



REZINA GRANULALAR VA ALYUMINIY OKSIDI ASOSIDA OLINADIGAN KOMPOZIT MATERIALLARNING O‘ZIGA XOS XUSUSIYATLARI

Maxmonov Uktam Ashirovich,

*Qarshi davlat texnika universiteti, “Metrologiya va materialshunoslik
muhandisligi” kafedrasi dotsenti.*

Annotatsiya. Ushbu maqolada mahalliy texnogen chiqindilar, ya’ni yaroqsiz avtomobil shinalarini qayta ishlash asosida olinadigan rezina granulalar va alyuminiy oksidi asosida olinadigan elasto-keramik kompozit materiallarning o‘ziga xos xususiyatlari haqida fikr yuritilgan. Texnogen chiqindilarni qayta ishlashning dolzarbligi va atrof-muhit muammolarini hal qilishga qaratilgan ushbu tadqiqot, polimer matritsa (rezina) va anorganik to‘ldiruvchi (alyuminiy oksidi) o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir jarayonlarini ko‘rib chiqadi.

Kalit so'zlar: elasto-keramik kompozit, kompozit material, shina chiqindisi, alyuminiy oksidi, adgeziya, polimer matritsa, rezina granula, modifikator.

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности эласто-керамических композиционных материалов, получаемых на основе местных техногенных отходов, а именно резиновых гранул, полученных при переработке изношенных автомобильных шин, и оксида алюминия. Исследование, направленное на решение экологических проблем и подчеркивающее актуальность переработки техногенных отходов, рассматривает процессы взаимодействия между полимерной матрицей (резиной) и неорганическим наполнителем (оксидом алюминия).



Ключевые слова: эласто-керамический композит, композиционный материал, отходы шин, оксид алюминия, адгезия, полимерная матрица, резиновая гранула, модификатор.

Abstract. This article discusses the specific properties of elasto-ceramic composite materials obtained from local technogenic waste, namely rubber granules produced through the recycling of worn automobile tires and aluminum oxide. This study, aimed at addressing environmental problems and emphasizing the relevance of technogenic waste recycling, examines the interaction processes between the polymer matrix (rubber) and the inorganic filler (aluminum oxide).

Keywords: elasto-ceramic composite, composite material, tire waste, aluminum oxide, adhesion, polymer matrix, rubber granule, modifier.

Kirish. Ma'lumki, O'zbekiston sanoati rivojlanib boratyotgan mamlakat hisoblanadi. Yildan-yilga sanoat korxonolari soni oshib bormoqda. Internet manbalaridan olingan ma'lumotlarga ko'ra, hozirgi kunda mamlakatimizda 2024 yilda faol sanoat korxonolari soni 8 344 tani tashkil etadi. Shundan, mashinasozlik korxonolari 7.1% ni, metall ishlab chiqarish korxonolari soni 6.2% (517 ta)ni, neft-gaz kompleksidagi korxonalar soni esa 2,997 % (248 ta) ni tashkil etadi.

Zamonaviy sanoatning jadal rivojlanishi va avtomobillashtirish darajasining ortishi natijasida yaroqsiz avtomobil shinalari miqdorining geometrik progressiya bilan ko'payishi global ekologik va iqtisodiy muammolardan biriga aylandi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, har yili dunyoda 1,5 milliarddan ortiq shinalar yaroqsiz holga keladi va ularning faqatgina kichik qismi samarali utilizatsiya qilinadi. Yaroqsiz avtomobil shinalari tarkibidagi kauchuk, uglerod va turli modifikatorlar uzoq vaqt davomida tabiiy degradatsiyaga uchramaydi, bu esa poligonlarning to'lib ketishiga va toksik moddalarning atrof-muhitga ajralib chiqishiga sabab bo'ladi.

Hozirgi kunda yaroqsiz avtomobil shinalariini utilizatsiya qilishning piroliz, termik yo'qotish va mexanik maydalash kabi usullari mavjud. Biroq, piroliz mahsulotlarining past sifati va termik yo'qotish natijasida ajraladigan zararli gazlar



ushbu usullarning ekologik talablarga mos emasligini ko'rsatadi. Mexanik maydalash natijasida olinadigan rezina kukunlari esa past adgezion xususiyatlari tufayli ko'p hollarda ikkilamchi xomashyo sifatida cheklangan miqdorda qo'llaniladi. Shu bois, yaroqsiz avtomobil shinalari tarkibidagi elastometrik xususiyatlarni saqlab qolgan holda, ularni yuqori samarali kompozit materiallar tarkibiga kiritish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi.

