IQRO JURNALI , IQRO JOURNAL, ИКРО ЖУРНАЛИ
ISSN:2181-4341| wordlyknowledge.uz/index.php/iqro
Volume 23 Issue 01 AVGUST 2026

POLIMER KOMPOZITSION MATERIALLARNING TUZILISHI, XOSSALARI VA QO‘LLANISH SOHALARI

G’afforova Barchinoy Omonboy qizi
Navoiy Davlat Universiteti
gafforovabarchinoy11@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22049051

Anotatsiya: Ushbu maqolada polimer matritsali kompozitsion materiallarning tuzilishi, mexanik xususiyatlari hamda ularning shakllanishiga ta’sir etuvchi asosiy omillar tahlil qilingan. Polimer matritsa va mustahkamlovchi komponentlar o‘rtasidagi o‘zaro ta’sir, kompozitlarning cho‘zilish, siqilish, egilish, zarbaviy va takroriy yuklanishlarga chidamliligi yoritilgan. Shuningdek, tolalarning turi, yo‘nalishi va miqdori, matritsa bilan mustahkamlovchi faza orasidagi adgeziya, g‘ovaklik darajasi hamda ekspluatatsiya muhiti materialning mexanik ko‘rsatkichlariga qanday ta’sir qilishi ko‘rib chiqilgan. Polimer matritsali kompozitlarning an’anaviy konstruksion materiallarga nisbatan afzalliklari va ularning istiqbolli qo‘llanish yo‘nalishlari asoslangan.
Kalit so‘zlar: polimer matritsa, kompozitsion material, shisha tola, uglerod tolasi, mexanik mustahkamlik, elastiklik moduli, adgeziya, anizotropiya, zarbaga chidamlilik, deformatsiya.

Kirish. Zamonaviy sanoatda materialning faqat yuqori mustahkamlikka ega bo‘lishi yetarli hisoblanmaydi. Konstruksion materiallardan bir vaqtning o‘zida kichik massa, yuqori mexanik barqarorlik, korroziyaga chidamlilik, uzoq xizmat muddati va texnologik qulaylik talab qilinmoqda. Mazkur talablarning bir qismini an’anaviy metall va qotishmalar yordamida ta’minlash mumkin bo‘lsa-da, ayrim sohalarda ularning yuqori zichligi hamda agressiv muhit ta’sirida korroziyalanishi ma’lum cheklovlarni keltirib chiqaradi. Shu sababli polimer matritsali kompozitsion materiallarga bo‘lgan qiziqish yildan-yilga ortib bormoqda.

Kompozitsion material ikki yoki undan ortiq tabiatga ega komponentlarning ma’lum qonuniyat asosida birlashtirilishi natijasida hosil qilinadi. Bunda alohida komponentlarning foydali xususiyatlarini bir material tarkibida mujassamlashtirish imkoniyati yuzaga keladi.[1] Polimer matritsali kompozitlarda matritsa asosiy bog‘lovchi muhit vazifasini bajaradi, mustahkamlovchi tolalar yoki zarrachalar esa tashqi yukning katta qismini qabul qiladi. Mazkur materiallarning eng muhim jihati shundaki, ularning mexanik xususiyatlarini konstruksiyaning ishlash sharoitiga mos ravishda oldindan shakllantirish mumkin. Masalan, tolalarni asosiy yuklanish yo‘nalishida joylashtirish orqali aynan shu yo‘nalishda yuqori mustahkamlik va qattiqlikka erishiladi. Bu xususiyat polimer kompozitlarni aviatsiya, avtomobilsozlik, energetika, kemasozlik, qurilish va boshqa ko‘plab sohalar uchun istiqbolli konstruksion materialga aylantiradi.

