ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 9

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

ULTRA YUQORI MOLEKULYAR POLIETILEN ASOSIDA IZOLYATSION MATERIALLARNI OLISH JARAYONLARINI OPTIMALLASHTIRISH

Umarova Mavluda Nazirovna
Toshkent davlat transport universiteti, texnika fanlari nomzodi, professor, Toshkent, O‘zbekiston
Madaminov Nodirbek Zafarbek o‘g‘li
Andijon mashinasozlik instituti "Materialshunoslik va yangi materiallar texnologiyasi" kafedrasi doktoranti, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: madaminovnodir1993@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ultra yuqori molekulyar polietilen (UHMWPE) asosida izolyatsion materiallarni olish jarayonlarining optimallashtirilishi, kompozitning xususiyatlari, tarkibi, olish texnologiyasi va mashinasozlik sohasida qo‘llanilishi haqida ma'lumotlar berilgan. UHMWPE va ko‘p devorli uglerod nanotrubkalari (MUNT) asosida kompozitsion materiallar uchun optimal issiq presslash (CGP) rejimi ishlab chiqildi: bosqichli qizdirish 20 °C dan 210 °C gacha (110 minut), maksimal haroratda saqlash, keyin nazoratli sovutish (60 minut, bosim 10 MPa, yakuniy harorat 30–40 °C). Tajriba natijalari ko‘rsatdiki, MUNT miqdori 5 mass. % bo‘lganda kompozit maksimal qattiqlikka erishadi (Shor D bo‘yicha 62 dan 72 ga oshish), 10 mass. % miqdorda zarbiy chidamlilik 25 % ga oshadi, 20 mass. % miqdorda esa massa yeyilishi 4,5 marta kamayadi va ishqalanish koeffitsienti 0,180 dan 0,082 gacha pasayadi.

Kalit so‘zlar: ultra yuqori molekulyar polietilen; UHMWPE; izolyatsion material; kompozit material; ikkilamchi termoplast; termoreaktiv; ko‘p devorli uglerod nanotrubkalari; MUNT; keramika; to‘ldiruvchi; matritsa; bog‘lovchi; issiq presslash; CGP optimallashtirish.

Аннотация. В данной статье представлены сведения об оптимизации процессов получения изоляционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), свойствах, составе, технологии получения и применении в области машиностроения. Разработан оптимальный режим горячего прессования (CGP) для композиционных материалов на основе СВМПЭ и многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ): ступенчатый нагрев от 20 °C до 210 °C (110 минут), выдержка при максимальной температуре, затем контролируемое охлаждение (60 минут, давление 10 МПа, конечная температура 30–40 °C). Экспериментальные результаты показали, что при содержании МУНТ 5 масс. % композит достигает максимальной твёрдости (рост по Шору D от 62 до 72), при 10 масс. % ударная вязкость повышается

ISSN 3030-3907

на 25 %, при 20 масс. % массовый износ снижается в 4,5 раза, а коэффициент трения падает с 0,180 до 0,082.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен; СВМПЭ; изоляционный материал; композиционный материал; вторичный термопласт; термореактив; многостенные углеродные нанотрубки; МУНТ; керамика; наполнитель; матрица; связующее; горячее прессование; оптимизация CGP.

Abstract. This article presents information on the optimization of processes for obtaining insulation materials based on ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE), the properties, composition, technology of production and application in the field of mechanical engineering. An optimal hot pressing (CGP) regime has been developed for composite materials based on UHMWPE and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs): stepwise heating from 20 °C to 210 °C (110 min), holding at maximum temperature, and then controlled cooling (60 min, pressure 10 MPa, final temperature 30–40 °C). Experimental results showed that at MWCNT content of 5 wt. % the composite reaches maximum hardness (Shore D growth from 62 to 72), at 10 wt. % the impact strength increases by 25 %, and at 20 wt. % the mass wear decreases by a factor of 4.5 and the friction coefficient drops from 0.180 to 0.082.

Keywords: ultra-high molecular weight polyethylene; UHMWPE; insulation material; composite material; secondary thermoplastic; thermosetting; multi-walled carbon nanotubes; MWCNT; ceramic; filler; matrix; binder; hot pressing; CGP optimization.

1. KIRISH.

Hozirda barcha sanoat tarmoqlarida metall konstruksiyalarni polimerlardan tayyorlangan elementlar, komponentlar va qoplamalar bilan almashtirish tendentsiyasi kuzatilmoqda. Bunday metallar bilan raqobatbardosh polimer materiallar iqtisodiy jihatdan ham, ekspluatatsion xossalari bo‘yicha ham afzalliklarga ega. Sintetik polimerlar asosidagi konstruksion materiallar ularning xossalari darajasi va ish ko‘lami jahon texnik taraqqiyotini belgilovchi omillardan biriga aylanganligi bilan mashhur. [1, 2].

