JOURNAL OF TRANSPORT







ISSUE 2, 2026 vol. 3
E-ISSN: 2181-2438
ISSN: 3060-5164

SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

Tashkent state transport university

JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 2

JUNE, 2026

jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 2 JUNE, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

---

The **"Journal of Transport"** established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo'lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organizatsion
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Scanning electron microscopy study of the microstructure of an ED-16 epoxy-based composite anti-corrosion coating

B. Ibragimov[1][a], N.K. Tursunov[1][b]
[1]Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article studies the microstructure of composite anti-corrosion coatings based on ED-16 epoxy resin modified with EPU-71M and intended for the protection of vehicle body parts. Five compositions (K-1–K-5) were prepared in which the ED-16 content was reduced from 100 to 60 g and the EPU-71M content was increased from 0 to 40 g. The surface morphology of the cured coatings was examined by scanning electron microscopy (secondary electrons, 10 kV, ×1000), and the area fraction of open surface defects (cracks and pores) was determined by image binarization. The physical-mechanical and performance properties of the coatings were determined according to GOST standards and checked against the proposed technical requirements. Composition K-3 (ED-16 80 g, EPU-71M 20 g) showed the most uniform surface, with a defect fraction below 0.1%, and met seven of the eight requirements but not the frost resistance requirement; none of the compositions met all requirements.

Keywords: epoxy coating, ED-16, EPU-71M, scanning electron microscopy, image analysis, surface defects, physical-mechanical properties, corrosion protection

ED-16 epoksid smolasi asosidagi kompozitsion antikorrozion qoplamaning mikrostrukturasini skanerlovchi elektron mikroskopiya usulida tadqiq etish

Ibragimov B.[1][a], Tursunov N.Q.[1][b]
[1]Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Maqolada transport vositalari korpus detallarini himoya qilish uchun mo‘ljallangan, ЭПУ-71M bilan modifikatsiyalangan ED-16 epoksid smolasi asosidagi kompozitsion antikorrozion qoplamalarning mikrostrukturasi tadqiq etilgan. ED-16 miqdori 100 g dan 60 g gacha kamaytirilgan va ЭПУ-71M miqdori 0 g dan 40 g gacha oshirilgan beshta tarkib (K-1–K-5) tayyorlandi. Qotgan qoplamalar sirtining morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya (ikkilamchi elektronlar, 10 kV, ×1000) yordamida o‘rganildi, ochiq sirt nuqsonlari (yoriq va g‘ovaklar) ulushi tasvirni binarizatsiyalash orqali aniqlandi. Qoplamalarning fizik-mexanik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari GOST standartlari bo‘yicha aniqlanib, taklif etilgan texnik talablar bilan solishtirildi. K-3 tarkibi (ED-16 80 g, ЭПУ-71M 20 g) eng bir jinsli sirtga ega bo‘lib, nuqsonlar ulushi 0,1 % dan kam bo‘ldi va sakkizta talabdan yettitasiga javob berdi, biroq sovuqqa chidamlilik talabiga javob bermadi; tarkiblarning birortasi ham barcha talablarni to‘liq qanoatlantirmadi.

Kalit so‘zlar: epoksid qoplama, ED-16, ЭПУ-71M, skanerlovchi elektron mikroskopiya, tasvir tahlili, sirt nuqsonlari, fizik-mexanik xossalar, korroziyadan himoya

1. Kirish

Bugungi kunda jahon iqtisodiyotining yetakchi tarmoqlari, xususan, qurilish, yengil va og‘ir sanoat, qishloq xo‘jaligi, logistika va xizmat ko‘rsatish sohalarining rivojlanishi avtomobillar va ularning konstruksiyalariga bog‘liqdir. Shu bilan birga, avtomobillarning ishonchliligi, chidamliligi, ekspluatatsion xavfsizligi, iqtisodiy va ekologik samaradorligi, ularning qismlari, ayniqsa kuzov qismlarining ishlash qobiliyatini saqlab qolish uchun yangi avlod ingrediyentlari va modifikatorlari asosidagi himoya vositalaridan foydalanish, ularning reologik xususiyatlarini yaxshilash va tarkibini yaratish, tashqi muhitga chidamliligini oshirish, yuzalarni tayyorlash va purkash mexanizmini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