Tadqiqot metodologiyasi - Tadqiqot jarayonida kompozit materiallarning mexanik xususiyatlarini baholash uchun cho‘zilish, siqilish, egilish, zarbaga chidamlilik va charchashga chidamlilik ko‘rsatkichlari tizimli ravishda tahlil qilindi. Cho‘zilish xususiyatlarini baholashda tashqi yukning mustahkamlovchi tolalar orqali qabul qilinishi va yukning matritsadan tolalarga interfeys orqali uzatilish mexanizmiga asosiy e’tibor qaratildi. Siqilish va egilish xususiyatlarini o‘rganishda esa tolalarning mikrobukilishi, matritsaning deformatsiyasi, qatlamlararo ajralish va interfeys holatining ta’siri hisobga olindi. Kompozitlarning zarbaga chidamliligini baholashda zarba energiyasining matritsa deformatsiyasi, mikroyoriqlar hosil bo‘lishi, tola-matritsa chegarasining ajralishi, tolalarning sug‘urilib chiqishi hamda tolalarning uzilishi orqali yutilish

mexanizmlari tahlil qilindi. Charchashga chidamlilikni o‘rganishda esa takroriy yuklanish natijasida matritsada mikroyoriqlarning paydo bo‘lishi, interfeysda ajralish va qatlamlararo delaminatsiyaning rivojlanish ketma-ketligi asosiy baholash mezonlari sifatida qabul qilindi.

Polimer matritsali kompozitsion materiallarning tarkibi va tuzilishi

Polimer matritsali kompozitlar, asosan, ikki muhim tarkibiy qismdan — matritsa va mustahkamlovchi fazadan tashkil topadi. Matritsa sifatida termoreaktiv yoki termoplastik polimerlardan foydalaniladi. Epoksid, poliester, vinil-efir va fenol-formaldegid smolalari termoreaktiv matritsalarga, poliamid, polipropilen, polietilen va boshqa polimerlar esa termoplastik matritsalarga misol bo‘la oladi.[2]

Matritsaning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

-mustahkamlovchi elementlarni yagona tizimga birlashtirish;

-tashqi yukni tolalar yoki zarrachalar o‘rtasida taqsimlash;

-tolalarni mexanik shikastlanishlardan himoya qilish;

-kompozit shaklining barqarorligini ta’minlash;

-namlik va kimyoviy muhit ta’sirini kamaytirish.

Mustahkamlovchi komponent sifatida shisha tolalari, uglerod tolalari, aramid tolalari, bazalt tolalari, tabiiy tolalar yoki turli dispers zarrachalar qo‘llaniladi. Tolali kompozitlarda yuqori mexanik ko‘rsatkichlarning shakllanishi ko‘p jihatdan tolaning xususiyatlariga bog‘liq.

Uglerod tolalari yuqori elastiklik moduli va kichik zichlik bilan ajralib tursa, shisha tolalari mexanik mustahkamlik va iqtisodiy samaradorlikning maqbul nisbatini ta’minlaydi.[3]

Kompozitlarning cho‘zilishdagi mustahkamligi

Cho‘zilishdagi mustahkamlik polimer matritsali kompozitlarning asosiy mexanik tavsiflaridan biridir. Material tashqi kuch ta’sirida cho‘zilganda dastlab elastik deformatsiya yuz beradi. Yukning ortishi bilan esa matritsada mikroyoriqlar, tolalararo ajralish yoki mustahkamlovchi tolalarning uzilishi boshlanishi mumkin.

Tolalar bir yo‘nalishda joylashgan kompozitda tashqi kuch tola yo‘nalishiga parallel ta’sir qilsa, yukning katta qismini yuqori mustahkamlikka ega tolalar qabul qiladi.

Siqilish va egilishdagi mexanik xususiyatlar

Kompozitsion materiallarning siqilishdagi xatti-harakati cho‘zilishdagiga nisbatan murakkabroqdir. Cho‘zilishda tola to‘g‘ridan-to‘g‘ri yukni qabul qilsa, siqilishda tolalarning mikrobukilishi, matritsaning plastik deformatsiyasi yoki qatlamlarning ajralishi kuzatilishi mumkin.

Kompozitning siqilishdagi mustahkamligiga matritsaning qattiqligi, tolalararo bog‘lanish va ishlab chiqarishdagi nuqsonlar sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, g‘ovaklik va tolaning noto‘g‘ri yo‘nalishi siqilishdagi mustahkamlikni keskin kamaytirishi mumkin. Egilish holatida esa namunaning bir qismi cho‘zilishga, ikkinchi qismi siqilishga uchraydi. Shu sababli egilish sinovlari kompozitning bir vaqtning o‘zida bir necha turdagi deformatsiyaga qarshiligini baholash imkonini beradi. Kompozitlarning egilishdagi mustahkamligi tolalarning joylashuvi, qatlamlar soni, matritsa turi va interfeys holatiga bevosita bog‘liq.[5]

Zarbaga chidamlilik. Polimer matritsali kompozitlarni baholashda zarbaviy mustahkamlik muhim ko‘rsatkich hisoblanadi. Konstruksiya qisqa vaqt davomida katta energiyaga ega tashqi ta’sirga duch kelganda material ichida mahalliy shikastlanish yuz berishi mumkin.