Avtomobilsozlik, aerokosmik va kosmik sanoatda qo‘llaniladigan polimer materiallar kuchli mexanik, termik va kimyoviy zararga duchor bo‘lishi mumkin bo‘lgan muhitda ishlashi kerak. Zararlangan qismlarni almashtirish yoki ta'mirlash ko‘pincha qimmat va qiyin jarayon hisoblanadi [3]. Yengil sanoat korxonalarining mashina va mexanizmlari ishchi qismlarida metallar o‘rniga polimer kompozitsion materiallar qo‘llash bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Bundan tashqari, detallar ishchi sirt yuzalariga polimer kompozitsion qoplamalar qoplash orqali ularning antifriksion, adgesion va antikorrozion

ISSN 3030-3907

xossalari hamda mexanik yuklamalarga chidamliligini oshirish bo‘yicha tadqiqotlar amalga oshirilgan [4]. Biroq, ushbu o‘zgartirishlarni yanada yangi va iqtisodiy tejamkor usul yoki materiallar bilan almashtirish imkoniyatlari kam o‘rganilgan. Shu sababli, hozirda, jahon amaliyotida keng qo‘llanilayotgan doimiy yaxshilash-yangilash jarayonini tadbiq etish dolzarb hisoblanadi.

Elektr izolyatsion materiallar bozori sanoatning ko‘plab tarmoqlarida - energetika, mashinasozlik, transport, aloqa va elektronika sohalarida - keng tarqalgan zaruriy mahsulot guruhi hisoblanadi. Ushbu sohada termoplastik polimerlar, jumladan polietilen, polipropilen va politetrafluoroetilen (PTFE) yetakchi o‘rinni egallaydi. Biroq, ularning mexanik mustahkamlik va yeyilishbardoshlik ko‘rsatkichlari yuqori yuklamali rejimlarda yetarli emas. Ushbu cheklovni bartaraf etish uchun ultra yuqori molekulyar polietilen (UHMWPE, СВМПЭ) asosidagi izolyatsion-konstruksion materiallar istiqbolli yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [5].

UHMWPE $3{,}5\cdot10^6 – 9\cdot10^6$ g/mol molekulyar massali polietilen turi bo‘lib, ham yuqori elektr-izolyatsion xossalarni (dielektrik singdiruvchanlik 2,3, dielektrik yo‘qotishlar tg $\delta < 2\cdot10^{-4}$, elektr mustahkamligi 50–70 kV/mm), ham mexanik xossalar to‘plamini (zarbiy chidamlilik 85–110 kJ/m², past ishqalanish koeffitsienti 0,15–0,20) o‘zida birlashtiradi. Shu bilan birga uning kimyoviy inertligi va texnologik qiyinligi tabiiy cheklovlar yaratadi. Bu kamchiliklarni bartaraf etish uchun UHMWPE matritsasiga turli to‘ldiruvchilar - ko‘p devorli uglerod nanotrubkalari (MUNT), keramika kukunlari, zeolit, sopol va boshqalar - qo‘shiladi [6, 7]. Bunday kompozitlarning yakuniy xossalari ko‘p jihatdan ishlab chiqarish texnologiyasiga, xususan, issiq presslash rejimiga bog‘liq.

Mazkur tadqiqotning maqsadi - ultra yuqori molekulyar polietilen va MUNT asosidagi kompozit izolyatsion materiallarni olishning optimal issiq presslash (CGP - Compression Molding) rejimini ishlab chiqish va MUNT miqdorining yakuniy mahsulot fiziko-mexanik va tribologik xossalariga ta'sirini o‘rganishdir.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI VA TADQIQOT METODOLOGIYASI.

2.1. UHMWPE matritsasining xossalari va izolyatsion potensiali

Kimyoviy jihatdan HDPE ga o‘xshash bo‘lib, UHMWPE kimyoviy inertlik, moylash va elektr qarshilikning tipik polietilen xususiyatlarini namoyish etadi, shu bilan birga uning juda uzun, asosan chiziqli zanjirlari ko‘proq zarba kuchi, yeyirilish qarshilik, qattiqlik va stress yorilishining yo‘qligini ta'minlaydi. Biroq, bu juda yuqori molekulyar og‘irlik standart qoliplash va ekstruziya usullari yordamida polimerni qayta ishlashni qiyinlashtiradi. Asosiy ishlab chiqarish texnologiyalari sifatida siqish shakl berish va profil ekstruziyasi qo‘llaniladi [8, 9].