Transport vositalarining ekspluatatsion ishonchliligi va xizmat muddatini belgilovchi asosiy omillardan biri ularning korpusi va kuzovini atrof-muhitning agressiv ta’siridan himoya qilishdir. Zamonaviy avtomobilsozlik va transport tizimlarida iqlim sharoitining tez o’zgarishi, ya’ni haroratning qisqa vaqt ichida noldan past va yuqori qiymatlarga o’tishi, atmosfera yog’inlari, quyoshning ultrabinafsha nurlari va yo’l qoplamasiga ishlov berishda qo’llaniladigan kimyoviy reagentlarning ta’siri metall konstruksiyalarda elektrokimyoviy korroziya jarayonini keskin tezlashtiradi [1–3].

An’anaviy bo‘yoq-lak qoplamalari tez o‘zgaruvchi termik va dinamik yuklamalar sharoitida o‘zining mustahkamligini yo‘qotib, mikroyoriqlar hosil qiladi. Bu esa namlik va korroziy muhitning metall yuzasiga bevosita kirib borishiga zamin yaratadi. Shu munosabat bilan, tashqi muhit

[a] https://orcid.org/0009-0003-5965-5933
[b] https://orcid.org/0009-0008-7910-3980

o‘zgarishlariga yuqori turg‘unlikka ega bo‘lgan innovatsion polimer asosidagi qoplamalarni yaratish va ularning himoya xossalarini ilmiy jihatdan asoslash dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi [4–6].

Epoksid qoplamalarning himoya xossalari ko‘p jihatdan ularning mikrostrukturasi — yoriqlar, g‘ovaklar va strukturaviy notekisliklar mavjudligi bilan belgilanadi, chunki aynan shu nuqsonlar orqali namlik va agressiv ionlar metall yuzasiga yetib boradi [1, 4]. Ishning yangiligi ЭПУ-71M ulushi 0 dan 40 g gacha o‘zgarganda ED-16 asosidagi qoplama sirt morfologiyasining SEM tasvirlari bo‘yicha miqdoriy baholanishi va uning GOST bo‘yicha aniqlangan fizik-mexanik ko‘rsatkichlar bilan solishtirilishidadir. Tadqiqotning maqsadi — ЭПУ-71M miqdorining qoplama sirt nuqsonlariga va texnik talablarga muvofiqligiga ta’sirini aniqlash.

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot obyekti sifatida ED-16 epoksid oligomeri asosidagi kompozitsion qoplamalar tanlandi [5, 6], modifikatsiyalovchi komponent sifatida ЭПУ-71M qo‘llanildi. Beshta tarkibda (K-1–K-5) ED-16 miqdori 100 g dan 60 g gacha bosqichma-bosqich kamaytirilib, ЭПУ-71M miqdori 0 g dan 40 g gacha oshirildi (1-jadval); qotirgich (PEPA), plastifikator (DOF) va erituvchi miqdorlari barcha tarkiblarda o‘zgarmas saqlandi.

1-jadval

Kompozitsion qoplamalar tarkibi

Tarkib	ED-16, g	ЭПУ-71M, g	ЭПУ-71M ulushi, %
K-1	100	0	0
K-2	90	10	10
K-3	80	20	20
K-4	70	30	30
K-5	60	40	40

Qoplamalarning fizik-mexanik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari quyidagi standartlar bo‘yicha aniqlandi: adgeziya — GOST 15140-78 bo‘yicha panjarasimon kesish usulida (1–4 ball, 1 — eng yaxshi) [7]; quruq qatlam qalinligi — GOST 31993-2013 [8]; zarbaga chidamlilik — GOST 4765-73 [9]; egilishdagi elastiklik — GOST 6806-73 [10]; mayatnikli asbobdagi qattiqlik — GOST 5233-2021 [11]; korroziyaga chidamlilik — GOST 9.401-2018 bo‘yicha tezlashtirilgan sinovda [12]; kompozitsiyaning yashovchanlik vaqti (ishlov berishga yaroqlilik muddati) — GOST 27271-2014 [13]; sovuqqa chidamlilik — GOST R 52020-2003 usuli bo‘yicha [14]. Barcha tarkiblar 100 mkm nominal quruq qatlam qalinligida sinaldi.

