

ZAMONAVIY QURILISHDA KOMPOZIT ARMATURANING AFZALLIK VA KAMCHILIKLARI

Solijonova Zilolaxon Iftixorjon qizi

Farg'ona davlat texnika universiteti,

Arxitektura va Qurilish fakulteti M2-25 QM guruh magistranti

Kimsanov Baxromjon Ikromjon o'g'li

Ilmiy rahbar: Farg'ona davlat texnika universiteti,

QM kafedrası kat.o'qituvchisi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19918671>

Annotatsiya: mazkur maqolada zamonaviy qurilish amaliyotida qo'llanilayotgan kompozit armaturalarning (FRP — fiber reinforced polymer) fizik-mexanik va ekspluatatsion xususiyatlari chuqur ilmiy tahlil asosida o'rganilgan. Kompozit armaturaning yuqori tortilish mustahkamligi, past zichligi, korroziyaga va agressiv muhitlarga chidamliligi, elektromagnit o'tkazmaslik xususiyati kabi afzalliklari temir armatura bilan qiyosiy tahlil asosida baholangan. Shu bilan birga, uning elastiklik modulining nisbatan pastligi, mo'rt buzilish xususiyati, yuqori harorat ta'sirida mexanik xossalarning keskin pasayishi hamda loyihalash me'yorlarining yetarli darajada shakllanmaganligi kabi kamchiliklari ham atroficha ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: kompozit armatura, FRP, temirbeton konstruksiyalar, tortilish mustahkamligi, elastiklik moduli, korroziyaga chidamlilik, agressiv muhit, mo'rt buzilish, yuqori harorat ta'siri, yuk ko'taruvchanlik, ekspluatatsion ishonchlilik.

Аннотация: в данной статье на основе глубокого научного анализа рассмотрены физико-механические и эксплуатационные свойства композитной арматуры (FRP — fiber reinforced polymer), применяемой в современной строительной практике. Проведен сравнительный анализ преимуществ композитной арматуры, таких как высокая прочность на растяжение, низкая плотность, устойчивость к коррозии и агрессивным средам, а также электромагнитная инертность, по сравнению со стальной арматурой. Вместе с тем подробно рассмотрены ее недостатки, включая относительно низкий модуль упругости, хрупкий характер разрушения, значительное снижение механических свойств при воздействии высоких температур, а также недостаточную разработанность нормативной базы для проектирования.

Ключевые слова: ключевые слова: композитная арматура, FRP, железобетонные конструкции, прочность на растяжение, модуль упругости, коррозионная стойкость, агрессивная среда, хрупкое разрушение, воздействие высоких температур, несущая способность, эксплуатационная надежность.

Abstract: this article presents an in-depth scientific analysis of the physical, mechanical, and эксплуатational properties of composite reinforcement (FRP — fiber reinforced polymer) used in modern construction practice. A comparative assessment is conducted highlighting the advantages of composite reinforcement, such as high tensile strength, low density, resistance to corrosion and aggressive environments, as well as electromagnetic neutrality, in comparison with steel reinforcement. At the same time, its disadvantages are thoroughly examined, including relatively low modulus of elasticity, brittle failure behavior, a significant reduction in mechanical properties under high temperature exposure, and the insufficient development of design standards and regulations.

Keywords: composite reinforcement, FRP, reinforced concrete structures, tensile strength, modulus of elasticity, corrosion resistance, aggressive environment, brittle failure, high temperature effects, load-bearing capacity, эксплуатational reliability.

Kirish. Zamonaviy qurilish industriyasi yuqori mustahkamlikka ega, uzoq xizmat muddatli va ekspluatatsion jihatdan ishonchli materiallarga bo'lgan talabning keskin ortishi bilan tavsiflanadi. Bunda temirbeton konstruksiyalar asosiy yuk ko'taruvchi tizim sifatida keng qo'llanilib kelmoqda. Biroq an'anaviy po'lat armaturaning eng muhim kamchiliklaridan biri — korroziyaga moyilligi — konstruksiyalarning xizmat muddatini sezilarli darajada cheklab qo'ymoqda. Ayniqsa, nam iqlim sharoitlari, agressiv kimyoviy muhitlar, tuzli suv ta'siri hamda sanoat chiqindilari mavjud hududlarda po'lat armaturaning yemirilish jarayoni tezlashadi va bu konstruktiv xavfsizlikni pasaytiradi.