Kompozitlarda zarba energiyasi bir nechta mexanizm hisobiga yutiladi:

1. matritsaning deformatsiyalanishi;
2. matritsada mikroyoriqlarning hosil bo‘lishi;
3. tola va matritsa chegarasining ajralishi;
4. tolalarning matritsadan sug‘urilib chiqishi;
5. mustahkamlovchi tolalarning uzilishi.

Mazkur mexanizmlar bir vaqtning o‘zida sodir bo‘lishi mumkin. Shuning uchun ayrim kompozitlar tashqi zarba energiyasini metallarga nisbatan boshqacha tarzda yutadi. Aramid tolali kompozitlar yuqori zarbaga chidamlilik xususiyati bilan ajralib turadi va himoya vositalari hamda maxsus konstruksiyalarda keng qo‘llaniladi.[6]

Charchashga chidamlilik. Ko‘plab real konstruksiyalar doimiy emas, balki takrorlanuvchi yuklanish sharoitida ishlaydi. Bunday holatda materialning charchashga chidamliligi muhim ahamiyatga ega.

Kompozitlarda charchash jarayoni odatda bitta yirik yoriqdan emas, balki turli mikromexanik shikastlanishlarning asta-sekin yig‘ilishidan boshlanadi. Dastlab matritsada mikroyoriqlar paydo bo‘lishi, keyinchalik tola va matritsa chegarasida ajralish, undan so‘ng esa qatlamlararo delaminatsiya yuz berishi mumkin.[7]

Charchash jarayonining murakkabligi tufayli kompozitning uzoq muddatli ishlash qobiliyatini faqat uning statik mustahkamligiga qarab baholab bo‘lmaydi. Yuklanish amplitudasi, chastotasi, muhit harorati, namlik va konstruksiyadagi kuchlanish konsentratsiyasi ham hisobga olinishi lozim.

Tola va matritsa orasidagi adgeziyaning ahamiyati

Kompozit materialning yuqori mexanik xususiyatlarini ta’minlash uchun mustahkamlovchi faza bilan matritsa o‘rtasida yetarlicha kuchli bog‘lanish bo‘lishi talab etiladi. Ushbu chegara ko‘pincha interfeys deb ataladi.

Tashqi yuk dastlab matritsaga ta’sir qiladi va keyinchalik interfeys orqali mustahkamlovchi tolalarga uzatiladi. Agar tola va matritsa orasidagi bog‘lanish sust bo‘lsa, yuk to‘liq uzatilmaydi va materialning nazariy imkoniyatlaridan samarali foydalanib bo‘lmaydi.

Biroq interfeysning haddan tashqari mustahkam bo‘lishi ham ayrim zarbaviy yuklanish sharoitlarida materialning mo‘rtligini oshirishi mumkin. Shu sababli zamonaviy kompozit texnologiyalarida interfeys xususiyatlarini boshqarish alohida ilmiy yo‘nalish sifatida qaraladi.[8]

Tolalarning yo‘nalishi va anizotropiya

Polimer matritsali kompozitlarning metallar bilan solishtirgandagi muhim farqlaridan biri — ularning ko‘pincha anizotropik xususiyatga ega ekanligidir. Ya’ni materialning mexanik xususiyatlari turli yo‘nalishlarda bir xil bo‘lmaydi.

Bir yo‘nalishli tolali kompozitda tola bo‘ylab mustahkamlik juda yuqori, unga perpendikulyar yo‘nalishda esa sezilarli darajada past bo‘lishi mumkin. Amaliy konstruksiyalarda ushbu holat turli yo‘nalishdagi qatlamlardan tashkil topgan laminatlar yordamida boshqariladi.

