


UO‘K: 678.686:620.1

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.18

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

BINAR TO‘LDIRUVCHILAR ASOSIDA OLINGAN EPOKSID POLIMER KOMPOZIT QOPLAMALARNING TERMOFIZIK VA O‘TGA CHIDAMLILIK XOSSALARINI TADQIQ ETISH



**Rahmanqulov Aliqul
Amirkulovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası professori,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
rahmankulovalikul@gmail.com
Science ID: DQD-0326-0010



**Maxmanov Ergash
Binoqulovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
makhmanovergash@gmail.com
Science ID: FQD-0226-0007



**Xaydarov Tuymurod
Zoyirovich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail:
tuymurodxaydarov228@gmail.com
Science ID: FQD-0525-0054



**Ro‘ziyev Rufat
Toshboyevich**

Qarshi davlat texnika universiteti,
Tabiiy fanlar kafedrası dotsenti,
Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: rufatruziyev@gmail.com
Science ID: FQD-0626-0120

Annotatsiya. Ushbu maqolada binar to‘ldiruvchilar, mineral komponentlar va qavariqlanuvchi antipiren qo‘shimchalar asosida modifikatsiyalangan epoksid polimer kompozit qoplamalarning termofizik, termomexanik hamda olovbardoshlilik xossalari o‘rganilgan. Tadqiqot obyekti sifatida VEP-3 markali epoksid smolasi asosidagi issiqlikdan himoyalovchi kompozit qoplama tanlangan. Materialning termik barqarorligi differensial-termogravimetrik tahlil, massa yo‘qotish kinetikasi, termomexanik deformatsiya, kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti orqali baholangan. Natijalarga ko‘ra, VEP-3 namunasida 283,57 °C da endotermik effekt kuzatilgan bo‘lib, 21,07–801 °C oralig‘ida umumiy massa yo‘qotilishi 48,285 % ni tashkil etgan. Antipirenlar, vermikulit, uglerod nanotubalari va qavariqlanuvchi qo‘shimchalarning optimal nisbatda qo‘llanilishi kislorod indeksini 17–19 % dan 35–38 % gacha oshirgan hamda tutun hosil bo‘lishini kamaytirgan. Olingan natijalar qavariqlanuvchi epoksid kompozit qoplamalarning issiqlik va yong‘indan himoyalovchi samarali material sifatida qo‘llanishini asoslaydi.

Kalit so‘zlar: epoksid smola, polimer kompozit material, binar to‘ldiruvchi, termik barqarorlik, qavariqlanuvchi qoplama, antipiren, kislorod indeksi, termogravimetrik tahlil, tutun hosil qilish koeffitsienti.

Received: 11.05.2026

Accepted: 19.06.2026

Published: 29.06.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БИНАРНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

**Рахманкулов Алижул
Амиркулович**

Каршинский государственный
технический университет,
профессор, Карши, Узбекистан

**Махманов Эргаш
Бинокулович**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

**Хайдаров Туймурод
Зойирович**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

**Рузиев Руфат
Ташбоевич**

Каршинский государственный
технический университет,
доцент, Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье исследованы теплофизические, термомеханические и огнезащитные свойства эпоксидных полимерных композиционных покрытий, модифицированных бинарными наполнителями, минеральными компонентами и вспучивающимися антипиреновыми добавками. В качестве объекта исследования выбрано теплозащитное композиционное покрытие на основе эпоксидной смолы марки ВЭП-3. Термическая стабильность материала оценивалась методами дифференциально-термогравиметрического анализа, кинетики потери массы, термомеханической деформации, кислородного индекса и коэффициента дымообразования. Установлено, что для образца ВЭП-3 эндотермический эффект наблюдается при температуре 283,57 °С, а суммарная потеря массы в диапазоне 21,07–801 °С составляет 48,285 %. Оптимальное использование антипиренов, вермикулита, углеродных нанотрубок и вспучивающихся добавок позволило повысить кислородный индекс с 17–19 % до 35–38 % и снизить дымообразование. Полученные результаты подтверждают перспективность применения вспучивающихся эпоксидных покрытий в качестве эффективных тепло- и огнезащитных материалов.

Ключевые слова: эпоксидная смола, полимерный композиционный материал, бинарный наполнитель, термическая стабильность, вспучивающееся покрытие, антипирен, кислородный индекс, термогравиметрический анализ, коэффициент дымообразования.

