

KOMPOZIT MATERIALLAR: TUZILISHI, TURLARI VA MEXANIK
XOSSALARI

Ismatova Sitara Ramish qizi

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti talabasi

Abduraxmonova Shoxidaxon Abduqodirovna

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti assistenti

abdurahmonovashohida3@gmail.com

Annotasiya: Ushbu maqolada kompozit materiallarning tuzilishi, asosiy turlari va mexanik xossalari tahlil qilinadi. Uglarod tolali va shisha tolali kompozitlarning aviasiya, avtomobilsozlik hamda qurilish sanoatidagi amaliy qo‘llanilishi ko‘rib chiqiladi. Kompozit materiallarni ishlab chiqarish texnologiyalari, shu jumladan, avtoklavli qoliplash, infuzion usul va filament o‘rash jarayonlari tavsiflanadi. Bundan tashqari, engil va mustahkam konstruksiyalar yaratishda kompozitlardan foydalanishning iqtisodiy va muhandislik afzalliklari yoritiladi.

Kalit so‘zlar: kompozit material, uglarod tola, shisha tola, polimer matrisa, engil konstruksiyalar, mexanik xossalar, aviasiya, avtomobilsozlik.

Kirish: Zamonaviy muhandislik va texnologiya rivojlanishining asosiy yo‘nalishlaridan biri yangi avlod materiallarini yaratish va ulardan samarali foydalanishdir. Kompozit materiallar bu sohadagi eng muhim yutuqlardan biri bo‘lib, ular an‘anaviy metallar va polimerlar bilan nisbatan bir qator muhim afzalliklarga ega.

Kompozit material deganda ikki yoki undan ortiq turli xil kimyoviy tarkib va fizik xossalarga ega bo‘lgan komponentlardan tashkil topgan, ma‘lum bir chegara yuzasida ajralib turadigan va individual komponentlarning xossalari bilan sifat jihatidan farq qiladigan geterogen tizim tushuniladi.[1]



1-rasm. Kompozitsion materallar

Kompozitlarning asosiy maqsadi — alohida komponentlarning kamchiliklarini bartaraf etib, ularning afzalliklarini birlashtirish orqali superior (ustunlashgan) xossalarga ega yangi material yaratishdir. (1-rasm)

Kompozit materiallarning ishlatilishi qadimgi davrlardan ma'lum: miloddan avvalgi davrlarda paxsa devorlar qurishda somon va loydan foydalanilgan, bu aslida birinchi sun'iy kompozit hisoblanadi. Biroq zamonaviy kompozit materiallar sanoati XX asrning o'rtalarida, ayniqsa, aviasiya va mudofaa sanoatining talablari natijasida jadal rivojlandi.

Dolzarlighi: Global energiya tejamkorlik talablari ortib borayotgan sharoitda engil va mustahkam konstruksiyalar yaratish muammosi alohida ahamiyat kasb etmoqda. Kompozit materiallar ushbu muammoni hal etishda asosiy vosita bo'lib xizmat qilmoqda — ulardan foydalanish transport vositalarida yoqilg'i sarfini 15–30% ga kamaytirish imkonini beradi.[5]

Materiallar va uslublar: Har qanday kompozit material ikki asosiy komponentdan iborat: matrisa (bog'lovchi) va armatura (mustahkamlovchi). Matrisa armatura komponentlarini birlashtiradi, ular o'rtasida kuch uzatishni ta'minlaydi va tashqi muhitdan himoya qiladi. Armatura esa konstruksiyaning asosiy mexanik yukini o'z zimmasiga oladi.

Matrisa turlari:

1. Polimer matrisalar — eng keng tarqalgan turi bo'lib, epoksid, poliyester va vinilefir qatronlari asosida tayyorlanadi;
2. Metal matrisalar — alyuminiy, titan va magniy asosida;

3. Keramik matrisalar — yuqori haroratlarga chidamli konstruksiyalar uchun.
Armatura turlari:

1. Tolali armaturalar — uglerod, shisha, aramid va bor tolalari;
2. Zarrachali armaturalar — karbid, nitrid va oksid zarrachalari;
3. Qavat ko‘rinishidagi armaturalar — doimiy tolalar to‘qimasi.