Qotgan qoplamalar sirtining morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopda ikkilamchi elektronlar (SE2) detektori yordamida o‘rganildi [15–18]: tezlashtiruvchi kuchlanish 10 kV, kattalashtirish ×1000, kamera vakuumi taxminan $2{,}6\cdot10^{-5}$ mbar, ishchi masofa 35,2–45,0 mm (4-jadval); atamalar ISO 22493 bo‘yicha qo‘llanildi [19]. Tasvirlar NIT Srinagar (Hindiston) markazida olingan. Har bir tarkib uchun bitta ko‘rish maydoni (taxminan 121 × 83 mkm) tahlil qilindi; tasvir masshtabi mikroskopning 20 mkm li masshtab chizig‘i bo‘yicha aniqlandi.

Sirt nuqsonlarini miqdoriy baholash uchun tasvirlar Python muhitida scikit-image kutubxonasi yordamida qayta ishlandi [20]. Barcha tasvirlarga bir xil algoritm qo‘llanildi: mikroskopning ma’lumotlar satri kesib tashlandi; yoritilganlik notekisligini bartaraf etish uchun tasvirdan 30 mkm radiusli Gauss filtri bilan olingan fon ayirildi; yorqinligi o‘rtachadan 1,5 standart og‘ishdan ko‘proq past bo‘lgan piksellar ochiq nuqsonlar (yoriq va g‘ovaklar) sifatida ajratildi; 1 mkm^2 dan kichik obyektlar olib tashlandi. Nuqsonlarning maydon ulushi (%) va skelet bo‘yicha ularning uzunlik zichligi (mm/mm^2) hisoblandi. Hududiy notekislikni baholash uchun har bir tasvir 4 × 4 = 16 ta teng qismga bo‘linib, o‘rtacha qiymat va standart og‘ish topildi; natijaning chegara qiymatiga sezgirligi 1,0 va 2,0 koeffitsiyentlari uchun tekshirildi. SE tasvirdagi kontrast asosan sirt topografiyasi bilan bog‘liq bo‘lgani uchun aniqlangan ko‘rsatkich hajmiy g‘ovaklikni emas, balki sirtdagi ochiq nuqsonlar ulushini tavsiflaydi.