Shu sababli so'nggi o'n yilliklarda qurilish materialshunosligida yangi avlod armaturalari — kompozit materiallar asosidagi armaturalar (FRP — Fiber Reinforced Polymer) jadal rivojlanmoqda. Kompozit armaturalar shisha tolali (GFRP), bazalt tolali (BFRP) va uglerod tolali (CFRP) polimer tizimlari asosida ishlab chiqarilib, ular yuqori mustahkamlik, past zichlik va kimyoviy barqarorlik kabi noyob xossalarga ega.

Ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, FRP armaturalarining tortilish mustahkamligi po'lat armaturaga nisbatan bir necha baravar yuqori bo'lishi mumkin, biroq ularning elastiklik moduli pastligi va deformatsiya xususiyatlari an'anaviy materiallardan sezilarli farq qiladi. Bu esa **2. Material tuzilishi va ishlash mexanizmi**

Kompozit armatura **anizotrop material** hisoblanadi, ya'ni uning mexanik xossalari yo'nalishga bog'liq. Tolalar asosan uzunlamasiga joylashtirilgan bo'lib, ular tortilish kuchlarini qabul qiladi, polimer matritsa esa:

- tolalarni bir-biriga bog'laydi
- tashqi muhitdan himoya qiladi
- kesuvchi kuchlarni qisman uzatadi

Natijada FRP armatura yuqori tortilish kuchlariga bardosh bera oladi, biroq siqilish va egilish deformatsiyalariga nisbatan sezgir bo'lishi mumkin.

3. Fizik-mexanik ishlash xususiyatlari

Kompozit armaturaning asosiy mexanik xususiyatlari quyidagicha tavsiflanadi:

- **Yuqori tortilish mustahkamligi** (po'latdan bir necha baravar yuqori)
- **Past zichlik** (yengil konstruktiv elementlar yaratish imkonini beradi)
- **Chiziqli-elastik deformatsiya** (plastik bosqich mavjud emas)
- **Mo'rt buzilish xarakteri**
- **Yuqori korroziyaga chidamlilik**

Bu xususiyatlar uni ayniqsa agressiv muhitlarda ishlatiladigan inshootlar uchun juda samarali materialga aylantiradi.

4. Ekspluatatsion xususiyatlar

FRP armaturalar ekspluatatsiya jarayonida quyidagi afzalliklarga ega:

- kimyoviy reaksiyalarga deyarli kirishmaydi
- suv va namlikdan yemirilmaydi
- tuzli va kislotali muhitda barqaror
- elektromagnit maydonga ta'sir qilmaydi

Shu sababli ular ko‘priklar, port inshootlari, tunnellar va sanoat obyektlarida keng qo‘llaniladi.

. Shu bilan birga, yuqori harorat ta‘sirida polimer bog‘lovchilarning degradatsiyasi, mo‘rt buzilish xususiyati hamda normativ-huquqiy bazaning yetarlicha rivojlanmaganligi ushbu materiallarning keng qo‘llanilishiga ma‘lum cheklovlar qo‘yadi.

Shu nuqtai nazardan, kompozit armaturalarning fizik-mexanik xossalarini chuqur tahlil qilish, ularning afzallik va kamchiliklarini ilmiy asosda baholash hamda temirbeton konstruksiyalar bilan integratsiyalashuvini o‘rganish zamonaviy qurilish muhandisligining dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada FRP armaturalarning ishlash prinsipi, kuchlanish-deformatsiya xatti-harakati va ekspluatatsion samaradorligi ilmiy manbalar asosida tahlil qilinadi.