So'nggi yillarda polimer matritsali kompozit materiallar (PMK) texnologiyasida "yumshoq matritsa – qattiq to'ldiruvchi" tizimlari katta qiziqish uyg'otmoqda. Alyuminiy oksidi (Al_2O_3) o'zining yuqori qattiqligi, termik barqarorligi va kimyoviy inertligi bilan elastomerlarni mustahkamlovchi ideal to'ldiruvchi hisoblanadi. Rezina kukuni va Al_2O_3 asosida olinadigan elasto-keramik kompozitlar elastomerlarning zarbga chidamliligi va keramik materiallarning yuqori mexanik mustahkamligini o'zida mujassam etadi.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi yaroqsiz shinalar va alyuminiy oksidi tizimida gibrid elasto-keramik kompozitlar hosil bo'lishining fundamental nazariy mexanizmlarini o'rganishdir. Ikki xil tabiatli faza – gidrofob polimer matritsa va gidrofil mineral to'ldiruvchi o'rtasidagi bog'lanishlarni tahlil qilish, materialning mikro-tuzilmasi va makro-xossalari o'rtasidagi korrelyatsiyani o'rnatish imkonini beradi. Maqolada komponentlarning o'zaro ta'sirida adgeziya, diffuziya va kovalent bog'lanishlarning roli nazariy modellar yordamida asoslab beriladi.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Ushbu yo'nalishdagi xalqaro va mahalliy tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, polimer kompozitlarni to'ldiruvchilar bilan mustahkamlash mexanizmlari bo'yicha keng ko'lamli ishlar olib borilgan. J. Bi va boshqalarning tadqiqotlarida ta'kidlanishicha, rezina kukunini polimer matritsaga kiritish materialning elastikligini oshirsa-da, komponentlar o'rtasidagi past adgeziya tufayli mexanik mustahkamlik pasayishi kuzatiladi. Ushbu muammoni hal qilishda alyuminiy oksidi (Al_2O_3) kabi qattiq zarrachalardan



foydalanish materialning modulini va qattiqligini oshirishi ilmiy isbotlangan (Smith et al., 2022).

Rossiyalik ilmiy-tadqiqotchilar M.S.Boldin, N.V.Saxarov va boshqalarning ishlarida elektr-impulsli plazmali qizdirib-zichlash usuli bilan olingan alyuminiy oksidi asosidagi keramikalarning strukturaviy parametrlari va fazaviy tarkibi ularning fizik-mexanik hamda tribologik xossalariga ta'siri o'rganilgan. β -SiC tolalarini kiritish hisobiga kompozitsion strukturaning shakllanishi Al_2O_3 keramikasining yeyilishga chidamliligini oshirish imkonini berishi aniqlangan [2].

Kompozit materiallar materialshunosligida Jozsef Karger-Kocsis¹ tomonidan ilgari surilgan gibrid tizimlarning sinergetik effekti nazariyasi va Avraam I. Isayev²ning polimer zanjirlarini faollashtirish modellari ushbu tadqiqot uchun fundamental asos bo'lib xizmat qiladi.

Jozsef Karger-Kocsisning ishlarida gibrid to'ldiruvchilarning (masalan, rezina + keramika) sinergetik effekti, ya'ni ikki komponent birgalikda kutilganidan ham yuqori natija berishi tushuntirilgan.

Rossiyalik tadqiqotchi M.Maxmudzodaning ilmiy-tadqiqot ishlarida alyuminiy asosidagi g'ovakdor kompozitsion materiallar tadqiq qilingan. Ularning bir necha turlari va olinish usullari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, ularning tarkibiy (strukturaviy) farqlariga e'tibor qaratilgan va qo'llanilish sohalari batafsil bayon etilgan [3].

Mahalliy olimlardan akademik S.Sh.Rashidova polimerlar kimyosi va fizikasi bo'yicha katta maktab yaratganlar. Nanokompozitlar bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari bilan shug'ullanganlar. Misol uchun ularning ishlarida selluloza zarralari bilan to'ldirilgan kompozit materiallarni turli sohalarda qo'llash, kompozitlar va

¹ József Karger-Kocsis — Vengriyalik ilmiy tadqiqotchi va professor. U asosan kompozit materiallar, polimerlar va tolali polimer kompozitlar sohasi bo'yicha ishlagan.