INVESTIGATION OF THE THERMOPHYSICAL AND FIRE-RESISTANCE PROPERTIES OF EPOXY POLYMER COMPOSITE COATINGS BASED ON BINARY FILLERS

**Rahmankulov Alijul
Amirkulovich**

Karshi State Technical University,
Professor of the Department of
Natural Sciences, Karshi,
Uzbekistan

**Maxmanov Ergash
Binokulovich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Natural Sciences,
Karshi, Uzbekistan

**Khaydarov Tuymurod
Zoyirovich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Natural Sciences,
Karshi, Uzbekistan

**Ruziyev Rufat
Toshboevich**

Karshi State Technical University,
Associate Professor of the
Department of Natural Sciences,
Karshi, Uzbekistan

Abstract. This article investigates the thermophysical, thermomechanical, and fire-resistant properties of epoxy polymer composite coatings modified with binary fillers, mineral components, and intumescent flame-retardant additives. A heat-protective composite coating based on VEP-3 epoxy resin was selected as the research object. The thermal stability of the material was evaluated using differential thermogravimetric analysis, mass-loss kinetics, thermomechanical deformation, oxygen index, and smoke generation coefficient. The results showed that the VEP-3 sample exhibited an endothermic effect at 283.57 °C, while the total mass loss within the temperature range of 21.07–801 °C reached 48.285%. The optimal incorporation of flame retardants, vermiculite, carbon nanotubes, and intumescent additives increased the oxygen index from 17–19% to 35–38% and significantly reduced smoke generation. The obtained results confirm the potential of intumescent epoxy composite coatings as effective thermal and fire-protective materials.

Keywords: epoxy resin, polymer composite material, binary filler, thermal stability, intumescent coating, flame retardant, oxygen index, thermogravimetric analysis, smoke generation coefficient.

Kirish. Hozirgi davrda iqtisodiyot tarmoqlari, sanoat ishlab chiqarishi, energetika, mashinasozlik, qurilish, transport va texnologik infratuzilmalarning jadal rivojlanishi yuqori ekspluatatsion xossalarga ega bo'lgan yangi avlod polimer kompozit materiallarini yaratishni dolzarb ilmiy-texnik muammolardan biriga aylantirmoqda. Ayniqsa,

yuqori harorat, ochiq alanga, oksidlovchi muhit, mexanik yuklama va agressiv tashqi ta'sirlar sharoitida uzoq muddat ishlay oladigan termik barqaror, yong'inga chidamli va issiqlikdan himoyalovchi polimer qoplamalarga bo'lgan ehtiyoj ortib bormoqda. Shu nuqtayi nazardan, epoksid smolalari asosida olinadigan polimer kompozit

qoplamalar yuqori adgezion mustahkamlik, kimyoviy barqarorlik, texnologik qulaylik va modifikatsiyalash imkoniyatlarining kengligi bilan muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Polimer kompozit materiallarning funksional xossalarini maqsadli boshqarish, avvalo, ularning tarkibiga kiritiladigan to'ldiruvchilar, antipirenlar, plastifikatorlar, qotiruvchilar va qavariqlanuvchi kimyoviy qo'shimchalarning tabiati, dispersligi, massa ulushi hamda polimer matritsa bilan o'zaro ta'sirlashuv mexanizmlariga bog'liq. Bunda binar yoki ko'p komponentli to'ldiruvchilar tizimidan foydalanish kompozitning termik barqarorligini oshirish, issiqlik oqimini sekinlashtirish, karbonlangan himoya qatlami hosil qilish, kislorodning polimer matritsaga kirib borishini cheklash hamda yonish jarayonida ajraladigan tutun va uchuvchan mahsulotlar miqdorini kamaytirish imkonini beradi [1].

Polimer kompozit materiallarning termik xossalarini chuqur o'rganish uchun differensial-termogravimetrik tahlil muhim ilmiy usullardan biri hisoblanadi. Ushbu usul yordamida materialning haroratga bog'liq massa yo'qotishi, endotermik va ekzotermik effektlari, termik destruksiya bosqichlari hamda qoldiq massa miqdori aniqlanadi. Ayniqsa, yong'indan himoyalovchi qoplamalar uchun termogravimetrik tahlil natijalari materialning real ekspluatatsion sharoitdagi barqarorligini baholashda asosiy mezonlardan biri bo'lib xizmat qiladi.

