DOI: 10.65322/j.srd.05192026.48

TORMOZ KOLODKALARI MATERIALLARINING EVOLYUTSIYASI VA ASBESTDAN VOZ KECHISH SABABLARI

Ismatov Jumaniyez Fayzullayevich, *professor, t.f.d*
E-mail: jumaniyoz132@mail.ru,
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
Xolxo'jayev Elmurod Muxtorovich, *tayanch doktorant,*
E-mail: elmurodmuxtorov01@gmail.com,
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya: *Maqolada tormoz kolodkalari ishqalanish materiallarining rivojlanish evolyutsiyasi va asbestdan voz kechish sabablari tahlil qilingan. Organik, yarimmetallik, metallik va keramika asosidagi materiallarning asosiy xususiyatlari hamda ularning afzallik va kamchiliklari ko'rib chiqilgan. Zamonaviy tormoz materiallarini rivojlantirishning istiqbolli yo'nalishlari aniqlangan.*

Abstract: *The paper analyzes the evolution of friction materials used in brake pads and the main reasons for replacing asbestos. The properties, advantages and limitations of organic, semi-metallic, metallic and ceramic materials are considered. Promising directions for the development of modern brake friction materials are identified.*

Аннотация: *В статье проанализирована эволюция фрикционных материалов тормозных колодок и основные причины отказа от асбеста. Рассмотрены особенности органических, полуметаллических, металлических и керамических материалов, а также их основные преимущества и недостатки. Определены перспективные направления развития современных тормозных материалов.*

Kalit so'zlar: *tormoz kolodkasi, ishqalanish materiali, asbest, yarimmetallik kompozit, metallik material, keramika, tribologiya, yeyilish, ishqalanish koeffitsienti, tormoz changi.*

Keywords: *brake pad, friction material, asbestos, semi-metallic composite, ceramic, tribology, wear, coefficient of friction, brake wear particles.*

Ключевые слова: *тормозная колодка, фрикционный материал, асбест, полуметаллический композит, керамика, трибология, износ, коэффициент трения.*

Kirish. Avtomobilning faol xavfsizlik tizimlari ichida tormoz tizimi transport vositasining harakat tezligini boshqarish va uni xavfsiz to'xtatishni ta'minlovchi eng muhim tizimlardan biridir. Tormozlash vaqtida avtomobilning kinetik energiyasi ishqalanish natijasida asosan issiqlik energiyasiga aylantiriladi. Mazkur jarayon tormoz kolodkasi va diskining o'zaro tribologik ta'siri orqali amalga oshadi. Tormoz kolodkasi materiali yuqori bosim, sirpanish tezligi, takroriy yuklanish va keng harorat oralig'ida ishlaydi. Shuning uchun uning tarkibini shakllantirish oddiy mexanik mustahkamlik talabidan ancha murakkab bo'lib, materialning ishqalanish koeffitsienti, yeyilish tezligi, issiqlik barqarorligi, shovqin va vibratsiyasi hamda ekologik xavfsizligini bir vaqtning o'zida ta'minlashni talab qiladi. Tormoz ishqalanish materiallari, odatda, ko'p komponentli kompozitsiyalar hisoblanadi. Ularning tarkibida polimer bog'lovchi, mustahkamlovchi tolalar, abrazivlar, moylovchi komponentlar, mineral va metall to'ldirgichlar hamda ishqalanish modifikatorlari mavjud bo'lishi mumkin. Zamonaviy tadqiqotlar ushbu komponentlarning turi va miqdori materialning mikrostrukturasi, zichligi, g'ovakligi, mexanik va tribologik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishini ko'rsatmoqda. Tormoz materiallarining rivojlanish tarixida alohida bosqichni asbest asosidagi kompozitsiyalar egallaydi. Asbestning yuqori haroratga chidamliligi, tolali tuzilishi va mexanik xususiyatlari uni uzoq vaqt davomida tormoz qoplamalarida samarali komponentga aylantirgan. Biroq keyinchalik asbest tolalarining

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.48

inson salomatligiga jiddiy xavfi aniqlanib, undan foydalanishni kamaytirish va muqobil materiallarni ishlab chiqish zarurati yuzaga kelgan[1-4].

Mazkur maqolaning maqsadi – tormoz kolodkalari materiallarining asbest asosidagi kompozitsiyalardan zamonaviy asbestsiz organik, yarimmetallik, metallik va keramika asosidagi materiallargacha bo‘lgan evolyutsiyasini tizimli ravishda tahlil qilish hamda asbestdan voz kechishning asosiy ilmiy, tibbiy, ekologik va texnologik sabablarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo‘lib, tormoz ishqalanish materiallariga oid ilmiy maqolalar, sharh tadqiqotlar va xalqaro tashkilotlarning materiallari asosida olib borildi.

Tahlil jarayonida quyidagi mezonlar asosiy ko‘rsatkich sifatida qabul qilindi:

- ishqalanish koeffitsientining barqarorligi;
- termik barqarorlik va fade hodisasiga chidamlilik;
- kolodkaning yeyilish tezligi;
- tormoz diskining yeyilishi;
- mexanik mustahkamlik;
- shovqin va vibratsiya;
- tormoz changi hosil bo‘lishi;
- inson salomatligi va ekologik xavfsizlik;
- materialni ishlab chiqarish texnologiyasi va tannarxi.

Adabiyotlar tahlili zamonaviy tormoz kolodkalari tarkibi va ishlab chiqarish texnologiyasi ko‘p omilli ekanini ko‘rsatadi. Aralashtirish ketma-ketligi, presslash bosimi, harorat, vaqt va termik ishlov berish sharoitlari ham yakuniy materialning mikrostrukturasi va tribologik xususiyatlariga ta’sir ko‘rsatadi [2].