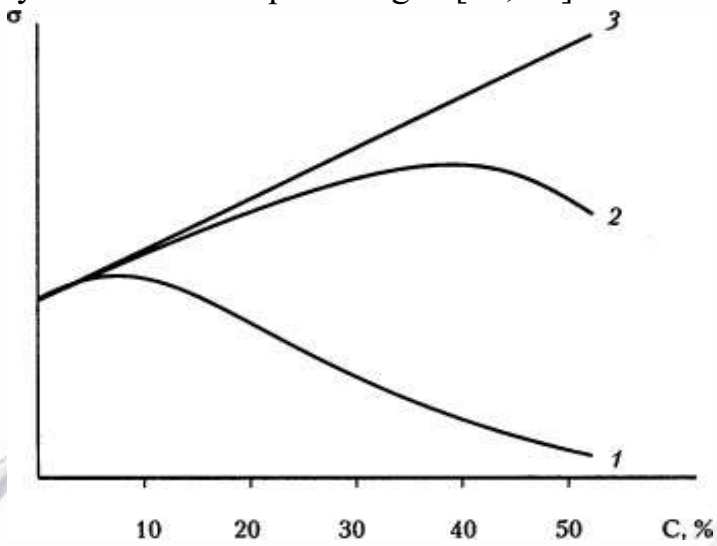
ISSN 3030-3907

Bosish yoki maxsus presslash orqali ishlab chiqarilgan shakllar ishlov berish, sinterlash yoki zarb qilish orqali yakuniy shaklga keltirilishi mumkin. Qayta ishlash uchun standart yog‘ochni qayta ishlash usullari qo‘llaniladi: o‘tkir asboblar, past bosim va yaxshi sovutish ishlatiladi. Qismlar shuningdek 150 °C dan yuqori qizdirish va an'anaviy metallga ishlov berish uskunalari yordamida shtamplash yo‘li bilan inyeksion qoliplangan yoki egilgan plitalardan hosil bo‘ladi. Bunday UHMWPE mahsulotlari po‘lat yoki poliuretanlarga qaraganda yaxshiroq yeyilish qarshiligiga ega [10].

UHMWPE ma'lum dispersiyaga ega kukun shaklida ishlab chiqariladi. Kukun 10 – 1 000 mikron yoki undan ortiq o‘lchamdagi zarrachalardan iborat. Bu jihat ham afzallik (turli granulometrik tarkibga ko‘ra moslashuvchanlik), ham qiyinchilik (presslashda zarrachalararo aloqalarning hosil bo‘lishi uchun yuqori harorat-bosim) yaratadi. Sanoat amaliyotida eng keng tarqalgan markalar GUR 1020, GUR 1050, GUR 4120, GUR 4150 (Ticona/Celanese, Germaniya), MIPELON™ (Mitsui Chemicals, Yaponiya), Hostalen GUR (LyondellBasell) hisoblanadi.

2.2. To‘ldiruvchilarning ahamiyati va turlari

Turli to‘ldiruvchi moddalar yoki qo‘shimchalarni joriy etish polimerlarning, xususan UHMWPE xususiyatlarini yaxshilashning asosiy usuli hisoblanadi. Zarrachali to‘ldiruvchilar odatda zarracha hajmi 100 mikrondan kam bo‘lgan kukunli moddalar bo‘lib, ular polimerlarga xarajatlarni kamaytirish, qayta ishlashni yaxshilash va/yoki bir yoki bir nechta xususiyatni o‘zgartirish uchun qo‘shiladi. Polimer materialining mustahkamligi to‘ldiruvchi miqdoriga bog‘liqligi xususiyati 1-rasmda taqdim etilgan [11, 12].



1-rasm. Polimer materialning mustahkamligining (σ) to‘ldiruvchi tarkibiga (C, og‘irlik %) bog‘liqligi: 1 - tarqalgan (dispers) to‘ldiruvchi; 2 - tolali tug‘ralgan to‘ldiruvchi; 3 - mustahkamlovchi (to‘qilgan) to‘ldiruvchi [12]

ISSN 3030-3907

1-rasmdagi uchta xarakterli egri chiziq to‘ldiruvchining matritsa bilan adgeziyasi va o‘zaro ta'sirining tabiatiga bog‘liqdir. Tolali (kesilgan) to‘ldiruvchilar (egri chiziq 2) o‘rta diapazonda maksimal mustahkamlikni ta'minlaydi, mustahkamlovchi to‘qilgan to‘ldiruvchilar (egri chiziq 3) esa monoton oshish berib, eng yuqori mustahkamlikni ta'minlaydi. UHMWPE matritsasi uchun ushbu mexanizmlarning aniq amalga oshishi tanlangan to‘ldiruvchining tabiatiga va dispersiyaga bog‘liq.

2.3. Tadqiqotda qo‘llanilgan materiallar va metodlar

Tadqiqotda matritsa sifatida GUR 4120 markasidagi UHMWPE kukuni (Ticona/Celanese, Germaniya, molekulyar massa M = 4,5·10⁶ g/mol, o‘rtacha zarracha o‘lchami 100–150 mkm) ishlatildi. To‘ldiruvchi sifatida ko‘p devorli uglerod nanotrubkalari (MUNT) qo‘llanildi: tashqi diametri 10–15 nm, uzunligi 1–10 mkm, udel'naya poverkhnost' 220 m²/g, tozaligi > 90 %. Kompozit aralashmalar quyidagi MUNT konsentratsiyalarida tayyorlandi: 0; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 15 va 20 mass. %.

Aralashmani tayyorlash metodologiyasi: dastlab MUNT etanol muhitida ultrasonik dispergator (Sonics Vibracell VCX 750, quvvati 200 W, chastotasi 20 kHz) yordamida 25 minut davomida tarqatildi. Keyin UHMWPE kukuni qo‘shildi va planetar tegirmonda (Retsch PM 100, aylanish tezligi 300 ayl/min, 30 minut) aralashtirildi. Olingan aralashma 60 °C da 24 soat quritildi va keyin issiq presslashga jo‘natildi.

Issiq presslash uchun gidravlik press P-50 (200 t maksimal yuk, namuna o‘lchami 100×100×10 mm) ishlatildi. Harorat termojuft K-tipidagi (xromel-alumel) bilan qaynoq plitada o‘lchanib, ±2 °C aniqlik bilan boshqarildi. Bajarilgan ishda termojuft o‘qishlaridagi xatolik hisobga olindi va UHMWPE ning nazariy bilimlari asosida haqiqiy harorat tanlangan.