Shuningdek, termomexanik tahlil polimer kompozit materiallarning harorat ta'sirida deformatsion holatini aniqlash, yumshash, shishish, qavariqlanish va yuqori elastik holatga o'tish jarayonlarini baholash imkonini beradi. Bu ko'rsatkichlar, ayniqsa, qoplama materialining konstruksion yuzaga mahkam yopishib turishi, issiqlik ta'sirida yorilmasligi, qatlamlanmasligi va himoya funksiyasini saqlab qolishi uchun muhimdir.

Shu bois mazkur tadqiqotda epoksid smolasi asosida olingan VEP-3 markali polimer kompozit qoplamaning termo-fizik, termomexanik va o'tga chidamlilik xossalari kompleks tarzda o'rganildi. Tadqiqotda kompozit tarkibidagi epoksid smola, tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin, ammosfos va qotiruvchi komponentlarning materialning termik barqarorligi,

kislorod indeksi hamda tutun hosil qilish xususiyatlariga ta'siri ilmiy jihatdan tahlil qilindi.

Adabiyotlar sharhi. Epoksid smolalari asosidagi intumessent polimer kompozit qoplamalar bo'yicha olib borilgan tadqiqotlarda asosiy e'tibor materialning termik barqarorligini oshirish, kislorod indeksini yuqorilatish, issiqlik ajralish tezligini kamaytirish hamda tutun hosil bo'lishini cheklashga qaratilgan. Kukushkin V.A. va hammualliflari intumessent epoksid qoplamalarda polimer bog'lovchi, gaz hosil qiluvchi komponent, karbon hosil qiluvchi modda va fosforli antipirenlarning o'zaro ta'siri natijasida past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qavariqlangan karbon qatlam shakllanishini asoslagan [2,3].

Nazrun T. va hammualliflari esa intumessent qoplamalarning formulasi, ishlab chiqarish usullari va yong'indan himoyalash mexanizmlarini tahlil qilib, bunday tizimlarda tarkibiy komponentlarning optimal nisbati hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatgan [4].

Wang Z.Z., Wang Y. va Hu Y. tomonidan epoksid smolasi tarkibiga ammoniy polifosfat va pentaeritritol asosidagi intumessent tizimlar kiritilishi o'rganilgan. Ularning natijalariga ko'ra, 20% ammoniy polifosfat qo'shilganda kompozitning kislorod indeksi 35 % gacha oshgan va material UL-94 V-0 darajasiga erishgan. Bu fosforli antipirenlarning epoksid matritsada karbonlanish jarayonini jadallashtirishini ko'rsatadi [5].

Lu va hammualliflari epoksid kompozitlarga ammoniy polifosfat hamda 2 % ko'p devorli uglerod nanotubalari kiritilganda kislorod indeksi 36,8 % ga yetishini aniqlagan. Shu bilan birga, maksimal issiqlik ajralish tezligi 83,5 %, tutun bilan bog'liq ko'rsatkichlar esa qariyb 50 % gacha kamaygan. Bu uglerod nanotubalari karbonlangan qatlamning zichligi va mexanik barqarorligini oshirishini ko'rsatadi [6,7].

Murtazaev K.M. va hammualliflari epoksid smolasi asosidagi qavariqlanuvchi yong'indan himoyalovchi kompozit qoplamalarda pentaeritritol, urotropin va fosforli antipirenlarning ta'sirini o'rgangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, pentaeritritol asosidagi tarkiblarda kislorod indeksi 30–34 % oralig'ida bo'lgan, fosfatli modifikatorlar kiritilganda esa bu ko'rsatkich 38 % gacha oshgan. Shuningdek, tutun hosil qilish koeffitsientining kamayishi fosforli komponentlarning karbonlangan

himoya qatlamini shakllantirishdagi rolini tasdiqlaydi [8].

Wang J. va hammualliflari alyuminiy–fosfor–imidazol komplekslari bilan modifikatsiyalangan epoksid tizimlarni tadqiq etib, kislorod indeksining 35% ga yetishini, UL-94 V-0 darajasi ta'minlanishini va umumiy tutun miqdori 38,7% ga kamayishini aniqlagan. Qu Q. va hammualliflari esa CNT@APP tipidagi intumessent tizimlarda uglerod nanotubalari va ammoniy polifosfatning sinergetik ta'siri hisobiga maksimal issiqlik ajralish tezligi 68,4%, umumiy tutun hosil bo'lishi esa 49,3% ga kamayishini ko'rsatgan [9, 10].