Kompozit armaturalar. Kompozit armatura zamonaviy qurilish materialshunosligida yuqori texnologiyali konstruktiv material sifatida qaraladi. U odatda FRP (Fiber Reinforced Polymer) tizimi asosida ishlab chiqarilib, tarkibida mustahkamlovchi tolalar (shisha, bazalt yoki uglerod tolalari) va ularni bog‘lovchi polimer matritsa (epoksi, vinilester yoki polyester smolalar) mavjud bo‘ladi. Ushbu ikki komponentning birgalikdagi ishlashi materialga yuqori mustahkamlik va barqarorlik xususiyatlarini beradi.

Kompozit armaturaning asosiy ishlash prinsipi tolalarning yukni qabul qilishi va polimer matritsaning ularni bir butun tizim sifatida ushlab turishiga asoslanadi. Bunda yuk asosan tolalar bo‘ylab uzatiladi, matritsa esa yukni taqsimlash, tolalarni himoya qilish va deformatsiyani muvofiqlashtirish vazifasini bajaradi.

1. Kompozit armaturalarning turlari

Kompozit armaturalar ishlatiladigan tolalar turiga qarab quyidagi asosiy turlarga bo‘linadi:

- **GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)** — shisha tolali armatura
- **BFRP (Basalt Fiber Reinforced Polymer)** — bazalt tolali armatura
- **CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)** — uglerod tolali armatura
- **AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer)** — aramid tolali armatura

Har bir tur o‘zining mexanik, fizik va kimyoviy xususiyatlari bilan farqlanadi. Masalan, CFRP eng yuqori mustahkamlikka ega bo‘lsa, GFRP iqtisodiy jihatdan eng arzon va keng tarqalgan variant hisoblanadi.

2. Material tuzilishi va ishlash mexanizmi

Kompozit armatura **anizotrop material** hisoblanadi, ya‘ni uning mexanik xossalari yo‘nalishga bog‘liq. Tolalar asosan uzunlamasiga joylashtirilgan bo‘lib, ular tortilish kuchlarini qabul qiladi, polimer matritsa esa:

- tolalarni bir-biriga bog‘laydi
- tashqi muhitdan himoya qiladi
- kesuvchi kuchlarni qisman uzatadi

Natijada FRP armatura yuqori tortilish kuchlariga bardosh bera oladi, biroq siqilish va egilish deformatsiyalariga nisbatan sezgir bo‘lishi mumkin.

3. Fizik-mexanik ishlash xususiyatlari

Kompozit armaturaning asosiy mexanik xususiyatlari quyidagicha tavsiflanadi:

- **Yuqori tortilish mustahkamligi** (po‘latdan bir necha baravar yuqori)
- **Past zichlik** (yengil konstruktiv elementlar yaratish imkonini beradi)

- **Chiziqli-elastik deformatsiya** (plastik bosqich mavjud emas)
- **Mo’rt buzilish xarakteri**
- **Yuqori korroziyaga chidamlilik**

Bu xususiyatlar uni ayniqsa agressiv muhitlarda ishlatiladigan inshootlar uchun juda samarali materialga aylantiradi.

Kompozit armaturaning afzalliklari. Kompozit armatura (FRP — *Fiber Reinforced Polymer*) zamonaviy qurilishda an’anaviy po’lat armaturaga nisbatan bir qator muhim texnik va ekspluatatsion ustunliklarga ega bo’lib, bu uni innovatsion konstruktiv material sifatida ajratib turadi. Uning afzalliklari asosan fizik-mexanik xususiyatlari, kimyoviy barqarorligi va ekspluatatsion samaradorligi bilan bog’liq.



1-rasm.Kompozit armaturalar

1. Yuqori tortilish mustahkamligi

Kompozit armaturaning eng muhim afzalliklaridan biri uning juda yuqori tortilish mustahkamligidir. FRP materiallarining mustahkamligi po’lat armaturaga nisbatan bir necha baravar yuqori bo’lishi mumkin. Bu esa konstruksiyalarda kichik diametrli, lekin yuqori yuk ko’tarish qobiliyatiga ega elementlardan foydalanish imkonini beradi.