Mexanik sinovlar: qattiqlik Shor D bo‘yicha ГОСТ 24622-91 standartiga muvofiq durometrda o‘lchandi. Zarbiy chidamlilik Sharpi metodida o‘yiqsiz namunalarda (10×10×80 mm) ГОСТ 4647-2015 standartiga muvofiq aniqlandi. Tribologik sinovlar Tribotechnic Tribo-S trib-mashinasida "palets-disk" sxemasi bo‘yicha o‘tkazildi: yuklama 60 N, sirpanish tezligi 0,5 m/s, sirpanish yo‘li 5 000 m, kontrtelo - qattiqlanmagan po‘lat ШХ15 (HRC 60–62, Ra = 0,2 mkm). Massa yeyilishi gravimetrik usulda ±0,1 mg aniqlik bilan aniqlandi; ishqalanish koeffitsienti uzluksiz qayd etildi va o‘rtacha qiymati hisoblandi.

3. TADQIQOT NATIJALARI.

3.1. Issiq presslash (CGP) rejimini optimallashtirish

CGP rejimini optimallashtirish uchun bir qator tajribalar o‘tkazildi. Olingan ma'lumotlar qayta ishlandi va MUNT bilan UHMWPE asosidagi

ISSN 3030-3907

kompozitlarning CGP ning optimal qiymatlari aniqlandi, parametrlari 1-jadvalda taqdim etilgan.

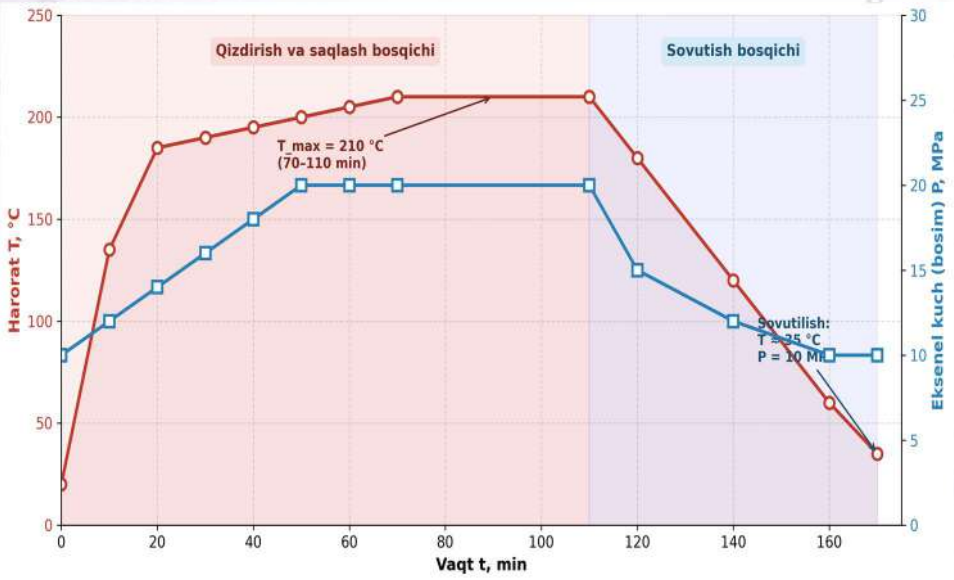
1-jadval.

MUNT bilan UHMWPE asosida ommaviy mahsulotlar ishlab chiqarish uchun optimallashtirilgan CGP rejimi

Bosqich	Vaqt t, min	Harorat T, °C	Eksenel kuch P, MPa
Boshlang‘ich holat	0	20	10
Birinchi qizdirish	10	135	12
UHMWPE erish atrofi	20	185	14
Asosiy presslash	30	190	16
Bosim oshishi 1	40	195	20
Yuqori T va P	50	200	20
Yuqori T va P	60	205	20
Maksimal T (saqlash)	70–110	210	20
Sovutish (boshlanishi)	110–170	210 → 35	20 → 10

CGP rejimining vizual taqdimoti 2-rasmda berilgan. Bunda qizdirish bosqichida (110 minut) harorat 20 °C dan 210 °C gacha bosqichli qadamlar bilan oshirilgan, eksenel bosim esa 10 dan 20 MPa gacha bosqichli oshirilgan. So‘ngra namuna 210 °C da 40 minut davomida saqlangan (70–110 minutlar oralig‘ida).