Umuman olganda, tahlil qilingan tadqiqotlar epoksid asosidagi intumessent polimer kompozitlarda fosforli antipirenlar, gaz hosil qiluvchi qo'shimchalar, mineral to'ldiruvchilar va uglerodli nanoto'ldiruvchilar birgalikda qo'llanganda yong'indan himoyalash samaradorligi sezilarli oshishini ko'rsatadi. Biroq VEP-3 markali epoksid qoplama tarkibida vermikulit, uglerod nanotubalari, ammosfos va urotropin kabi komponentlarning binar to'ldiruvchi tizim sifatidagi kompleks ta'siri yetarlicha o'rganilmagan. Shu sababli mazkur tadqiqotda VEP-3 kompozit qoplamasining termik barqarorligi, massa yo'qotish kinetikasi, kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti o'zaro bog'liqlikda tahlil qilinadi.

Tadqiqot materiallari va metodlari.

Tadqiqotda epoksid smolasi polimer bog'lovchi sifatida qo'llanildi. Kompozit tarkibini modifikatsiyalash maqsadida tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin, ammosfos va polietilenpoliamin tipidagi qotiruvchi komponentlardan foydalanildi. Ushbu komponentlar polimer matritsaga ma'lum massa nisbatlarida kiritilib, termik barqaror va qavariqlanuvchi himoya qatlami hosil qilishga yo'naltirilgan kompozit tizim shakllantirildi [11].

Kompozit namunalarining termik xossalari differensial-termogravimetrik tahlil orqali o'rganildi. Bunda harorat ortishi bilan namuna massasining kamayishi, endotermik va ekzotermik effektlar, destruksiya bosqichlari hamda qoldiq massa miqdori aniqlashtirildi. Tahlil jarayonida haroratni oshirish tezligi 5, 10 va 20 °C/min oralig'ida belgilangan bo'lib, polimer kompozit materiallar uchun termik tahlil 600–700 °C, termik barqaror materiallar uchun esa 850–950 °C

oralig'ida baholandi.

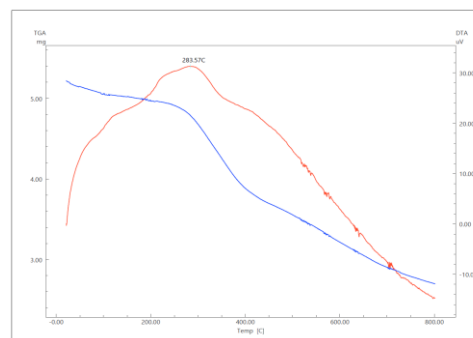
$$\vartheta_m = \Delta m / \Delta \tau$$

bu yerda: Δm — namunaning massa yo'qotishi, mg; $\Delta \tau$ — vaqt oralig'i, min.

Termomexanik tahlilda VEP-3 polimer kompozit namunasi yuzasiga 20 N doimiy kuch ta'sir ettirilib, harorat 350 °C gacha oshirib borildi. Ushbu usul yordamida namunaning haroratga bog'liq deformatsiyasi, shishish, yumshash va yuqori elastik holatga o'tish jarayonlari baholandi [12].

O'tga chidamlilik xossalarini baholashda kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti asosiy mezon sifatida olindi. Kislorod indeksi kompozitning yonishni davom ettirishi uchun zarur bo'lgan minimal kislorod miqdorini tavsiflaydi. Tutun hosil qilish koeffitsienti esa materialning termik parchalanish yoki yonish sharoitida ajratadigan optik zichlikka ega tutun mahsulotlari miqdorini ifodalaydi.

Natijalar va ularning muhokamasi. VEP-3 markali epoksid polimer kompozit qoplamaning differensial-termogravimetrik tahlili. Epoksid smolasi asosida olingan VEP-3 markali issiqlikdan himoyalovchi polimer kompozit qoplamaning termik barqarorligini baholash uchun differensial-termogravimetrik tahlil natijalari o'rganildi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, namunaning termik parchalanishi bir bosqichli oddiy jarayon emas, balki bir necha ketma-ket fizik-kimyoviy o'zgarishlar bilan tavsiflanadi. Ushbu jarayonlarda namlik va past molekulyar uchuvchan moddalarning ajralishi, polimer matritsaning yumshashi, epoksid zanjirlarning destruksiyasi, oksidlanish reaksiyalari hamda karbonlangan qoldiq qatlarning shakllanishi kuzatiladi.



1-rasm. Epoksid smolasi asosidagi VEP-3 markali issiqlikdan himoyalovchi polimer komponentli qoplama namunasini differensial-termogravimetrik tahlillari DTA; TGA.