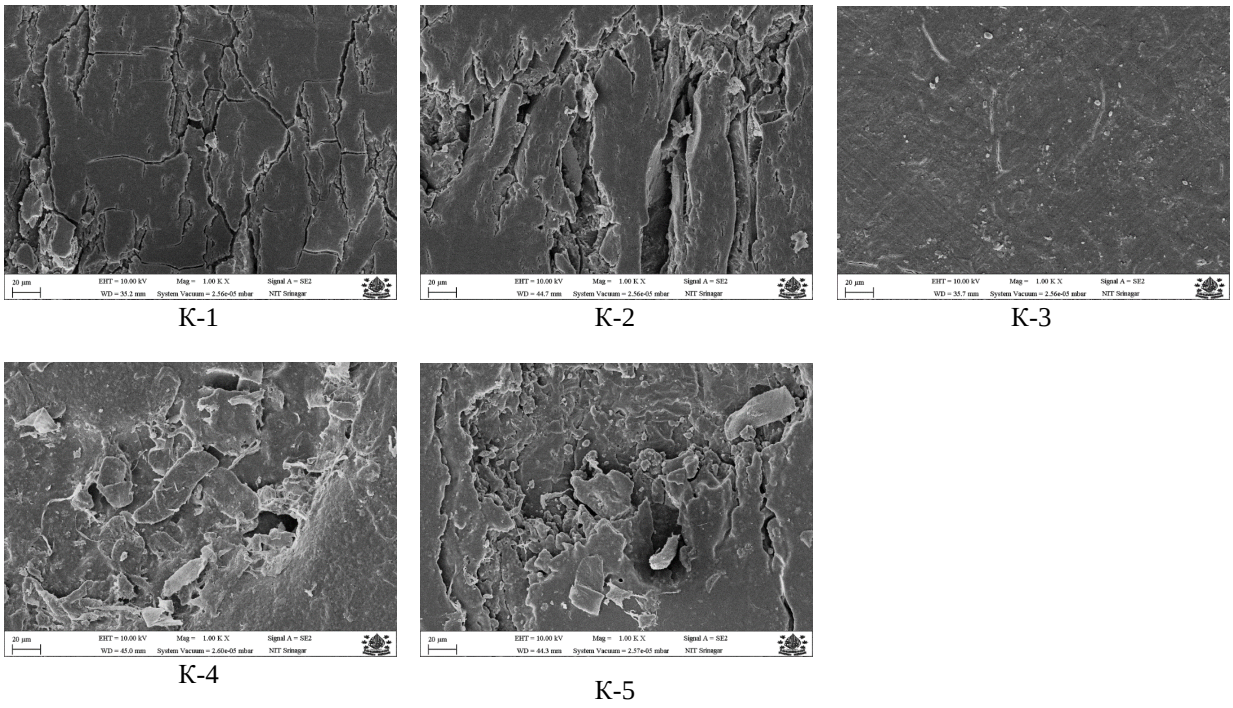
3. Natijalar va muhokama

Besh tarkibning fizik-mexanik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari 2-jadvalda, ularning taklif etilgan texnik talablarga muvofiqligi 3-jadvalda keltirilgan.

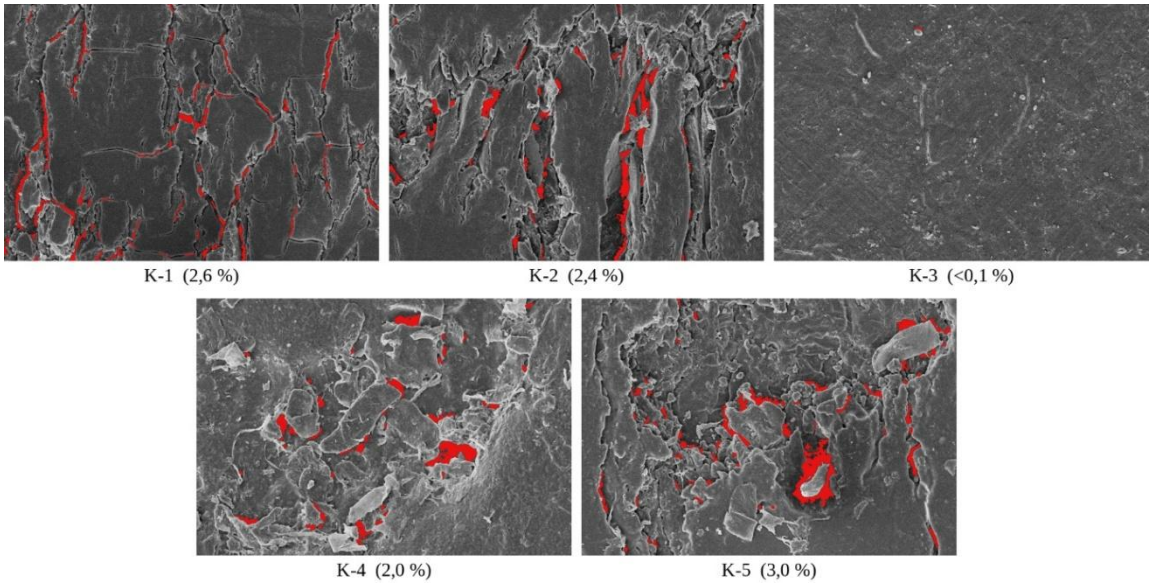
2-jadval

Korpus metali uchun epoksid-poliuretan asosidagi kompozitsion qoplamalarning qiyosiy fizik-mexanik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	GOST	GOST bo‘yicha baholash mezoni	Taklif etiladigan texnik talab	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
Adgeziya, ball	15140-78	1–4 ball, 1 - eng yaxshi	1 ball	2	1	1	1	1
Quruq qoplama qalinligi, mkm	31993-2013	O‘lchash usuli	80–120	100	100	100	100	100
Zarbaga chidamlilik, sm	4765-73	Shikastlanishsiz maksimal balandlik	≥50	35	45	60	55	50
Egilishda elastiklik, mm	6806-73	Yoriqsiz minimal sterjen diametri	≤3	8	5	2	3	4
Qattiqlik, shartli birlik	5233-2021	Mayatnikli asbobda aniqlanadi	≥0,60	0,72	0,68	0,64	0,57	0,49
Korroziyaga chidamlilik, soat	9.401-2018	Sinov rejimiga bog‘liq	720 soatlik sinovdan o‘tish	240	480	720	600	480
Yashovchanlik vaqti, daqiqa	27271-2014	Materialga bog‘liq	≥120	150	140	130	115	100
Sovuqqa chidamlilik, °C , daqiqa	R 52020-2003	Yirik bo‘lakchalar hosil bo‘lmagan eng past harorat	−40±2	−22	−26	−30	−36	−42