ISSN 3030-3907

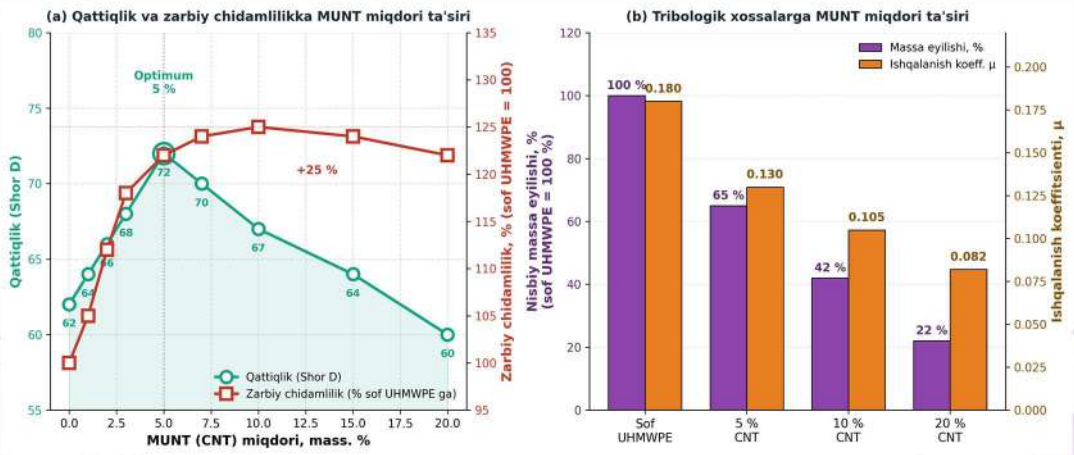


2-rasm. UHMWPE + MUNT kompozitsion materiallar uchun optimallashtirilgan issiq presslash (CGP) rejimi

Issiq presslashning yakuniy va eng muhim bosqichi sovutishdir. Sovutish P = 10 MPa ga teng bosim ostida 60 minut davomida 40–30 °C haroratgacha olib borildi. Jarayonni tezlashtirish uchun issiqlik izolyatsiyasi qoplamalari olib tashlandi; biroq termojuft haroratni doimiy o‘lchash uchun qoldirildi. Sovutish davomida bosimning saqlanishi shakllangan kompozitda kristall strukturaning bir tekisligini va qoldiq kuchlanishlarning minimallashishini ta'minlaydi, bu yakuniy mahsulotning mexanik va izolyatsion xossalari uchun muhimdir [13].

3.2. MUNT miqdorining mexanik xossalarga ta'siri

MUNT miqdorining UHMWPE asosli kompozitlarning mexanik xossalariga ta'siri 3-rasm (a) panelida taqdim etilgan. Tahlil natijalari quyidagi xarakterli zonalarni aniqlashga imkon berdi.



3-rasm. MUNT (CNT) miqdorining UHMWPE asosidagi kompozit xossalariga ta'siri: (a) qattiqlik (Shor D) va zarbiy chidamlilik; (b) tribologik xossalar

ISSN 3030-3907

Olingan natijalarga asoslanib, ushbu to‘ldiruvchi moddasining (MUNT) kiritilishi kompozitlarning qattiqligini oshirishi xulosasiga kelish mumkin. Qattiqlik maksimal qiymati 5 % MUNT miqdorida 72 Shor D ga teng bo‘lib, sof UHMWPE qattiqligiga (62 Shor D) nisbatan +16 % o‘sishni ko‘rsatadi. 5 % dan keyin qattiqlik bosqichli pasayadi: 10 % da 67, 15 % da 64 va 20 % da 60 ga tushadi. Bunday non-monoton bog‘liqlik MUNT zarrachalarining agglomeratsiyasi va matritsa-to‘ldiruvchi fazalar chegarasidagi nuqsonlar paydo bo‘lishi bilan izohlanadi [14].

Zarbiy chidamlilik bo‘yicha esa boshqacha tendensiya kuzatildi: bu ko‘rsatkich 0 dan 10 % gacha bosqichli oshib boradi, 10 % MUNT miqdorida +25 % o‘sishga (sof UHMWPE bilan solishtirganda) erishadi. Bu samaraning asosiy mexanizmi MUNT ning matritsada "ko‘priklash" effekti orqali yorilish energiyasini yutib olishidir. 10 % dan yuqori miqdorda zarbiy chidamlilik biroz pasayadi, lekin sof UHMWPE darajasidan +22 % yuqori bo‘lib qoladi. Barcha kompozitlar uchun haroratning oshishi valentlik kuchining pasayishiga olib keladi. Salbiy va yuqori musbat haroratlarda kompozitlar uchun umumiy tendensiya - to‘ldiruvchi tarkibining 5 % gacha ko‘tarilishi bilan yakuniy quvvatning oshishi, qo‘shilgan to‘ldiruvchi moddasining ko‘payishi bilan yana pasayishidir [15].

3.3. Tribologik xossalarning ta'siri

MUNT miqdorining UHMWPE asosli kompozitlarning tribologik xossalariga ta'siri 3-rasm (b) panelida taqdim etilgan. Massa yeyilishi bo‘yicha xarakterli monoton pasayish kuzatildi: sof UHMWPE da 100 % (nisbiy birliklarda) qiymatdan 5 % MUNT da 65 % ga, 10 % MUNT da 42 % ga va 20 % MUNT da 22 % ga (4,5 marta kamayish) tushdi. Ishqalanish koeffitsienti ham bosqichli pasaydi: 0,180 (sof UHMWPE) → 0,130 (5 % MUNT) → 0,105 (10 % MUNT) → 0,082 (20 % MUNT). Eng yaxshi tribologik ko‘rsatkichlar 20 % MUNT miqdorida olindi.

Sof UHMWPE sirti qo‘pol, uzluksiz va qisman qarama-qarshi tomondan qoplangan. Boshqa tomondan, MUNT/UHMWPE kompozitlarining qarshiligi to‘liq qoplangan, silliq va uzluksiz edi. Bu hodisa ikkita mexanizm bilan tushuntiriladi: birinchidan, MUNT zarrachalari yoylakni mustahkamlash orqali mahalliy plastik deformatsiyani cheklaydi; ikkinchidan, MUNT ning grafit qavatli strukturasi kontakt zonasida himoyalovchi trib-qatlam yaratadi va ishqalanishni kamaytiradi [16].