DTA va termogravimetrik tahlil natijalari VEP-3 kompozit qoplamasining yuqori harorat ta'sirida bosqichma-bosqich strukturaviy o'zgarishlarga uchrashini ko'rsatdi. 283,57 °C da kuzatilgan endotermik effekt polimer bog'lovchi va qo'shimcha komponentlarning yumshashi, ichki bog'larning zaiflashishi hamda destruksiya jarayonining boshlanishi bilan izohlanadi. TG tahliliga ko'ra, 21,07–225,90 °C oralig'ida kichik massa yo'qotilishi namlik va uchuvchan moddalarning ajralishi bilan bog'liq bo'lsa, 225,90–512,46 °C oralig'i asosiy termik destruksiya sohasi hisoblanadi. Ushbu bosqichda polimer zanjirlar parchalanib, intumessent tizim faollashadi. 512,46–801 °C oralig'ida esa karbonlangan qoldiq qatlam va issiqlikka chidamli himoya fazasi shakllanadi. Umumiy massa yo'qotilishining 48,285% ni tashkil etishi kompozitning yuqori haroratda yetarli darajada qoldiq massa saqlab qolishini va termik barqarorligini tasdiqlaydi.

1-jadval

VEP-3 markali epoksid polimer kompozit qoplamaning haroratga bog'liq massa yo'qotish ko'rsatkichlari

Harorat oralig'i, °C	Massa yo'qotilishi, mg	Jarayonning ilmiy talqini
0–100	0,15	Namlik va past molekulyar uchuvchan komponentlarning ajralishi
100–200	0,23	Polimer matritsada dastlabki termik faollashuv
200–300	0,48	Endotermik o'zgarishlar va destruksiya boshlanishi
300–400	1,27	Epoksid zanjirlarning faol termik parchalanishi
400–500	1,62	Organik komponentlarning oksidlanishi va gaz ajralishi
500–600	1,95	Qavariqlanish va karbonlangan qatlam shakllanishi
600–700	2,26	Mineral to'ldiruvchilar ishtirokida qoldiq qatlam barqarorlashuvi
700–827	2,52	Yuqori haroratli termik parchalanishning yakuniy bosqichi

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, kompozit materialda massa yo'qotish harorat ortishi bilan bosqichma-bosqich jadallashadi. Biroq yuqori harorat oralig'ida mineral to'ldiruvchilar va antipiren qo'shimchalarning ishtiroki polimer matritsaning to'liq yonib ketishiga to'sqinlik qiladi. Bu esa VEP-3 qoplamasining issiqlikdan himoyalovchi material sifatidagi amaliy ahamiyatini oshiradi.

Massa yo'qotish kinetikasini baholash kom-

pozitning qaysi harorat oralig'ida eng faol destruksiyaga uchrashini aniqlash imkonini beradi. VEP-3 namunasida eng muhim o'zgarishlar 225,90–512,46 °C oralig'ida sodir bo'lgani uchun aynan ushbu soha materialning termik barqarorligini baholashda asosiy mezon sifatida qaraladi.

Termomexanik xossalarning tahlili.

Epoksid smolasi asosidagi VEP-3 polimer kompozit qoplamaning termomexanik xossalari 20 N doimiy kuch ta'sirida, haroratni 350 °C gacha oshirish sharoitida o'rganilgan. Tahlil natijalari kompozit materialning haroratga bog'liq deformatsiyasi bir necha xarakterli bosqichdan iborat ekanligini ko'rsatadi.

2-jadval

VEP-3 kompozitining haroratga bog'liq deformatsion o'zgarishlari

№	Harorat oralig'i, °C	Deformatsiya oralig'i, mm	Jarayon tavsifi
1	0–50	0 dan –1 gacha	Dastlabki barqaror holat
2	50–100	–1 dan 2 gacha	Termik kengayish boshlanishi
3	100–150	2 dan –10 gacha	Yumshash va ichki strukturaviy siljish
4	150–200	–10 dan –20 gacha	Shishish va deformatsion faollashuv
5	200–250	–20 dan –31 gacha	Qavariqlanishga tayyorgarlik bosqichi
6	250–290	–31 dan 0 gacha	Ichki bosim va hajmiy o'zgarishlarning ortishi
7	290–350	0 dan 400 gacha	Yuqori elastik-yumshash va faol qavariqlanish holati

Dastlabki 0–50 °C oralig'ida namuna deformatsiyasi deyarli sezilsiz bo'lib, 0 mm dan –1 mm gacha o'zgaradi. Bu holat materialning past haroratlarda qattiq, nisbatan barqaror va elastik deformatsiyaga kam moyil ekanligini bildiradi. 50–100 °C oralig'ida esa deformatsiya –1 mm dan 2 mm gacha o'zgaradi. Bu bosqichda polimer matritsada ichki kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi va dastlabki termik kengayish jarayonlari yuzaga keladi.