1-rasm. K-1–K-5 qoplamalar sirtining SEM tasvirlari (SE2, 10 kV, ×1000; masshtab chizig‘i 20 mkm)



2-rasm. SEM tasvirlarida ajratilgan ochiq sirt nuqsonlari (qizil rang bilan; chegara — o‘rtachadan 1,5 standart og‘ish past); qavs ichida — nuqsonlar maydon ulushi

2-jadvalda har bir ko‘rsatkich uchun bitta qiymat keltirilgan; takroriy o‘lchovlar soni va tarqoqlik ko‘rsatilmaganligi sababli tarkiblar orasidagi kichik farqlar (masalan, qattiqlikdagi 0,04 birlik) ehtiyotkorlik bilan talqin qilinishi lozim. Sovuqqa chidamlilik qiymatlari kompozitsiyada yirik bo‘lakchalar hosil bo‘lmagan eng past harorat (°C) sifatida berilgan; GOST R 52020-2003 usulida −40±2 °C sinov harorati hisoblanadi va bu usul qotgan qoplamaning emas, balki suyuq lak-bo‘yoq materialining muzlatishga chidamliligini tavsiflaydi. Korroziyaga chidamlilik qoplama GOST 9.401-2018 bo‘yicha tezlashtirilgan sinovda buzilmasdan bardosh bergan vaqt (soat) sifatida keltirilgan. Adgeziya GOST 15140-78 bo‘yicha amaliy sinovda aniqlangan; SEM sirt tasvirlari adgeziyani baholash uchun ishlatilmadi.

3-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, tarkiblarning birortasi ham sakkizta talabning barchasiga javob bermaydi. K-3 tarkibi yettita talabga javob beradi va faqat sovuqqa chidamlilik bo‘yicha (−30 °C, talab −40±2 °C) mos kelmaydi. K-1 adgeziya, zarbaga chidamlilik, elastiklik, korroziyaga va sovuqqa chidamlilik bo‘yicha; K-2 zarbaga chidamlilik, elastiklik, korroziyaga va sovuqqa chidamlilik bo‘yicha; K-4 qattiqlik, yashovchanlik vaqti, korroziyaga va sovuqqa chidamlilik bo‘yicha; K-5 esa elastiklik, qattiqlik, korroziyaga chidamlilik va yashovchanlik vaqti bo‘yicha talabdan past. ЭПУ-71М miqdori oshgan sari sovuqqa

chidamlilik yaxshilanadi (−22 dan −42 °C gacha), qattiqlik (0,72 dan 0,49 gacha) va yashovchanlik vaqti (150 dan 100 daqiqagacha) esa kamayadi. Demak, tarkib tanlashda sovuqqa chidamlilik bilan qattiqlik va yashovchanlik vaqti o‘rtasidagi murosa hal qiluvchi ahamiyatga ega.

3-jadval

Tarkiblarning texnik talablarga muvofiqligi (+ mos, – mos emas)

Ko‘rsatkich (talab)	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
Adgeziya (1 ball)	–	+	+	+	+
Qalinlik (80–120 mkm)	+	+	+	+	+
Zarbaga chidamlilik (≥50 sm)	–	–	+	+	+
Elastiklik (≤3 mm)	–	–	+	+	–
Qattiqlik (≥0,60)	+	+	+	–	–
Korroziyaga chidamlilik (720 soat)	–	–	+	–	–
Yashovchanlik vaqti (≥120 daqiqa)	+	+	+	–	–
Sovuqqa chidamlilik (−40±2 °C)	–	–	–	–	+
Mos kelganlar soni (8 tadan)	3	4	7	4	4

K-1 namunaning SEM tasvirida (1-rasm) material yuzasida yirik yoriqsimon nuqsonlar, notekis mikrorelyef hamda ayrim hududlarda chuqur darz ketishlar mavjudligi kuzatiladi. Mikrostrukturada yaxlit polimer matritsasi bilan bir qatorda o‘zaro tutashgan yorilish chiziqlari namoyon bo‘lgan. Bunday strukturaviy holat materialning mo‘rt buzilishga moyilligini ko‘rsatishi mumkin. ЭПУ-71М komponentining mavjud emasligi va ED-16 ning yuqori miqdori ushbu namunada strukturaviy modifikatsiya imkoniyatlarini cheklagan bo‘lishi ehtimol. Natijada mikrostrukturaviy bir xillik yetarli darajada shakllanmagan.