Masalan, qatlamlarni 0°, 90° va ±45° yo‘nalishlarda joylashtirish orqali konstruksiyaning bir necha yo‘nalishdagi yuklarga qarshiligini yaxshilash mumkin. Natijada materialning ichki arxitekturasi konstruksiyaning haqiqiy yuklanish holatiga moslashtiriladi.

G‘ovaklik va texnologik nuqsonlarning mexanik xususiyatlarga ta’siri

Kompozit ishlab chiqarish jarayonida havo pufakchalari, smola bilan yetarlicha namlanmagan joylar, tolalarning noto‘g‘ri joylashuvi va qatlamlararo bo‘shliqlar hosil bo‘lishi mumkin. Bunday nuqsonlar materialda mahalliy kuchlanish konsentratsiyasini yuzaga keltiradi.

G‘ovaklik miqdorining ortishi odatda:

-qatlamlararo siljish mustahkamligining pasayishiga;

-charchashga chidamlilikning kamayishiga;

-yoriqlarning tezroq rivojlanishiga;

-namlikning material ichiga oson kirishiga olib keladi.

Shuning uchun vakuum infuziyasi, bosim ostida qoliplash va avtoklav texnologiyasi kabi usullarda g‘ovaklik miqdorini kamaytirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Harorat va namlik ta’siri

Polimer matritsaning xususiyatlari haroratga metall materiallarga nisbatan sezgirroqdir. Harorat oshishi natijasida polimerning molekulyar harakatchanligi ortadi va uning qattiqligi kamayishi mumkin. Ayniqsa, harorat polimerning shishalanish haroratiga yaqinlashganda mexanik ko‘rsatkichlar sezilarli o‘zgaradi.[9]

Namlik ham polimer matritsaga singib, uning plastifikatsiyalanishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari, nam muhit tola va matritsa orasidagi bog‘lanishga salbiy ta’sir ko‘rsatishi ehtimoli mavjud. Shu sababli uzoq muddat ochiq atmosfera, suv yoki yuqori namlik sharoitida ishlaydigan kompozitlarni loyihalashda ekologik omillar hisobga olinadi.

Polimer matritsali kompozitlarning asosiy afzalliklari

Polimer matritsali kompozitsion materiallar bir qator texnik afzalliklarga ega. Birinchi navbatda, ularning zichligi po‘lat va boshqa ko‘plab metall materiallarga nisbatan ancha kichik. Shu bilan birga, mustahkamlovchi to‘g‘ri tanlanganda yuqori solishtirma mustahkamlikka erishish mumkin.

Ikkinchidan, materialning ichki strukturasini konstruksiyadagi yuklanish yo‘nalishlariga moslashtirish imkoniyati mavjud. Natijada zarur bo‘lmagan yo‘nalishlarda ortiqcha material sarflash kamayadi.

Uchinchidan, ko‘pgina polimer kompozitlar atmosfera va kimyoviy muhit ta’sirida metallarga xos elektrokimyoviy korroziyaga uchramaydi.

Biroq ushbu materiallarning ayrim kamchiliklari ham mavjud. Jumladan, yuqori haroratga sezgirlik, qatlamlararo ajralish xavfi, ayrim turdagi kompozitlarning yuqori tannarxi hamda utilizatsiya va qayta ishlash masalalari shular jumlasidandir.

Qo‘llanilish sohalari

Yuqori solishtirma mustahkamligi tufayli polimer matritsali kompozitlar aviatsiya va kosmik texnikada katta ahamiyatga ega. Samolyot korpusi, qanot elementlari, vertolyot parraklari va boshqa mas’ul konstruksiyalarda uglerod tolali kompozitlardan keng foydalaniladi.

Avtomobilsozlikda kompozitlar avtomobil massasini kamaytirish, yoqilg‘i yoki elektr energiyasi sarfini optimallashtirish hamda konstruksiya xavfsizligini oshirish imkonini beradi.

Energetikada shamol turbinalarining uzun parraklari, quvur elementlari va turli himoya konstruksiyalari shisha va uglerod tolali polimer kompozitlar yordamida ishlab chiqariladi. Shuningdek, kompozit materiallar sport jihozlari, protezlar, tibbiy vositalar, temiryo‘l transporti va qurilish konstruksiyalarida ham tobora ko‘proq qo‘llanmoqda.