100–250 °C oralig'ida deformatsiyaning manfiy qiymatlar tomonga o'zgarishi material ichida shishish, qavariqlanishga tayyorgarlik, bog'lovchi fazaning yumshashi va ichki strukturaviy qayta tashkil topish jarayonlari bilan izohlanadi. Ayniqsa, 200–250 °C oralig'ida deformatsiya –20 mm dan –31 mm gacha yetishi kompozitda termik ta'sir ostida sezilarli ichki hajmiy o'zgarishlar sodir bo'layotganini ko'rsatadi.

290–350 °C oralig'ida deformatsiyaning kes-

kin ortishi va 0 mm dan 400 mm gacha yetishi VEP-3 kompozitining yuqori elastik-yumshash holatga o'tishi hamda qavariqlanuvchi tizimning faol ishga tushishi bilan bog'liq. Bu holat yong'indan himoyalovchi qoplamalar uchun muhim hisoblanadi, chunki aynan shu bosqichda material issiqlik oqimini to'suvchi ko'piksimon himoya qatlamini hosil qilishi mumkin.

Termomexanik tahlil natijalari VEP-3 polimer kompozit qoplamaning yuqori harorat ta'sirida oddiy yumshab oqib ketuvchi material emasligini, balki muayyan harorat oralig'ida qavariqlanib, issiqlikdan himoyalovchi qatlam hosil qilish xususiyatiga ega ekanligini ko'rsatadi. Bu xususiyat epoksid smolasi, tiokol kauchuk, mineral to'ldiruvchilar va gaz hosil qiluvchi qo'shimchalarning o'zaro sinergetik ta'siri bilan bog'liq.

Kislorod indeksining o'zgarishi. Polimer kompozit materiallarning o'tga chidamlilik xossalarini baholashda kislorod indeksi muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Kislorod indeksi materialning yonishni davom ettirishi uchun zarur bo'lgan minimal kislorod konsentratsiyasini bildiradi. Ushbu ko'rsatkich qancha yuqori bo'lsa, materialning alanganishga moyilligi shuncha past bo'ladi.

Tajriba natijalariga ko'ra, sof epoksid smolaning kislorod indeksi 17–19% atrofida bo'lgan. Bu qiymat epoksid smolaning o'zi alanga ta'sirida yonishga moyil material ekanligini ko'rsatadi. Biroq kompozit tarkibiga tiokol kauchuk, addukt ammosfos, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin va qotiruvchi komponentlar kiritilganda kislorod indeksi 35–38 % gacha oshgan. Bu esa modifikatsiyalangan epoksid kompozitning alanganishga chidamliligi sezilarli darajada ortganini ko'rsatadi.

3-jadval

Kompozit tarkibining kislorod indeksiga ta'siri

Tarkib komponentlari	Massa ulushi, %	Kislorod indeksi, %
Epoksid smola	—	17–19
Epoksid smola	30	35
Tiokol kauchuk	5,0	
Addukt ammosfos	10	
Vermikulit	30	
Uglerod nanotubalari	5	
Urotropin	15,5	
PEPA	4,5	
Epoksid smola	32	38
Tiokol kauchuk	5,0	
Addukt ammosfos	12	
Vermikulit	41,5	
Uglerod nanotubalari	5	
PEPA	4,5	

Jadvaldan ko'rinadiki, vermikulit va ammosfos miqdorining oshirilishi kislorod indeksining yuqorilashishiga ijobiy ta'sir ko'rsatgan. Buning asosiy sababi shundaki, vermikulit yuqori haroratda issiqlik oqimini sekinlashtiruvchi mineral to'siq vazifasini bajaradi, ammosfos esa fosfor saqlovchi antipiren sifatida polimerning yonish jarayonida karbonlangan qatlam hosil bo'lishini jadallashtiradi. Uglerod nanotubalari esa qoldiq qatlamning mexanik yaxlitligi va issiqlikka chidamliligini oshirishga xizmat qiladi.