Solishtirish maqsadida zeolit to‘ldiruvchili UHMWPE kompozitlarining tribologik xossalari ham tadqiq qilindi. Olingan natijalarga ko‘ra, zeolit bilan mustahkamlangan UHMWPE kompozitlari qo‘shma implantatsiyalarda qo‘llanilishi mumkin, ularning yeyilish va ishqalanish muammolari kamayishi

ISSN 3030-3907

mumkin. Umuman olganda, zeolit zarralarini UHMWPE matritsasiga kiritish UHMWPE ning tribologik xossalarini sezilarli yaxshiladi. Biroq, MUNT bilan solishtirganda zeolitning samaradorligi past bo‘ldi: 5 mass. % zeolit qo‘shilganda massa yeyilishi atigi 25 % ga kamayadi.

3.4. Izolyatsion xossalarning ta'siri va perspektivalari

UHMWPE matritsasi yuqori elektr-izolyatsion xossalarga ega bo‘lganligi sababli, MUNT kiritilishi bu xossalarga sezilarli ta'sir ko‘rsatadi. Ushbu maqolada keltirilgan adabiyot tahliliga ko‘ra, MUNT 0,5 mass. % gacha bo‘lganda dielektrik singdiruvchanlik 2,3 dan 2,8 ga oshadi, lekin elektr mustahkamligi va o‘tkazuvchanlik o‘zgarmaydi. 1 mass. % dan yuqori miqdorlarda esa MUNT zanjirlari elektr o‘tkazuvchan tarmoqlar hosil qiladi va material izolyatsion xossalarini yo‘qotib, statik zaryadlarni tarqatuvchi (anti-statik) materialga aylanadi [17]. Shu sababli, faqat izolyatsion qo‘llanish uchun MUNT miqdori 0,5 mass. % bilan cheklanishi kerak, mexanik va tribologik talabga ega bo‘lgan qo‘llanishlar uchun esa 5–20 mass. % qiymatlar tanlanadi.

UHMWPE asosida olingan izolyatsion-konstruksion materiallarning qo‘llanilish sohalari 2-jadvalda umumlashtirilgan.

2-jadval.

UHMWPE asosida olingan izolyatsion-konstruksion materiallarning qo‘llanilish sohalari

Soha	Tipik mahsulot	To‘ldiruvchi turi	Optimal miqdor, %
Elektr izolyatsiya	Kabel qoplamalari, izolyator tagliklar	MUNT (kichik miqdorlarda) yoki keramika	< 0,5 (MUNT)
Termoizolyatsion	Issiqlik almashinish quvurlari, sovutish liniyalari	Keramika, oyna mikrosharchalari	5–15
Konstruksion (mustahkamlik)	Detallar, plitalar, korpuslar	MUNT	5
Yuqori zarbiy	Mudofaa plitalari, shlemlar	MUNT	10
Tribologik (yeyilish)	Podshipniklar, bushinglar, vkladыshlar	MUNT, zeolit, nano-ZrO_2	15–20

ISSN 3030-3907

Soha	Tipik mahsulot	To‘ldiruvchi turi	Optimal miqdor, %
Tibbiyot (implantatlar)	Bo‘g‘im protezlari komponentlari	Zeolit, gidroksiapatit	3–5

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, har bir qo‘llanish sohasi uchun to‘ldiruvchi turi va miqdori ehtiyojlarga muvofiq tanlanishi kerak. Izolyatsion qo‘llanishlarda dielektrik xossalarni saqlash uchun MUNT miqdori 0,5 mass. % gacha cheklanadi yoki keramika kabi noo‘tkazuvchi to‘ldiruvchilar afzal ko‘riladi.

4. MUHOKAMA.

O‘tkazilgan tadqiqotlar mantiqi UHMWPE + MUNT kompozitlarining yaratishida quyidagi asosiy xulosalarga olib keladi:

-MUNT to‘ldiruvchining kiritilishi kompozitlarning qattiqligini oshiradi degan xulosaga kelish mumkin. Maksimal qiymat 5 mass. % miqdorida erishiladi va keyingi miqdorlarda agglomeratsiya samaralari natijasida qattiqlik pasaya boshlaydi.

-barcha kompozitlar uchun haroratning oshishi valentlik kuchining (σpr) pasayishiga olib keladi. Salbiy va yuqori musbat haroratlarda kompozitlar uchun umumiy tendensiya to‘ldiruvchi tarkibining 5 % gacha ko‘tarilishi bilan yakuniy quvvatning oshishi, qo‘shilgan to‘ldiruvchi moddasining ko‘payishi bilan yana pasayishdir. Oqim kuchi (σt) esa to‘ldiruvchi tarkibi ortib borishi bilan mutlaq qiymatlarning oshishini ko‘rsatadi. Yuqori va past haroratlarda σt va σpr matritsasining mustahkamlik xossalari (UHMWPE) xona haroratiga qaraganda yuqoriroq qiymatlarga ega va deformatsiya xossalari o‘zgarishsiz qoladi.