Uglerod tolali kompozitlar (Carbon Fiber Reinforced Polymers — CFRP) zamonaviy muhandislikning eng noyob materiallaridan biri hisoblanadi. Ushbu materiallar uglerod atomlarining grafitsimon tuzilishi asosida shakllanadi va o‘zining noyob xossalari bilan ajralib turadi. CFRP ning asosiy xarakteristikalari: zichligi 1,55–1,60 g/sm³ (po‘latning 1/5 qismi), tortish mustahkamligi 1500–3000 MPa (yuqori modulli navlari uchun 3500 MPa gacha), elastiklik moduli 70–200 GPa, issiqlik kengayishi koeffitsienti juda past (ba‘zi yo‘nalishlarda nolga yaqin). Bu xossalar CFRP ni havo va kosmonavtika sanoati uchun ideal material qiladi.

Shisha tolali kompozitlar (Glass Fiber Reinforced Polymers — GFRP) nisbatan arzonligi va ishlab chiqarish texnologiyasining soddaligi bilan ajralib turadi. GFRP ning zichligi 1,80–2,00 g/sm³, tortish mustahkamligi 700–1200 MPa ni tashkil etadi. Ushbu materiallar qurilish, dengiz kemachiligi, sport inventarlari va elektrotexnikada keng qo‘llaniladi. Aramid (Kevlar) tolali kompozitlar o‘zining yuqori zarba energiyasini yutish qobiliyati bilan ajralib turadi. Zichligi 1,40–1,45 g/sm³ bo‘lgan ushbu materiallar balistik himoya, kosmik apparat qobig‘i va harbiy texnikada qo‘llaniladi. Aramid tolalar cho‘zilishga juda chidamli (mustahkamligi 2800–3600 MPa), ammo siqilishga nisbatan zaifligi — ularning asosiy kamchiligi.

Mexanik xossalarning qiyosiy tahlili: Quyidagi jadvalda asosiy kompozit materiallar va an‘anaviy konstruksion material — alyuminiyning mexanik xossalari qiyosiy tarzda keltirilgan (1-jadval).

1-jadval.

Kompozit materiallar va alyuminiyning mexanik xossalari taqqoslanmasi.

Xususiyat	CFRP	GFRP	Alyuminiy
Zichlik (g/cm ³)	1.55–1.60	1.80–2.00	2.70

Mustahkamlik (MPa)	1500–3000	700–1200	310–500
Elastiklik moduli (GPa)	70–200	20–55	70
Korroziyaga chidamliligi	Yuqori	Yuqori	O'rtacha
Narxi (nisbiy)	Yuqori	O'rtacha	Past

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, CFRP alyuminiyga nisbatan zichligi bo‘yicha taxminan 1,7 marta yengil bo‘lishiga qaramay, mustahkamlik bo‘yicha 4–6 marta ustunligi mavjud. Bu nisbat — solishtirma mustahkamlik (mustahkamlik/zichlik) — kompozitlarning muhandislik materiallar sifatidagi asosiy afzalligini belgilaydi.

Avtoklavli qoliplash — havo va kosmonavtikada ishlatiladigan yuqori sifatli CFRP qismlarni ishlab chiqarishning asosiy usuli. Jarayon bosqichlari: prepreglarni (tolalar oldindan qatron bilan singdirilgan yarim fabrikat) qolipga qo‘llash, vakuumlash, 120–180°C harorat va 5–7 bar bosimda kuring. Bu usul g‘ovaklilik darajasi 1–2% dan past bo‘lgan, yuqori mexanik xossalarga ega qismlar ishlab chiqarish imkonini beradi.