² Avraam I. Isayev — polimer muhandisligi va reologiya sohasidagi xalqaro miqyosdagi yetakchi tadqiqotchilardan biri.



to'ldiruvchilarning tuzilishi va morfologiyasi, infraqizil spektroskopiyasi, rentgen nurlanishi, termal tahlili, kuch xossalari tadqiq qilingan [4].

O'zbekiston materialshunoslik maktabining yirik vakili, texnika fanlari doktori va professor N.M.Negmatov rahbarligida sanoat korxonalarining kul, shlak, shlam va polimer chiqindilarini (shu jumladan yaroqsiz shinalarni) ikkilamchi xomashyo sifatida ishlatish, ishqalanishga chidamli va yeyilishni kamaytiradigan (antifriksion) materiallar yaratish, polimer matritsalarini mineral va organik to'ldiruvchilar bilan modifikatsiyalash orqali ularning fizik-mexanik xossalarini yaxshilash kabi yo'nalishlarda keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilgan.

Biroq, mahalliy texnogen alyuminiy oksidi chiqindilarining o'ziga xos kimyoviy tarkibini hisobga olgan holda, elasto-keramik tizimlarning shakllanish mexanizmlari alohida o'rganishni talab etadi.

AQSh va Xitoy olimlari Lu Sun, Wenqing ZhongI, Ziwei Xiao, Hui Qi tomonidan nashr etilgan ilmiy ishlarda ma'lum qilinishicha, tadqiqot ishlari nano-AAT (American Advanced Technology) bilan modifikatsiyalangan asfaltga asoslangan bo'lib, unga CRP (rezina maydalangan kukuni), ya'ni rezina chiqindisi, AAT ning AAT ishlashiga ta'sirini o'rganish uchun kiritilgan. CRP qo'shilgandan keyin AAT bilan modifikatsiyalangan asfaltning ishlashidagi o'zgarishlar tahlil qilingan. SBS modifikatori o'rniga chiqindi shinaning xom ashyosi bilan rezina kukuni asfaltga qo'shilgan. Kompozit-modifikatsiyalangan asfaltning ishlashini o'rganish uchun fizik tahlil usullari, reologik ishlash sinovlari, yupqa plyonkali pech sinovlari va Fure transformatsiyali infraqizil spektroskopiya sinovlari qo'llanilgani ta'kidlab o'tilgan. Natijalar A3C3-modifikatsiyalangan asfalt SBS-modifikatsiyalangan asfaltga qaraganda yaxshiroq qattqlik, yuqori harorat (HT) ko'rsatkichi va qarishga chidamlilikka ega bo'lganligini, ammo u past haroratlarda (LT) kamroq samaraga egaligini ko'rsatganligi aytib o'tilgan [5].

Muhokama va natijalar. Dispers zarrachalar bilan to'ldirilgan polimer — bu polimer dispers muhit va qattiq dispers faza zarrachalaridan tashkil topgan ikki fazali



kolloid tizimdir. Bunday tizimlar uchun umumiy qoida amal qiladi: har qanday ikki fazali tizimning mexanik xossalari asosan dispers muhitning xossalari bilan belgilanadi, dispers fazaning ta'siri esa kamroq bo'lib, u dispers muhit orqali namoyon bo'ladi. Shuning uchun ko'p komponentli tizimlarning xossalari tarkibga chiziqli bog'liq bo'lmaydi, balki ancha murakkab tarzda o'zgaradi [1].

Dispers zarrachalar bilan to'ldirish orqali oldindan belgilangan xossalarga ega polimer materiallar yaratish uchun, to'ldiruvchilarning (dispers fazaning) polimer (dispers muhit) xossalariga ta'sir qilish qonuniyatlarini bilish zarur. Faqat shu holdagina polimer xossalarini ilmiy asosda boshqarish mumkin bo'ladi. Ammo, afsuski, bu ta'sir hali to'liq o'rganilmagan, tushuntirib berilmagan ko'plab eksperimental faktlar mavjud, ko'plab parametrlarning ta'siri oxirigacha aniqlanmagan [1].