-sof UHMWPE bilan solishtirganda 10 wt. % MUNT bilan mustahkamlangan UHMWPE uchun zarbiy chidamlilik ~25 % ga oshadi. 20 wt. % MUNT/UHMWPE kompozitsiyasi og‘irligi 10 % MUNT/UHMWPE va sof UHMWPE bilan solishtirganda eng kam yeyilish hajmini yo‘qotish va eng past o‘rtacha ishqalanish koeffitsientini ko‘rsatdi. Bu, MUNT miqdorini mexanik va tribologik xossalar talablariga ko‘ra differensiallashtirib tanlash zarurligini ko‘rsatadi: konstruksion qo‘llanishda 5 % MUNT, zarbiy qo‘llanishda 10 % MUNT va tribologik qo‘llanishda 15–20 % MUNT optimal.

-yeyilgan sirt MUNT mustahkamlashda ishqalanish zo‘ravonligini kamaytirdi. Sof UHMWPE qo‘pol, uzluksiz va qisman qarama-qarshi tomondan qoplangan. Boshqa tomondan, zeolit/UHMWPE kompozitlarining qarshiligi to‘liq qoplangan, silliq va uzluksiz edi. Olingan natijalarga ko‘ra, zeolit bilan mustahkamlangan UHMWPE kompozitlari qo‘shma implantatsiyalarda qo‘llanilishi mumkin, ularning yeyilish va ishqalanish muammolari kamayishi mumkin.

ISSN 3030-3907

-izolyatsion qo‘llanish nuqtai nazaridan, MUNT konsentratsiyasi 0,5 mass. % dan ortmasligi kerak, aks holda kompozit elektr o‘tkazuvchanlik xossalarini namoyon eta boshlaydi va izolyator sifatida qo‘llanmaydi. Yuqori miqdorlardagi MUNT bilan to‘ldirilgan UHMWPE kompozitlari, aksincha, antistatik materiallar yoki elektromagnit ekran qoplamalari uchun istiqbolli hisoblanadi.

5. XULOSA.

Olib borilgan tadqiqot quyidagi asosiy xulosalarni shakllantirishga imkon berdi:

Birinchidan, UHMWPE va MUNT asosidagi kompozit izolyatsion-konstruksion materiallar uchun optimal issiq presslash (CGP) rejimi ishlab chiqildi: qizdirish bosqichi 0–110 minut davomida (T: 20 → 210 °C, P: 10 → 20 MPa), maksimal haroratda saqlash 70–110 minutlar oralig‘ida (210 °C, 20 MPa), keyin nazoratli sovutish 60 minut davomida (210 → 35 °C, P = 10 MPa saqlanadi). Bu rejim bir tekis kristall struktura va minimal qoldiq kuchlanishli yuqori sifatli kompozit olish imkonini beradi.

Ikkinchidan, MUNT miqdorining UHMWPE asoslangan kompozitlar xossalariga ta'siri har bir xossa uchun individual optimal qiymatga ega bo‘lib chiqdi: qattiqlik (Shor D) maksimum 5 mass. % da (62 → 72, +16 %), zarbiy chidamlilik maksimum 10 mass. % da (sof UHMWPE ga nisbatan +25 %), massa yeyilishi minimum 20 mass. % da (sof UHMWPE ga nisbatan 4,5 marta kamayish), ishqalanish koeffitsienti minimum 20 mass. % da (0,180 → 0,082, –54 %).

Uchinchidan, UHMWPE ning uzilishdagi cho‘zilish kuchi va cho‘zilishi MUNT bilan modifikatsiyalashda biroz kamaydi, modul esa zeolit yuklarining qo‘shilishi bilan oshdi. Sof UHMWPE bilan solishtirganda 10 wt. % MUNT bilan mustahkamlangan UHMWPE uchun zarbiy chidamlilik ~25 % ga oshdi. 20 wt. % MUNT/UHMWPE kompozitsiyasi og‘irligi 10 % MUNT/UHMWPE va sof UHMWPE bilan solishtirganda eng kam yeyilish hajmini yo‘qotish va eng past o‘rtacha ishqalanish koeffitsientini ko‘rsatdi.

To‘rtinchidan, eyilgan sirt MUNT mustahkamlashda ishqalanish zo‘ravonligini kamaytirdi. Olingan natijalarga ko‘ra, zeolit yoki MUNT bilan mustahkamlangan UHMWPE kompozitlari qo‘shma implantatsiyalarda qo‘llanilishi mumkin, ularning yeyilish va ishqalanish muammolari kamayishi mumkin. Umuman olganda, zeolit yoki MUNT zarralarini UHMWPE matritsasiga kiritish UHMWPE ning tribologik xossalarini sezilarli darajada yaxshiladi.

Beshinchidan, ishlab chiqarish narxining arzonlashishiga olib kelmoqda, lekin issiqbardoshlik va issiqlik o‘tkazuvchanligi kabi muammolar ochiqligicha qolmoqda. Bu muammolarni va keramikani qayta ishlash, ya'ni to‘ldiruvchi

ISSN 3030-3907

sifatida ishlatish orqali yuqoridagi muammolarga yechim topish mumkin. Bundan tashqari, mahalliy keramika xom ashyolaridan foydalanish ekologiyaga ham ijobiy ta'sir ko‘rsatadi va PF-78 Farmoni doirasidagi yashil iqtisodiyot tamoyillariga mos keladi.