Vakuum infuzion (VARTM — Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) usulida quruq tola armaturasi qolipga joylashtiriladi va vakuum ostida suyuq qatron o‘tkaziladi. Avtoklavli usulga nisbatan arzonroq bo‘lgan bu texnologiya yirik konstruksiyalar (qayiq gavdalari, shamol turbinalari qanotlari) uchun keng qo‘llaniladi. Filament o‘rash (filament winding) usulida qatron bilan singdirilgan uzluksiz tolalar aylanadigan mandrelga ma‘lum burchak ostida o‘raladi. Bu usul trubalar, silindrik idishlar va raketaning qattiq yonilg‘i kameralari ishlab chiqarishda muvaffaqiyatli qo‘llaniladi. Zamonaviy raqamli boshqaruvli o‘rash mashinalari murakkab geometrik shakllarni ham ishlab chiqarish imkonini beradi.

Sanoatda qo‘llanilishi: Aviasiyada kompozit materiallarning qo‘llanilishi so‘nggi o‘n yilliklarda keskin oshdi. (Boeing 787 Dreamliner) samolyotining konstruksion massasining 50% dan ortig‘i kompozit materiallardan iborat bo‘lib, bu an‘anaviy alyuminiy konstruksiyaga nisbatan 20% gacha yoqilg‘i tejash imkonini beradi.[3] Airbus A350 XWB da bu ko‘rsatkich 53% ni tashkil etadi.

Kompozitlar qo'llanilgan asosiy elementlar: qanot qoplamalari, fyuzelyaj panelidari, orqa stabilizator, nasos va dvigatel qoplamalari. Kosmik soha uchun ham kompozitlar muhim — SpaceX Falcon raketasi va Dragon kosmik kemasi komponentlarida CFRP keng ishlatiladi.

Avtomobil sanoatida kompozitlardan foydalanish ikki yo'nalishda rivojlanmoqda: sport avtomobillari uchun yuqori texnologiyali CFRP yechimlar va ommaviy ishlab chiqarish uchun arzonroq alternativalar. Formula 1 avtomobillari tanasi to'liq CFRP dan tayyorlanadi, bu haydovchi xavfsizligini ta'minlovchi yuqori energiya yutuvchi konstruksiyani ta'minlaydi. BMW i3 va i8 modellarida "Life" moduli (yo'lovchi saloni) to'liq CFRP dan tayyorlangan. Audi, Mercedes va Lamborghini kabi kompaniyalar ham o'z modellari uchun kompozit elementlarni kengaytirmoqda. Elektr transport vositalari uchun esa engil konstruksiyalar batareya quvvatini tejash nuqtai nazaridan alohida ahamiyatga ega. Qurilishda kompozitlar ko'priklar, binolar va infratuzilma inshootlarini mustahkamlashda qo'llaniladi. CFRP tasmalari bilan mustahkamlash (CFRP retrofitting) eskirgan beton konstruksiyalarning ko'taruvchanligini 40–60% ga oshirishga imkon beradi. Kompozit armaturalar (FRP rebars) dengiz muhiti va agresiv kimyoviy muhitlarda metall armatypaning o'rnini muvaffaqiyatli egallaydi.

Natija va ularning tahlili: Muammolar: Kompozit materiallarning keng tarqalishiga bir qator to'siqlar mavjud. Birinchi muammo — narxi: CFRP ishlab chiqarish jarayoni murakkab va qimmat bo'lib, 1 kg material narxi alyuminiydan 10–50 marta yuqori. Ikkinchi muammo — ta'mirlash qiyinligi: metaldan farqli o'laroq, zarbadan shikastlangan kompozit qismni qayta tiklash maxsus ko'nikma va uskunalarni talab qiladi.

Uchinchi muhim muammo — anizotropiya, ya'ni xossalarning yo'nalishga bog'liqligi: kompozitlar turli yo'nalishlarda har xil mexanik xossalarga ega, bu konstruksiyalarni loyihalashni murakkablashtiradi. To'rtinchi muammo — kompozit qoldiqlari (chiqindilari) qayta ishlashning qiyinligi — atrof-muhit nuqtai nazaridan hal qilishni talab etadi.