Tutun hosil qilish koeffitsienti tahlili.

Yong'indan himoyalovchi polimer kompozit qoplamalar uchun faqat alanganishga chidamlilik emas, balki tutun hosil qilish xususiyati ham muhim ko'rsatkich hisoblanadi. Chunki polimer materiallar yonishi yoki termik parchalanishi vaqtida ajraladigan tutun inson salomatligi, ko'rish masofasi, evakuatsiya xavfsizligi va ekologik xavfsizlik nuqtayi nazaridan katta xavf tug'diradi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, sof epoksid smola uchun tutun hosil qilish koeffitsienti 425–430 m²/kg atrofida bo'lgan. Kompozit tarkibiga kaolin, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin va ammosfos kabi qo'shimchalar kiritilganda bu ko'rsatkich 320–362 m²/kg gacha kamaygan. Ayniqsa, ammosfos saqlovchi tarkibda tutun hosil qilish koeffitsientining 320–360 m²/kg oralig'ida bo'lishi fosforli antipirenlarning tutun kamaytiruvchi samaradorligini tasdiqlaydi.

4-jadval

Epoksid polimer kompozit qoplamaning kislorod indeksi va tutun hosil qilish koeffitsienti

Tarkib	Qavariqlanish harorati, °C	Kislorod indeksi, %	Tutun hosil qilish koeffitsienti, m ² /kg
Epoksid smola	—	17–18	425–430
Epoksid smola + tiokol kauchuk + kaolin + vermikulit + UNT + urotropin	250–350	35	350–362
Epoksid smola + tiokol kauchuk + kaolin + vermikulit + UNT + ammosfos	350–450	38	320–360

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, epoksid smolasi asosidagi qavariqlanuvchi kompozit qoplamalarda fosfor saqlovchi antipirenlarning qo'llanilishi tutun hosil qilish jarayonini pasaytiradi. Bu holat yonish jarayonida fosforli birikmalarning polimer matritsa bilan o'zaro ta'sirlashib, karbonlangan himoya qatlamini

shakllantirishi va uchuvchan yonuvchan mahsulotlarning ajralishini cheklashi bilan izohlanadi.

Qavariqlanuvchi himoya qatlaminig hosil bo'lish mexanizmi. VEP-3 markali epoksid polimer kompozit qoplamaning yong'indan himoyalash samaradorligi qavariqlanuvchi himoya qatlaminig hosil bo'lishi bilan bevosita bog'liq. Harorat ta'sirida kompozit tarkibidagi gaz hosil qiluvchi komponentlar parchalanib, uchuvchan mahsulotlar ajratadi. Shu bilan bir vaqtda antipirenlar polimer bog'lovchining karbonlanish jarayonini tezlashtiradi, mineral to'ldiruvchilar esa hosil bo'lgan qatlamning issiqlikka chidamliligini va mexanik barqarorligini oshiradi.

Natijada qoplama yuzasida ko'piksimon, g'ovak, past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega karbonlangan qatlam hosil bo'ladi. Ushbu qatlam issiqlik oqimining asosiy materialga o'tishini sekinlashtiradi, kislorodning polimer matritsaga kirib borishini cheklaydi, uchuvchan yonuvchan mahsulotlarning ajralishini kamaytiradi, alanga bilan bevosita kontaktni susaytiradi hamda qoplamaning o'tga chidamlilik muddatini oshiradi.

Demak, VEP-3 kompozitining yuqori samaradorligi alohida komponentning emas, balki

