish kuchlanishlari plastinaning markaziy teshik atrofi hududida to‘plangan. Bu holat eksperimental sinov natijalari bilan to‘liq mos keladi. Olingan maksimal kuchlanish qiymatlari 100–135 MPa diapazonda bo‘lib, bu laboratoriya sinovlari natijalari bilan yaxshi mos tushadi.

Shuningdek, modellashtirish natijalari materialda kuchlanishlarning notekis taqsimlanishini hamda buzilishning aynan kuchlanish kontsentratsiyasi yuqori bo‘lgan hududdan boshlanishini ko‘rsatdi. Bu esa kompozit materiallarning kesilishdagi buzilish mexanizmini tasdiqlaydi.

XULOSA. Mazkur tadqiqot ishida shisha tolali polimer kompozit materiallarning kesilishdagi (srez) mustahkamligi kompleks ravishda — eksperimental sinovlar, deformatsiya grafiklari tahlili hamda sonli modellashtirish asosida chuqur o‘rganildi. Olingan natijalar ushbu materiallarning mexanik xususiyatlari yuqori darajada barqaror va ishonchli ekanligini ko‘rsatdi.

Avvalo, GOST R 57968–2017 talablari asosida o‘tkazilgan sinovlar natijasida materiallarning kesilishdagi mustahkamligi ularning tarkibi va strukturaviy xususiyatlariga bevosita bog‘liqligi aniqlandi. Xususan, “Sariq” turdagi kompozitlar (≈132 MPa) “Seriy” turga (≈125 MPa) nisbatan yuqori natija ko‘rsatdi, bu esa tolalar orientatsiyasi, qatlamlararo bog‘lanish sifati va texnologik ishlab chiqarish omillarining hal qiluvchi rol o‘ynashini tasdiqlaydi.

Deformatsiya diagrammalari tahlili materiallarning yuklanish jarayonida dastlab elastik rejimda ishlashini, keyinchalik esa bosqichma-bosqich buzilish mexanizmi yuzaga kelishini ko‘rsatdi. Bu jarayon tolalararo sirpanish, matritsa yorilishi va delaminatsiya kabi murakkab ichki strukturaviy hodisalar bilan izohlanadi. Mazkur xossa kompozit materiallarning energiya yutish qobiliyati mavjudligini va ularning mo‘rt emas, balki nisbatan “yumshoq” buzilish xatti-harakatiga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Sonli modellashtirish (ANSYS) natijalari eksperimental ma’lumotlarni yuqori aniqlikda tasdiqladi. Xususan, maksimal kuchlanishlarning teshik atrofi hududida kontsentratsiyalanishi aniqlanib, bu konstruktiv elementlarda kuchlanishlar qay tarzda taqsimlanishini tushunishda muhim ahamiyat kasb etadi. Hisobiy va tajriba natijalarining mosligi tadqiqotning ilmiy asoslanganligini va ishonchliligini yanada mustahkamlaydi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, shisha tolali polimer kompozit materiallar kesuvchi kuchlar ta’sirida yuqori mustahkamlik, barqarorlik va murakkab, ammo nazorat qilinadigan buzilish mexanizmini namoyon etadi. Bu esa ularni ayniqsa tugunli birikmalar, murvatli ulanishlar va

ISSN 3030-3907

kesilish kuchlari ustuvor bo‘lgan konstruktiv elementlarda keng qo‘llash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. GOST R 57968–2017. Polimer kompozit materiallar. Mexanik sinov usullari.
2. Mallick, P. K. (2007). Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design. CRC press.
3. Jones, R. M. (2018). Mechanics of composite materials. CRC press.
4. Daniel, I. M., Ishai, O., Daniel, I. M., & Daniel, I. (1994). Engineering mechanics of composite materials (Vol. 3, pp. 256-256). New York: Oxford university press.
5. Kaw, A. K. (2005). Mechanics of composite materials. CRC press.
6. Gibson, R. F. (2007). Principles of composite material mechanics. CRC press.
7. Agarwal, B. D., Broutman, L. J., & Chandrashekhara, K. (2017). Analysis and performance of fiber composites. John Wiley & Sons.
8. Bank, L. C. (2006). Composites for construction: Structural design with FRP materials. John Wiley & Sons.
9. Hollaway, L. C. (2001). Advanced polymer composites and polymers in the civil infrastructure. Elsevier.
10. Turon Travesa, A. (2006). Simulation of delamination in composites under quasi-static and fatigue loading using cohesive zone models. Universitat de Girona.
11. American Society for Testing and Materials (ASTM). (2012). Standard test method for shear properties of composite materials by the V-notched beam method. ASTM International.
12. Thompson, M. K., & Thompson, J. M. (2017). ANSYS mechanical APDL for finite element analysis. Butterworth-Heinemann.