K-2 namunaning SEM tasvirida (1-rasm) K-1 namunasiga nisbatan ancha murakkab va notekis mikrostrukturaviy shakllanish kuzatiladi. Sirt bo‘ylab cho‘zilgan yoriqlar, qatlamlanishga o‘xshash ajralishlar hamda ayrim joylarda bo‘shliqsimon nuqsonlar mavjud. Ushbu holat polimer komponentlari o‘rtasida strukturaviy o‘zaro ta’sirning bir tekis kechmaganligini ko‘rsatishi mumkin. ЭПУ-71М miqdorining 10 g gacha oshirilishi mikrostrukturaga ma’lum darajada ta’sir ko‘rsatgan bo‘lsada, kuzatilayotgan yoriqlar va notekisliklar materialda hali to‘liq yaxlitlangan struktura shakllanmaganligini anglatadi.

K-3 namunaning SEM tasvirida (1-rasm) boshqa namunalar bilan taqqoslaganda ancha bir jinsli, zich va yaxlit mikrostrukturaviy morfologiya shakllanganligi kuzatiladi. Material yuzasida yirik darzlar, chuqur yoriqlar va sezilarli qatlamlararo ajralishlar deyarli ko‘zga tashlanmaydi. Polimer matritsasi uzluksiz faza ko‘rinishida namoyon bo‘lib, mikrostrukturaviy nuqsonlarning kamayganligi bilan tavsiflanadi. Bu holat ED-16 (80 g) va ЭПУ-71М (20 g) komponentlarining shu nisbatda qo‘llanilishi natijasida polimer tizimining strukturaviy yaxlitligi yaxshilanganligini ko‘rsatadi. Shu sababli ko‘rib chiqilgan tarkiblar ichida K-3 namuna eng bir jinsli sirt morfologiyasiga ega.

K-4 namunaning SEM tasvirida (1-rasm) mikrostrukturaviy bir xillikning buzilishi va alohida strukturaviy elementlarning notekis taqsimlanishi kuzatiladi. Material yuzasida yirik o‘lchamli bo‘lakchalar, g‘ovaksimon bo‘shliqlar hamda ayrim hududlarda fazalararo ajralishga o‘xshash nuqsonlar mavjud. Bunday morfologik ko‘rinish polimer komponentlarining o‘zaro taqsimlanishi va strukturaviy shakllanish jarayonida bir xillik yetarli darajada ta’minlanmaganligini anglatishi mumkin. ЭПУ-71М miqdorining 30 g gacha oshirilishi mikrostrukturada sezilarli o‘zgarishlarni yuzaga keltirgan, biroq K-3 namunasiga nisbatan yaxlitlikning pasayishi kuzatiladi.

K-5 namunaning SEM tasvirida (1-rasm) nisbatan qo‘pol, notekis va geterogen mikrostrukturaviy morfologiya shakllanganligi aniqlanadi. Material yuzasida turli o‘lchamdagi strukturaviy bo‘laklar, g‘ovaklar, mikroyoriqlar hamda ayrim joylarda fazalararo chegaralarning yaqqol namoyon bo‘lishi kuzatiladi. Ushbu nuqsonlar polimer matritsasining uzluksizligini buzuvchi omillar hisoblanadi. ЭПУ-71М komponentining 40 g gacha oshirilishi va ED-16 miqdorining 60 g gacha kamaytirilishi natijasida mikrostrukturaviy geterogenlik kuchaygan bo‘lishi mumkin. Shu jihatdan K-5 tarkibi K-3 namunasiga nisbatan kamroq maqbul strukturaviy holatga ega.