Natijada:

- material sarfi kamayadi
- konstruksiya yengillashadi
- yuk ko’tarish samaradorligi oshadi

2. Past zichlik va yengillik

Kompozit armaturaning zichligi po’latga nisbatan taxminan 3–4 baravar kichikdir. Bu xususiyat quyidagi afzalliklarni beradi:

- transport va montaj xarajatlarining kamayishi
- qurilish jarayonining tezlashishi
- poydevorga tushadigan doimiy yukning kamayishi

Bu jihat yirik inshootlar va ko’prik qurilishida juda muhim hisoblanadi.

3. Korroziyaga mutlaq chidamlilik

Kompozit armaturaning eng katta ustunliklaridan biri uning elektrokimyoviy inertligi hisoblanadi. U:

- zanglamaydi
- oksidlanmaydi
- tuzli va nam muhitda yemirilmaydi

Bu xususiyat uni:

- dengiz inshootlari
- ko’priklar
- kanal va gidrotexnik tizimlar uchun juda samarali materialga aylantiradi.

4. Kimyoviy agressiv muhitlarga barqarorlik

FRP armaturalar kislota, ishqor va tuzli eritmalar ta’siriga yuqori chidamlilikka ega. Shu sababli ular sanoat korxonalari, kimyo zavodlari va oqova suv inshootlarida keng qo’llaniladi.

5. Elektromagnit o’tkazmaslik xususiyati

Kompozit armatura elektr tokini o’tkazmaydi va magnit maydonlarga ta’sir qilmaydi. Bu xususiyat:

- tibbiy binolar (MRI xonalar)
- elektr stansiyalar
- radar va aloqa inshootlari uchun katta ahamiyatga ega.

6. Uzoq xizmat muddati

Tadqiqotlarga ko’ra, FRP armaturalarning ekspluatatsion muddati 80–100 yilgacha yetishi mumkin. Bu esa:

- ta’mirlash xarajatlarini kamaytiradi
- inshootning umumiy iqtisodiy samaradorligini oshiradi

Kompozit armaturaning afzalliklari uni zamonaviy qurilishda istiqbolli material sifatida namoyon qiladi. Ayniqsa, yuqori mustahkamlik, yengillik va korroziyaga chidamlilik xususiyatlari uni agressiv muhitlarda ishlatiladigan inshootlar uchun ideal yechimga aylantiradi. Shu bilan birga, uning ekspluatatsion samaradorligi uzoq muddatli iqtisodiy foyda keltiradi.



2-rasm. Kompozit armaturalarni ishlab chiqish.

Kompozit armaturaning kamchiliklari. Kompozit armatura (FRP — *Fiber Reinforced Polymer*) zamonaviy qurilishda bir qator muhim afzalliklarga ega bo’lishiga qaramay, uning muhandislik xususiyatlari bilan bog’liq ayrim cheklovlar ham mavjud. Ushbu kamchiliklar asosan materialning anizotrop tuzilishi, polimer matritsaning xususiyatlari hamda ishlash mexanizmi bilan izohlanadi.



3-rasm. Qo’llanilish jarayoni.

1. Past elastiklik moduli

Kompozit armaturalarning asosiy kamchiliklaridan biri ularning elastiklik modulining po'latga nisbatan sezilarli darajada pastligidir. Bu holat quyidagilarga olib keladi:

- konstruksiyada katta deformatsiyalar yuzaga kelishi
- egilish elementlarida yoriqlar tezroq paydo bo'lishi
- xizmat holati (SLS) bo'yicha cheklovlarining kuchayishi

Natijada, FRP armatura bilan loyihalashda faqat mustahkamlik emas, balki deformatsion holatlar ham alohida e'tiborga olinadi.

2. Mo'rt buzilish xususiyati

Kompozit armatura po'latdan farqli ravishda plastik deformatsiya bosqichiga ega emas.