Yaroqsiz avtomobil shinalari va boshqa rezina mahsulotlarini qayta ishlash orqali olingan mahsulotlar (rezina granulalari va rezina kukunlari) va alyuminiy oksidi (Al_2O_3) asosida o'ziga xos xususiyatlarga, ya'ni mustahkamlikka, elastiklik xossasiga, termik chidamlilikka ega kompozit materiallarni olish mumkin.

Alyuminiy va uning asosidagi qotishmalar kompozit materiallar ishlab chiqarishda eng ko'p qo'llaniladi. Alyuminiy kompozitlar olishda ham suyuq fazali, ham qattiq fazali usullarda ishlatiladi.

Qattiq fazali usullar bilan kompozitsion materiallar tayyorlashda deformatsiyalanadigan alyuminiy qotishmalari keng qo'llanadi. Ularning afzalliklari - kam zichlik, yuqori mexanik xossalar darajasi va yuqori texnologik plastiklikka egaligidir [2].

Suyuqlik fazasi orqali (quyish, singdirish usullari bilan) kompozitlar olishda quyma alyuminiy qotishmalari qo'llaniladi. Bu qotishmalar alyuminiydan tashqari oz miqdorda Mg, Si, Mn, Cu ni ham o'z ichiga oladi va quyidagi xususiyatlari bilan ajralib turadi: yuqori suyuq oqimlilik, kichik chiziqli qisqarish, yuqori haroratlarda yoriqlar hosil bo'lishiga past moyillik.



Alyuminiy va uning asosidagi qotishmalar kompozit materiallar ishlab chiqarishda eng ko'p qo'llaniladi. Alyuminiy kompozit materiallarni olishda ham suyuq fazali, ham qattiq fazali usullarda ishlatiladi.

Alyuminiy oksidi (Al_2O_3) qattiq keramik faza sifatida va rezina kukuni elastik to'ldiruvchi sifatida yuqori qattqlikni ta'minlaydi hamda mexanik energiyani tarqatishning o'ziga xos birikmasini ifodalaydi. Nazariy tahlillar shuni ko'rsatadiki, alyuminiy oksidining fazaviy tarkibi shinalarni qayta ishlash mahsulotlari bilan fazalararo bog'lanish hosil qilishda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Qattiq dispers zarrachalarni polimer tarkibiga kiritish polimerlarning makromolekulalar konformatsiyasi³ni o'zgartirish va ularning bir-biriga nisbatan siljish qobiliyatini kamaytiradi. Natijada ularning deformatsiyaga qarshiligi ortadi, ammo chegaraviy deformatsiya miqdori kamayadi [1].

Kompozitsion materiallarni qattiq fazali usullar bilan tayyorlashda keng qo'llaniladigan materiallar - bu deformatsiyalanadigan alyuminiy qotishmalaridir. Ularning afzalliklari: past zichlik, yuqori mexanik xususiyatlar va yuqori texnologik plastiklikdir.

Kompozitlarni suyuq fazali usullar (quyish, shimdirish) orqali olishda esa quyma alyuminiy qotishmalaridan foydalaniladi. Bu qotishmalar tarkibida alyuminiydan tashqari oz miqdorda Mg, Si, Mn, Cu mavjud bo'ladi va ular yuqori suyuqlik oqimchanligi, kichik chiziqli qisqarish hamda yuqori haroratlarda yorilish ehtimolining pastligi bilan ajralib turadi.

Kompozitsion materiallar uchun polimer matritsa tayyorlanadigan buyumning qanday ekspluatatsiya sharoitlarida ishlashini e'tiborga olgan holda tanlanadi. Matritsa materiali kompozitning xossalariga, ya'ni mustahkamligi, issiqlik va namlikka chidamliligi, agressiv muhitlar ta'siriga bardoshliligiga sezilarli darajada ta'sir qiladi, shuningdek buyumni olish usuliga ham o'z ta'sirini o'tkazadi.

³ Molekula konformatsiyasi (lotincha *conformatio* - "shakl, tuzilish, joylashuv") — bu molekuladagi atomlarning ma'lum konfiguratsiya doirasida fazodagi joylashuvi bo'lib, u bir yoki bir nechta oddiy sigma bog'lar atrofida aylanish natijasida yuzaga keladi.



Polimerlar matritsa sifatida yoki sof holda (kukunlar, granularlar, listlar, plyonkalar shaklida), yoki bog'lovchi modda ko'rinishida qo'llaniladi [2].