Tasvir tahlili natijalari (4-jadval, 2-rasm) vizual baholashni miqdoriy jihatdan tasdiqlaydi. Asosiy chegara qiymatida (1,5 standart og‘ish) ochiq nuqsonlar ulushi K-1, K-2, K-4 va K-5 namunalarda 2,0–3,0 % ni, K-3 namunada esa 0,1 % dan kamni tashkil etdi; yoriqlar uzunlik zichligi mos ravishda 18–42 mm/mm^2 va 1 mm/mm^2 dan kam bo‘ldi. Chegara koeffitsiyenti 1,0 dan 2,0 gacha o‘zgartirilganda absolyut qiymatlar o‘zgaradi (masalan, K-1 uchun 4,9 dan 0,7 % gacha), biroq K-3 barcha holatlarda eng kam nuqsonli namuna bo‘lib qoladi. Qismlar bo‘yicha standart og‘ishning o‘rtacha qiymatga yaqinligi nuqsonlarning sirt bo‘ylab notekis taqsimlanganligini ko‘rsatadi.

4-jadval

SEM tasvirga olish parametrlari va sirt nuqsonlarining miqdoriy ko‘rsatkichlari (o‘rtacha ± 16 ta qism bo‘yicha standart og‘ish)

Namuna	WD, mm	Piksel, mkm	Nuqson ulushi, %	k = 1,0…2,0 da, %	Yoriqlar zichligi, mm/mm^2
K-1	35,2	0,164	2,6 ± 1,9	4,9…0,7	42 ± 29
K-2	44,7	0,165	2,4 ± 2,4	7,2…0,8	30 ± 23
K-3	35,7	0,174	< 0,1	0,4…0,0	< 1
K-4	45,0	0,180	2,0 ± 2,6	4,5…0,7	18 ± 20
K-5	44,3	0,175	3,0 ± 3,3	6,9…1,0	34 ± 30

Olingan natijalarning cheklovlari quyidagilardan iborat: har bir tarkib bo‘yicha bitta SEM ko‘rish maydoni tahlil qilingan, shu sababli keltirilgan tarqoqlik namunalar orasidagi emas, balki bitta tasvir ichidagi hududiy farqlarni aks ettiradi; tasvirlar turli ishchi masofalarda (35–45 mm) olingan; ko‘ndalang kesim, element tahlili va korroziya sinovidan keyingi SEM tasvirlar ushbu ishda o‘rganilmagan. Keyingi tadqiqotlarda har bir tarkib uchun bir nechta namuna va maydonlar bo‘yicha tahlil, ko‘ndalang kesimda qalinlik va qoplama–metall chegarasini o‘rganish rejalashtirilgan.

4. Xulosa

1. ЭПУ-71М miqdori 0 dan 40 g gacha oshirilganda ED-16 asosidagi qoplamaning sirt morfologiyasi sezilarli o‘zgaradi: K-1 va K-2 tarkiblarda yoriqsimon nuqsonlar, K-4 va K-5 tarkiblarda strukturaviy geterogenlik va g‘ovaklar kuzatiladi, K-3 tarkibida (ED-16 80 g, ЭПУ-71М 20 g) esa sirt eng bir jinsli bo‘ladi.

2. Tasvir tahlili bo‘yicha ochiq sirt nuqsonlari ulushi K-3 namunada 0,1 % dan kam, qolgan namunalarda 2,0–3,0 % ni tashkil etadi; K-3 ning eng kam nuqsonli ekanligi chegara qiymatini tanlashga bog‘liq emas.

3. Ko‘rib chiqilgan tarkiblarning birortasi ham taklif etilgan sakkizta texnik talabning barchasiga javob bermaydi. K-3 tarkibi yettita talabga javob beradi va mikrostruktura hamda ko‘pchilik fizik-mexanik ko‘rsatkichlar bo‘yicha afzal, biroq sovuqqa chidamlilik bo‘yicha (−30 °C) talabga mos emas; sovuqqa chidamlilik ЭПУ-71М ulushi oshishi bilan yaxshilanadi, qattiqlik va yashovchanlik vaqti esa kamayadi.

4. K-3 tarkibini amaliyotga tavsiya etishdan oldin uning sovuqqa chidamliligini oshirish yoki ЭПУ-71М miqdori 20–30 g oralig‘idagi tarkiblarni qo‘shimcha o‘rganish, shuningdek natijalarni takroriy namunalar bo‘yicha tasdiqlash zarur.