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bir yo‘nalishli tolali kompozitlarda tolalarning asosiy yuklanish yo‘nalishida joylashtirilishi shu yo‘nalishda yuqori mustahkamlik va qattiqlikni ta’minlaydi. Biroq tolaga perpendikulyar yo‘nalishda mexanik xususiyatlarning pasayishi kompozitlarning anizotrop xususiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. Shu sababli amaliy konstruksiyalarda 0°, 90° va ±45° yo‘nalishdagi qatlamlardan foydalanish orqali yuklanishning bir nechta yo‘nalishlariga moslashtirilgan laminat strukturasini shakllantirish maqsadga muvofiqdir.

Cho‘zilishdagi mustahkamlikni tahlil qilish natijasida tashqi yukning asosiy qismi yuqori mustahkamlikka ega mustahkamlovchi tolalar tomonidan qabul qilinishi aniqlandi. Bunda yukning matritsadan tolalarga samarali uzatilishi interfeysning holatiga bevosita bog‘liq. Interfeysning yetarli darajada mustahkam bo‘lmagan holatida yukning to‘liq uzatilmasligi natijasida kompozitning potensial mustahkamlik imkoniyatlaridan to‘liq foydalanish qiyinlashadi.

Siqilish va egilish xususiyatlarini tahlil qilish kompozitlarning deformatsion xatti-harakati cho‘zilish holatiga nisbatan murakkabroq ekanligini ko‘rsatdi. Siqilish vaqtida tolalarning mikrobukilishi, matritsaning deformatsiyasi va qatlamlararo ajralish kabi mexanizmlar yuzaga kelishi mumkin. Ayniqsa, g‘ovaklik va tolalarning noto‘g‘ri yo‘nalishi siqilishdagi

mustahkamlikni pasaytiruvchi muhim texnologik omillar hisoblanadi. Egilishda esa materialning bir qismi cho‘zilish, boshqa qismi siqilish holatida bo‘lgani sababli mazkur sinov kompozitning kompleks deformatsiyaga qarshiligini baholash imkonini beradi.

Xulosa qilib aytganda, polimer matritsali kompozitsion materiallarning mexanik xususiyatlari ularning tarkibi bilangina emas, balki matritsa va mustahkamlovchi fazaning o‘zaro ishlashi bilan ham belgilanadi. Tolalarning turi, hajmiy ulushi va yo‘nalishi, matritsaning mexanik xususiyatlari, interfeys mustahkamligi, qatlamlar arxitekturasi hamda texnologik nuqsonlar kompozitning yakuniy xususiyatlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Mazkur materiallarning eng muhim afzalligi yuqori mustahkamlik va kichik massani birlashtirish imkoniyatidir. Bundan tashqari, kompozit strukturasini aniq ekspluatatsiya sharoitiga mos ravishda loyihalash mumkinligi ulardan samarali foydalanishga imkon yaratadi. Kelajakda nanomateriallar, gibrid tolalar, biologik manbali polimerlar va qayta ishlanishi mumkin bo‘lgan matritsalardan foydalanish polimer kompozitlar rivojlanishining muhim yo‘nalishlaridan biri bo‘lib qoladi. Shu jihatdan polimer matritsali kompozitsion materiallarning mexanik xususiyatlarini chuqur tadqiq qilish nafaqat materialshunoslik, balki energiya tejamkor va uzoq xizmat qiluvchi yangi avlod konstruksiyalarini yaratish uchun ham katta ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Hull D., Clyne T. W. An Introduction to Composite Materials. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
2. Campbell F. C. Structural Composite Materials. ASM International, 2010.
3. Mallick P. K. Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design. CRC Press, 2007.
4. Gibson R. F. Principles of Composite Material Mechanics. CRC Press, 2016.
5. Daniel I. M., Ishai O. Engineering Mechanics of Composite Materials. Oxford University Press, 2006.
6. Cantwell W. J., Morton J. The impact resistance of composite materials — a review. Composites, 1991, 22(5), 347–362.
7. Harris B. Fatigue in Composites. Woodhead Publishing, 2003.
8. Drzal L. T., Madhukar M. Fibre-matrix adhesion and its relationship to composite mechanical properties. Journal of Materials Science, 1993, 28, 569–610.
9. Karbhari V. M. Durability of Composites for Civil Structural Applications. Woodhead Publishing, 2007.