Matritsaning vazifasi - materialga shakl berish va uni yaxlit (monolit) holga keltirishdir. U mustahkamlovchi to'ldiruvchini bir butun qilib birlashtirib, kompozitning yuk ko'tarish qobiliyatini ta'minlashda ishtirok etadi. Matritsa kuchlanishlarni tolalarga uzatadi va tashqi yuklamalarni - cho'zilish, siqilish, egilish va zarbani qabul qilish imkonini beradi. Shuningdek, u to'ldiruvchini mexanik shikastlanish va oksidlanishdan himoya qiladi [4].

Matritsa tanlovi kompozitsion materialning ishlash haroratini belgilaydi. Polimer matritsadan metall matritsaga, undan esa uglerodli va keramik matritsaga o'tilganda ish harorati ortib boradi. Bir nechta matritsaga ega kompozitsion materiallar polimatritsali deb ataladi. Bunday materiallar ko'proq foydali xossalarga ega bo'ladi. Masalan, alyuminiy bilan birga titan matritsa sifatida qo'llansa, tolalar o'qiga perpendikulyar yo'nalishda mustahkamlik oshadi.

Mustahkamlovchi zarrachalarning shakliga qarab kompozitsion materiallar kukunsimon (yoki granulali), tolali va plastinkasimon turlarga bo'linadi.

Kukunsimon kompozitlar metall kukunlari va nometall birikmalar aralashmasidan iborat bo'lib, dispers mustahkamlangan qotishmalarni hosil qiladi va ular izotrop xossalarga ega. Tolali kompozitlarda matritsa uzluksiz yoki uzlukli joylashgan tolalar bilan mustahkamlanadi. Tolali va plastinkasimon kompozitlar, metall qotishmalar kabi, mexanik xossalarning anizotropligiga ega [4].

Matritsa ichida boshqa komponentlar - to'ldiruvchilar bir tekis taqsimlangan bo'ladi. Kompozitsion materialni mustahkamlashda asosiy rolni aynan to'ldiruvchilar o'ynagani uchun ular ko'pincha mustahkamlovchilar deb ataladi. To'ldiruvchining asosiy vazifasi - kompozitsion materialga mustahkamlik va qattqlik berishdir. To'ldiruvchi zarrachalar yuqori mustahkamlikka ega bo'lishi, barcha harorat oralig'ida barqaror ishlashi, zichligi past bo'lishi, matritsada erimasligi va toksik bo'lmasligi kerak [4].



Kompozitsion materiallarda mustahkamlovchi moddalar sifatida oksidlar, karbidlar (odatda kremniy karbidi — SiC), kremniy nitridi (Si₃N₄), shisha yoki uglerod tolalari, bor tolalari, po‘lat yoki volfram simlar ishlatiladi.

So‘nggi yillarda g‘ovak strukturaga ega bo‘lgan alyuminiy asosidagi kompozit materiallarga qiziqish sezilarli darajada ortmoqda, chunki ular o‘ziga xos bir qancha xususiyatlarga ega. Alyuminiy asosidagi kompozit materiallarning qo‘llanilishi asosan uchta sohada, ya’ni avtomobilsozlik, aviakosmik sanoat va qurilish sohasi ko‘proq ko‘zga tashlanmoqda.

Hozirgi kunda texnik xususiyatlarni yaxshilashning turli usullari, masalan, mustahkamlash yoki turli qotishmalar bilan zichlashtirish katta e’tibor qozongan. Bu usullar materialning yeyilishga chidamliligini sezilarli darajada oshiradi. Ammo eng murakkab va iqtisodiy jihatdan eng qimmat yo‘nalish - bu talab etilgan xususiyatlarga ega yagona materiallarni yaratishdir. Kompozitlar fizik, mexanik va kimyoviy xususiyatlarning shunday kombinatsiyasiga ega bo‘lishi mumkinki, ular aynan ma’lum bir uskunaga ideal darajada mos keladi [2].

Alyuminiy oksidi (Al₂O₃) va rezina granulalari asosida olingan kompozit materiallar juda ajoyib kombinatsiyani beradi, chunki bu yerda qattiq, mo‘rt keramika bilan elastik polimer birlashtiriladi. Natijada kompozit materiallar quyidagi o‘ziga xos xossalarga ega bo‘lishi kuzatiladi:

Birinchidan, yuqori yeyilishga chidamlilik. Alyuminiy oksidi juda qattiq material bo‘lgani uchun kompozit sirtining abraziv ta’sirlarga chidamliligini oshiradi. Shu bilan birga, rezina zarrachalari ishqalanish paytida zarbani yumshatadi.