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] Knudsen O.Ø., Forsgren A. Corrosion Control Through Organic Coatings. 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2017.

[2] Dong C.F., Xiao K., Sheng H., An Y.H., Li X.G. Characterizations of UV aging and atmospheric corrosion on epoxy coated 7A04 aluminum alloy // Materials Science Forum. – 2011. – Vol. 686. – P. 784–791.

[3] Zhang J., Zhu B., Wang H., Zhang C., Zeng W., Zhou Q. Degradation behaviors of two epoxy coatings after dry/wet-accelerated fog exposure of different solutions // Frontiers in Materials. – 2021. – Vol. 8. – Art. 730627.

[4] Anwar S., Li X. A review of high-quality epoxy resins for corrosion-resistant applications // J. Coat. Technol. Res. – 2024. – Vol. 21, №2. – P. 461–480.

[5] Чернин И.З., Смехов Ф.М., Жердев Ю.В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.

[6] Pascault J.-P., Williams R.J.J. (eds.) Epoxy Polymers: New Materials and Innovations. – Weinheim: Wiley-VCH, 2010.

[7] ГОСТ 15140-78. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии.

[8] ГОСТ 31993-2013 (ISO 2808:2007). Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия.

[9] ГОСТ 4765-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе.

[10] ГОСТ 6806-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе.

[11] ГОСТ 5233-2021. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по маятниковому прибору.

[12] ГОСТ 9.401-2018. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов.

[13] ГОСТ 27271-2014. Материалы лакокрасочные. Метод определения жизнеспособности многокомпонентных систем.

[14] ГОСТ Р 52020-2003. Материалы лакокрасочные водно-дисперсионные. Общие технические условия.

[15] Goldstein J.I., Newbury D.E., Michael J.R., Ritchie N.W.M., Scott J.H.J., Joy D.C. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. 4th ed. – New York: Springer, 2018. – 550 p.

[16] Reimer L. Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis. 2nd ed. – Berlin: Springer, 1998. – 527 p.

[17] Egerton R.F. Physical Principles of Electron Microscopy. 2nd ed. – Cham: Springer, 2016. – 196 p.

[18] Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. и др. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2 кн. – М.: Мир, 1984.

[19] ISO 22493:2014. Microbeam analysis – Scanning electron microscopy – Vocabulary.

[20] van der Walt S., Schönberger J.L., Nunez-Iglesias J., Boulogne F., Warner J.D., Yager N., Gouillart E., Yu T. scikit-image: image processing in Python // PeerJ. – 2014. – Vol. 2. – e453.

Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot/ Information about the authors

Ibragimov Botir/ Botir Ibragimov	Toshkent davlat transport universiteti “Avtomobilsozlik va ishlab chiqarish muhandisligi” kafedrasi dotsenti E-mail: bd.ibragimov@tstu.uz Tel.:+998977281183 https://orcid.org/0009-0003-5965-5933
Tursunov Nodirjon / Nodirjon Tursunov	Toshkent davlat transport universiteti “Materialshunoslik va mashinasozlik” kafedrasi mudiri, t.f.d., professor E-mail: Tel.:+998712990169 https://orcid.org/0009-0008-7910-3980

CONTENT / MUNDARIJA

Z. Ergasheva
Simulation model of railway terminal operation……248
M. Ubaydullaev, E. Ruklinskaya, U. Kosimov, N. Yodgorov, N. Khavasova
Secondary use of worn BelAZ tires for lining mining dump truck bodies to prevent adhesion of rock mass……253
M. Ubaydullaev, E. Ruklinskaya, U. Kosimov, N. Yodgorov, N. Khavasova
Improving the wear resistance of internal surfaces of slurry pumps in the flotation ……257
N. Tursunov, N. Kodirova, Z. Rakhmatova, M. Abdulazizov
Investigation of the mechanism and factors influencing the process of dephosphorization during the smelting of 20GL steel……262
K. Lesov, A. Ibadullaev, Kh. Samandarov
Increasing the stability of the track through the use of elastic undercarriage gaskets……266
K. Lesov, A. Ibadullaev, Kh. Samandarov
The oscillatory process of the under-rail base for under-rail gaskets with different elasticity ……270
B. Ibragimov, N. Tursunov
Scanning electron microscopy study of the microstructure of an ED-16 epoxy-based composite anti-corrosion coating……273