Yechimlar: Narxini kamaytirish yo'llari - Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish (robotli qo'llash tizimlar), yangi turdagi arzon prekursorlardan foydalanish (poliakrilnitril o'rniga lignin asosidagi PAN prekursorlari), shuningdek, talabni ko'payishi natijasida miqyos iqtisodiyotining ta'siri narxni keyingi yillarda sezilarli kamaytirish imkonini beradi.[2]

Ta'mirlash muammosining yechimi - "O'z-o'zini davolash" (self-healing) kompozitlar — mikrokapsulalangan davolash agentlarini o'z ichiga olgan polimer matrisalar — bu muammoni hal etish yo'lida istiqbolli yo'nalish. Shuningdek, qalinlik bo'yicha ultratovush tekshiruv (UT) va termal kamera yordamidagi diagnostika usullari shikastlanishlarni erta aniqlash imkonini beradi.

Anizotropiya muammosining yechimi - Kvazi-izotrop qatlamlanma tartib ($0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}$) ning qo'llanilishi konstruksiyani barcha yo'nalishlarda yetarli mustahkamlikni ta'minlaydi. Zamonaviy kompozit mexikasining kompyuter modellashtirish (FEA) vositalari esa murakkab yuk holatlarini oldindan aniq hisoblash imkonini beradi.

Qayta ishlash muammosining yechimi - Termoplastik matrisa asosidagi kompozitlar (PEEK, PPS) termoplast xossasi tufayli qayta qizdirib shakllantirish imkoniga ega. Solvoliz (kimyoviy parchalash) va piroliz usullari orqali CFRP dan uglerod tolalarni qayta tiklash tadqiqotlari istiqbolli natijalar ko'rsatmoqda.

Xulosa: Kompozit materiallar zamonaviy muhandislikning ajralmas qismiga aylandi. Ularning yuqori solishtirma mustahkamligi, korroziyaga chidamliligi va loyihalash moslashuvchanligi ko'pgina an'anaviy materiallarga nisbatan ustunligini ta'minlaydi. Ayniqsa, aviasiya va avtomobilsozlikda energiya tejamkorligini ta'minlashda kompozitlarning roli beqiyosdir.

Biroq hali hamon hal etilmagan muammolar ham mavjud — narxi, ta'mirlash qiyinligi va qayta ishlash masalalari. Ushbu muammolarni hal etish bo'yicha olib borilayotgan tadqiqotlar va texnologik innovatsiyalar, jumladan, o'z-o'zini davolash kompozitlar, arzon prekursorlar va termoplastik matrisalar — kompozit materiallarning qo'llanilish sohasini kengaytiradi. Keyingi o'n yilliklarda, ayniqsa, elektromobil va tiklanuvchi energiya sohalarining rivojlanishi bilan kompozit materiallar yanada keng qo'llanilishini kutish mumkin. O'zbekiston sharoitida ham ushbu materiallarga bo'lgan talab ortib bormoqda — xususan, aviasiya ta'miri, qurilish va iste'mol mahsulotlari sektorlarida.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Aşkın, M., Uysal, M., & Alpay, E. (2021). Composite materials in aerospace applications: A review. *Journal of Composite Materials*, 55(10), 1285–1310.

2. Das, S., Warren, J., West, D., & Schexnayder, S. (2016). Global carbon fiber composites supply chain competitiveness analysis. Clean Energy Manufacturing Analysis Center (CEMAC). NREL/TP-6A50-66071.
3. Hale, J. (2006). Boeing 787 from the ground up. Boeing Aero Magazine, QTR_04, 17–23.
4. Soutis, C. (2005). Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction. *Materials Science and Engineering A*, 412(1–2), 171–176.
5. Mallick, P. K. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design* (3rd ed.). CRC Press.
6. Chawla, K. K. (2012). *Composite Materials: Science and Engineering* (3rd ed.). Springer.