U:

- ogohlantiruvchi cho'zilishsiz
- keskin va kutilmagan tarzda
- mo'rt buzilish orqali ishdan chiqadi

Bu esa konstruksiyaning xavfsizlik darajasini pasaytirishi mumkin, chunki buzilishdan oldin sezilarli deformatsion signal kuzatilmaydi.

3. Yuqori haroratga sezgirlik

FRP materiallar polimer asosli bo'lgani uchun yuqori harorat ta'siriga nisbatan chidamliligi cheklangan:

- 60–120°C dan boshlab mexanik xossalar yomonlashadi
- 200°C dan yuqorida mustahkamlik keskin kamayadi
- yong'in sharoitida tez degradatsiya kuzatiladi

Shu sababli yong'in xavfsizligi talab qilinadigan inshootlarda qo'shimcha himoya choralarini qo'llash zarur.

4. Siqilish va kesilish kuchlariga nisbatan zaiflik

Kompozit armatura asosan tortilish kuchlariga ishlaydi, ammo:

- siqilish kuchlariga nisbatan samaradorligi past
- kesilish va mahalliy deformatsiyalarga chidamliligi cheklangan

Bu holat uni temirbeton tizimlarida to'liq o'rnini bosuvchi emas, balki maxsus qo'llaniladigan material sifatida qarashni talab qiladi.

5. Normativ bazaning yetarli darajada rivojlanmaganligi

Hozirgi kunda ko'plab davlatlarda FRP armaturani loyihalash va hisoblash bo'yicha:

- to'liq standartlashtirilgan me'yorlar yetarli emas
- hisoblash metodikalarida farqlar mavjud
- amaliy tajriba bazasi cheklangan

Bu esa muhandislik loyihalarida qo'shimcha ehtiyotkorlik talab qiladi.

6. Narx va iqtisodiy cheklovlar

Ba'zi turdagi kompozit armaturalar (ayniqsa CFRP) ishlab chiqarish texnologiyasi murakkabligi sababli:

- boshlang'ich narxi yuqori
- ommaviy qurilishda iqtisodiy jihatdan har doim ham maqbul emas

7. Ulanish va ankerovka muammolari

FRP armaturalarning sirt tuzilishi va material xususiyatlari sababli:

- beton bilan yopishish xususiyati po'latdan farq qiladi
- ankerlash uzunligi ko'proq talab etiladi

- standart bog'lash usullari to'liq mos kelmaydi
Bu esa konstruktiv yechimlarni murakkablashtiradi.

Kompozit armaturalar yuqori mustahkamlik va korroziyaga chidamlilik kabi muhim afzalliklarga ega bo'lsa-da, ularning past elastiklik moduli, mo'rt buzilish xarakteri va yuqori haroratga sezgirliigi muhandislik nuqtai nazaridan jiddiy cheklovlar hisoblanadi. Shu sababli FRP armaturani qo'llashda konstruktiv hisoblash, ekspluatatsion sharoit va xavfsizlik omillari kompleks tarzda baholanishi zarur.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. ACI Committee 440. *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.1R-15)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, 2015.
2. ISIS Canada. *Design Manual No. 3: Reinforcing Concrete Structures with Fibre Reinforced Polymers*. Winnipeg, Canada, 2007.
3. CSA S806-12. *Design and Construction of Building Structures with Fibre-Reinforced Polymers*. Canadian Standards Association, 2012.
4. EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Design of Concrete Structures*. European Committee for Standardization, 2004.
5. Nawy E.G. *Concrete Construction Engineering Handbook*. CRC Press, 2008.
6. Zijl G.P.A.G., et al. *Mechanical Behaviour of FRP Reinforcement in Concrete*. Materials and Structures, Springer, 2010.
7. Motavalli M., et al. *FRP Composites in Structural Engineering*. Composite Structures Journal, 2013.
8. Daniel I.M., Ishai O. *Engineering Mechanics of Composite Materials*. Oxford University Press, 2006.