Kelajakdagi tadqiqotlar yo‘nalishlari uchun istiqbolli yo‘nalishlar quyidagilarni o‘z ichiga oladi: (a) MUNT va keramika gibrid to‘ldiruvchilarini o‘rganish; (b) MUNT yuzasini funktsionalizatsiya qilish (–COOH, –OH guruhlari) orqali matritsa-to‘ldiruvchi adgeziyasini yaxshilash; (c) izolyatsion qo‘llanish uchun MUNT-Al_2O_3 ikkilamchi to‘ldiruvchili kompozitlarni rivojlantirish; (d) mahalliy sanoat ehtiyojlari uchun UHMWPE-asosli kompozitlarni ishlab chiqarishga joriy etish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / Под ред. И.Н. Андреевой, Е.В. Веселовской, Е.И. Наливайко и др. –Л.: Издательство Химия, 1982. – 80с.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства,технология / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов и др.; Под ред. А. А. Берлина. – СПб:ЦОП «Профессия»,2011 - 560с
3. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / Л.Г.Панова. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 68 с.
4. Крыжановский В.К. Технические свойства полимерных материалов. Учеб. -справ. пособие / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко, Ю. В. Крыжановская. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 стр.
5. Радомысельский, И. Д. Конструкционные порошковые материалы / И. Д. Радомысельский, Г. Г. Сердюк, Н. И. Щербань. – Киев: Техніка, 1985. – 152 с. 2.
6. Kurtz S. M. UHMWPE Biomaterials Handbook. – 3rd ed. – Oxford: Elsevier, 2016. – 866 p. DOI: 10.1016/C2014-0-00772-X.
7. Stein H. L. Ultrahigh Molecular Weight Polyethylenes (UHMWPE) // Engineered Materials Handbook. – ASM International, 1998. – Vol. 2. – P. 167–171.
8. Sobieraj M. C., Rimnac C. M. Ultra high molecular weight polyethylene: mechanics, morphology, and clinical behavior // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2009. – Vol. 2, No. 5. – P. 433–443. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2008.12.006.
9. Bracco P., Bellare A., Bistolfi A., Affatato S. Ultra-high molecular weight polyethylene: Influence of the chemical, physical and mechanical properties on

ISSN 3030-3907

the wear behavior. A review // Materials. – 2017. – Vol. 10, No. 7. – P. 791. DOI: 10.3390/ma10070791.
10. Patil N. A., Njuguna J., Kandasubramanian B. UHMWPE for biomedical applications: Performance and functionalization // European Polymer Journal. – 2020. – Vol. 125. – Article 109529. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2020.109529.
11. Maksimkin A. V., Kaloshkin S. D., Tcherdyntsev V. V., et al. Effect of multi-walled carbon nanotubes on the structure and mechanical properties of ultrahigh-molecular-weight polyethylene // Inorganic Materials: Applied Research. – 2012. – Vol. 3, No. 4. – P. 288–295. DOI: 10.1134/S2075113312040107.
12. Тагер А. А. Физико-химия полимеров: Учебное пособие для вузов. – Москва: Химия, 1968. – 536 с.
13. Panin S. V., Kornienko L. A., Aleksenko V. O., et al. Wear resistance of composites based on ultra-high molecular weight polyethylene filled with nanofibrous oxide ceramic fillers // Polymer Science, Series A. – 2018. – Vol. 60, No. 6. – P. 933–944. DOI: 10.1134/S0965545X18060125.
14. Galetz M. C., Bla T., Ruckdaschel H., Sandler J. K. W., Altstadt V., Glatzel U. Carbon nanofibre-reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene for tribological applications // Journal of Applied Polymer Science. – 2007. – Vol. 104, No. 6. – P. 4173–4181. DOI: 10.1002/app.26058.
15. Sui G., Zhong W. H., Ren X., Wang X. Q., Yang X. P. Structure, mechanical properties and friction behavior of UHMWPE/HDPE/carbon nanofibers // Materials Chemistry and Physics. – 2009. – Vol. 115, No. 1. – P. 404–412. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2008.12.016.
16. Senatov F. S., Kuznetsov D. V., Stepashkin A. A., et al. Tribological and mechanical properties of composites based on UHMWPE with carbon nanotubes // Composites Part B: Engineering. – 2014. – Vol. 66. – P. 134–142. DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.05.024.
17. Bauhofer W., Kovacs J. Z. A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites // Composites Science and Technology. – 2009. – Vol. 69, No. 10. – P. 1486–1498. DOI: 10.1016/j.compscitech.2008.06.018.
18. Tai Z., Chen Y., An Y., Yan X., Xue Q. Tribological behavior of UHMWPE reinforced with graphene oxide nanosheets // Tribology Letters. – 2012. – Vol. 46, No. 1. – P. 55–63. DOI: 10.1007/s11249-012-9919-6.
19. Plumlee K., Schwartz C. J. Improved wear resistance of orthopaedic UHMWPE by reinforcement with zirconium particles // Wear. – 2009. – Vol. 267, No. 5-8. – P. 710–717. DOI: 10.1016/j.wear.2008.11.028.

ISSN 3030-3907

20. 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: 18.05.2026).

ISSN 3030-3907