epoksid smola, tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, urotropin va ammos fos kabi komponentlarning kompleks sinergetik ta'siri bilan belgilanadi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida epoksid smolasi asosidagi VEP-3 markali polimer kompozit qoplamaning yuqori termik barqarorlik, qavariqlanuvchi himoya qatlam hosil qilish va o'tga chidamlilik xususiyatlariga ega ekanligi aniqlandi. Differensial-termogravimetrik tahlil kompozitning termik parchalanishi bir necha bosqichda kechishini ko'rsatib, yuqori haroratlarda karbonlangan barqaror himoya qatlam hosil bo'lishi tasdiqlandi. Termomexanik tahlil esa harorat ortishi bilan materialning yumshashi va qavariqlanuvchi struktura shakllanishini ko'rsatdi. Tarkibga tiokol kauchuk, vermikulit, uglerod nanotubalari, ammos fos, urotropin va PEPA kabi qo'shimchalar kiritilishi kislorod indeksini 35–38 % gacha oshirib, tutun hosil bo'lishini kamaytirdi. Natijalar modifikatsiyalangan VEP-3 kompozit qoplamaning issiqlik va yong'indan himoyalovchi samarali material sifatida qo'llash imkoniyatini ilmiy jihatdan asoslaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Ruziev, R., Nurkulov, F., Rakhmankulov, A., & Djalilov, A. (2023). Investigation of physico-chemical properties of heat-protective polymer materials. *International Scientific Journal Science and Innovation, Series A*, 2(9), 176–179.
- [2] Кукушкин, В. А., Субботин, В. Е., Щепетова, А. Ю., & Яшин, Н. В. (2023). Огнезащитная эффективность и адгезионная прочность терморасширяющихся композиционных материалов на основе эпоксидных смол, окисленного графита и армирующих наполнителей. *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии*, 11.
- [3] Кукушкина, Ю. В., Зюкин, С. В., & Горбунова, И. Ю. (2011). Анализ кинетических моделей процесса отверждения композиции на основе ЭД-20 и диаминодифенилсульфона. *Успехи в химии и химической технологии*, 25(3), 119.
- [4] Рахмонкулов, А. А., Рўзиев, Р. Т., & Хайдаров, Т. З. (2022). Влияние электропроводящих наполнителей на структурные параметры и теплопроводность поливинилиденфторида. *Universum: технические науки*, 12(105), 5–10.
- [5] Shao, Z.-B., Zhang, J., Jian, R.-K., Sun, C.-C., Li, X.-L., & Wang, D.-Y. (2021). A strategy to construct multifunctional ammonium polyphosphate for epoxy resin with simultaneously high fire safety and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 149, 106529. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106529>
- [6] Yan, H., Wei, J., Yin, B., & Yang, M. (2015). Effect of the surface modification of ammonium polyphosphate on the structure and property of melamine–formaldehyde resin microencapsulated ammonium polyphosphate and polypropylene flame retardant composites. *Polymer Bulletin*, 72(10), 2723–2742. <https://doi.org/10.1007/s00289-015-1432-2>

- [7] Khaydarov, T. Z., Rahmankulov, A. A., Karimov, M. U., & Djalilov, A. T. (2023). Research of thermal analysis of polyethylene composites based on carbon nanotubes. *American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture*, 1(8), 69–72. <https://grnjournal.us/index.php/AJEMA/article/view/1094>
- [8] Муртазаев, К., Мухиддинов, Д., & Нуркулов, Ф. (2022). Наполненные эпоксидные композиты с повышенной огнестойкостью вспученные покрытия. *Аниқ фанлар серияси*, 3(133/1), 1–8. <https://doi.org/10.59251/2181-1296.v1.1312.116>
- [9] Wang, J., Wang, J., Yang, S., Xu, R., Ding, G., Liu, W., Sun, J., Chen, K., Duan, L., Zhou, G., Liu, X., & Huo, S. (2025). Metal-phosphorus-imidazole synergistic complexes for enhancing latency and fire safety in single-component epoxy resins. *Polymer Degradation and Stability*, 239, 111383. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2025.111383>
- [10] Khaydarov, T., & Qalandarov, F. (2025). Enhancing thermal stability of polyethylene composites through organo-inorganic modification. *Universum: Chemistry*, 137(11). <https://doi.org/10.32743/UniChem.2025.137.11.21041>
- [11] Рўзиев, Р. Т., Рахмонкулов, А. А., Нуркулов, Ф. Н., & Джалилов, А. Т. (2023). Исследование термических свойств высоконаполненных акриловых композиций. *Universum: технические науки*, 1(103), 17–19.
- [12] Рузиев, Р. Т., Рахмонкулов, А. А., Нуркулов, Ф. Н., & Джалилов, А. Т. (2023). Акрил сополимерлари асосидаги ВАМЖ-1 маркали иссиқликдан ҳимояловчи полимер композитли қопламанинг дериватаграмма ва СЭМ анализ натижаларини таҳлил қилиш. *ҚарДУ хабарлари*, 5/1(60), 7–11.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Rahmanqulov, A. A., Maxmanov, E. B., Xaydarov, T. Z., & Ro'ziyev, R. T. (2026). Binar to'ldiruvchilar asosida olingan epoksid polimer kompozit qoplamalarning termofizik va o'tga chidamlilik xossalari tadqiq etish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar / Digital Technologies in Industry*, 4(2). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.18>