Ikkinchidan, zarba va vibratsiyani yutish qobiliyati. Rezina granulalari elastik bo‘lgani sababli material zarba energiyasini yutadi va tebranishlarni kamaytiradi. Bu xossa sof keramika yoki metallarda deyarli yo‘q.



Uchinchidan, kombinatsiyalangan mustahkamlik va elastiklik. Alyuminiy oksidi qattqlik va bosimga chidamlilikni ta'minlaydi, rezina esa materialga ma'lum darajada egiluvchanlik beradi. Natijada mo'rtlik kamayadi.

To'rtinchidan, issiqlik va elektr izolyatsiyasi. Alyuminiy oksidi yaxshi dielektrik, rezina ham tok o'tkazmaydi, shuning uchun bunday kompozitlar elektr izolyatsion material sifatida ishlatilishi mumkin.

Beshinchidan, zichlikning nisbatan pastligi. Rezina granulari hisobiga umumiy og'irlik kamayadi, bu esa ayrim konstruktsiyalarda afzallik beradi.

Shu bilan birga, ushbu kompozit materiallarda ayrim kamchiliklar ham mavjud: yuqori haroratlarda rezina degradatsiyaga uchraydi, shuning uchun bunday kompozitlar juda yuqori haroratli muhitlarda ishlatish uchun mos kelmaydi.

Xulosa. Alyuminiy oksidi (Al_2O_3) va rezina granulari asosida olingan kompozit materiallar asosidagi kompozit materiallar nafaqat yangi xossalarga ega, balki amaliy jihatdan juda keng imkoniyatlar yaratadi. Avvalo, ular yangi turdagi funksional detallarni yaratish imkonini beradi. Masalan, bir vaqtning o'zida ham qattiq, ham elastik bo'lgan materiallardan foydalanib, zarbaga chidamli va uzoq xizmat qiladigan qismlar ishlab chiqarish mumkin.

Shuningdek, bu kompozitlar uskunalarning xizmat muddatini uzaytiradi. Alyuminiy oksidi yeyilishga qarshi himoya bersa, rezina esa zarba va tebranishlarni kamaytiradi. Natijada detallar kamroq eskiradi va kamroq almashtiriladi.

Yana bir muhim imkoniyat — vibratsiya va shovqinni kamaytirish. Bunday materiallar mexanik tizimlarda, transport vositalarida yoki ishlab chiqarish uskunalarida qo'llanib, ish jarayonini barqarorroq va sokinroq qiladi.

Bu kompozitlar yordamida yengil, lekin mustahkam konstruktsiyalar yaratish mumkin. Rezina granulari material og'irligini kamaytiradi, bu esa energiya samaradorligini oshiradi.

Umuman olganda, alyuminiy oksidi (Al_2O_3) va rezina granulari asosida olingan kompozit materiallarni ishlab chiqish va ulardan amalda foydalanish .



Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. Полимерные композиционные материалы: учебное пособие. Часть 2. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 130 с.

2. Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. Полимерные композиционные материалы: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 111 с.

3. А.А.Батаев. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебное пособие для вузов / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Москва : Логос, 2006. – 398 с.

4. Махмудзода М. Композиционные материалы на основе алюминия / М. Махмудзода // История науки и техники в современной системе знаний : Шестая ежегодная конференция кафедры Истории науки и техники, 8 февраля 2016. — Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2016. — С. 259-264. - https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/39861/1/init_2016_45.pdf

5. Saidmuhamedova, M.Q., Turdiqulov, I.H., Atakhanov, A.A., Ashurov, N.Sh., Abdurazakov, M., Rashidova, S.Sh., & Surov, O.V. (2023) Biodegradable Polyethylene-Based Composites Filled with Cellulose Micro-and Nanoparticles. Eurasian Journal of Chemistry, 110(2), 94-106. <https://doi.org/10.31489/2959-0663/2-23-16>

6. Lu Sun, Wenqing Zhong, Ziwei Xiao, Hui Qi. Physical, rheological and microscopic properties of AAT nanomaterial/crumb rubber powder composite-modified asphalt and SBS-modified asphalt // PLOS ONE. January 11, 2024| <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284813>