Asbest asosidagi tormoz materiallari. Avtomobilsozlikning dastlabki rivojlanish bosqichlarida tormoz materiallariga qo‘yiladigan asosiy talablar yuqori ishqalanish, issiqlikka chidamlilik va mexanik mustahkamlikdan iborat bo‘lgan. Asbest ushbu talablarning bir nechtasini bir vaqtning o‘zida qondira olgan. Uning tolali tuzilishi kompozitsiyani mustahkamlash, yuqori haroratga chidamlilik va ishqalanish jarayonida nisbatan barqaror ishlash imkonini bergan. AQSh EPA ma’lumotlariga ko‘ra, xrizotil asbestning issiqlikka chidamliligi, egiluvchanligi va yaxshi cho‘zilish mustahkamligi uni tormoz kolodkalari uchun texnologik jihatdan jozibador material qilgan. Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti ma’lumotlariga ko‘ra, asbestning barcha asosiy shakllari inson uchun kanserogen hisoblanadi. Asbest bilan ta’sirlanish o‘pka saratoni, mezotelioma, hiqildoq va tuxumdon saratoni hamda asbestoz kabi kasalliklar bilan bog‘liq. Shu sababli tormoz tizimlarida asbestdan foydalanishning eng muhim muammosi faqat tayyor kolodkaning o‘zi emas, balki undan foydalanish va texnik xizmat ko‘rsatish jarayonida hosil bo‘lishi mumkin bo‘lgan chang edi.Shunday qilib, asbestdan voz kechishning asosiy sababi uning tribologik xususiyatlari yetarli emasligi emas, balki inson salomatligi uchun kanserogen xavf va undan foydalanishning xavfsiz muqobillari paydo bo‘lgani bilan izohlanadi.

Asbestdan asbestsiz organic materiallarga o‘tish. Asbestdan voz kechish jarayonida birinchi muhim yo‘nalishlardan biri asbest tolalarini boshqa mustahkamlovchi tolalar bilan almashtirish bo‘ldi. Natijada NAO – Non-Asbestos Organic, ya’ni asbestsiz organik tormoz materiallari rivojlandi. Bu materiallarining tipik tarkibida fenol-formaldegid asosidagi bog‘lovchilar, aramid yoki mineral tolalar, grafit, abrazivlar, mineral to‘ldirgichlar va boshqa ishqalanish modifikatorlari ishlatilishi mumkin.

Ularning muhim afzalliklari quyadagilarda ifodalanadi:

- nisbatan past shovqin;
- yumshoq va qulay tormozlash;
- disk yuzasiga nisbatan kamroq agressiv ta’sir;

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.48

- asbestdan xoli tarkib;
- yengil avtomobillarda qo‘llash uchun qulaylik.

Biroq organik bog‘lovchilarning yuqori haroratdagi termik degradatsiyasi NAO materiallarining muhim cheklovlaridan biridir. Yuqori energiyali takroriy tormozlashda materialning ishqalanish xususiyatlari o‘zgarishi mumkin. Shu sababli keyingi tadqiqotlarda termik barqarorlikni oshirish maqsadida metall va mineral komponentlardan foydalanish kengaydi.

Yarimmetal va kam metall tarkibli materiallar. Tormoz tizimlariga tushadigan yuklamalarning ortishi va avtomobillarning konstruktiv rivojlanishi natijasida yarimmetall materiallar keng qo‘llanila boshladi. Yarimmetall kompozitsiyalar tarkibida po‘lat yoki temir tolalari, metall kukunlari, grafit, mineral to‘ldirgichlar, abrazivlar va polimer bog‘lovchilar mavjud bo‘lishi mumkin.

Metall komponentlarning kiritilishi materialning quyidagi xususiyatlarini oshirishga xizmat qiladi: issiqlik o‘tkazuvchanligi; mexanik mustahkamligi; yuqori haroratdagi barqarorli; ishqalanishga chidamliligi. Adabiyotlarda tormoz ishqalanish materiallarining uch asosiy klassifikatsiyasi sifatida kam metall tarkibli, yarimmetallik va asbestsiz turdagi kompozitsiyalar keng uchrashi qayd etilgan [1, 5].

Biroq metall miqdorining ortishi bilan materialning ayrim salbiy jihatlari ham kuchayishi mumkin. Jumladan, tormoz diskining yeyilishi, shovqin va vibratsiya hamda metall saqlovchi yeyilish zarrachalarining hosil bo‘lishi ortishi mumkin.

Demak, metall komponentni ko‘paytirish orqali faqat termik barqarorlikni oshirish emas, balki tormoz juftligining umumiy tribologik muvozanatini saqlash ham zarur.

Metall materiallar. Yuqori yuklama va yuqori harorat sharoitlarida ishlovchi tormoz tizimlarida metall komponentlarga boy ishqalanish materiallaridan foydalaniladi. Bunday materiallarda temir, po‘lat, mis, alyuminiy va boshqa metall komponentlar ishqalanish qatlamining shakllanishi hamda issiqlik uzatilishida muhim rol o‘ynaydi. Metall tolalarining ishqalanish xususiyatlariga ta’siri bo‘yicha tadqiqotlarda mis, po‘lat va alyuminiy tolalaridan foydalanilgan kompozitsiyalar turli harorat va qarshi sirt materiallarida sinovdan o‘tkazilgan. Natijalar metall tolasining turi ishqalanish koeffitsienti, yeyilish va yuqori haroratdagi barqarorlikka sezilarli ta’sir qilishini ko‘rsatgan [6].

Metallik materiallarning afzalliklari quyidagilar:
- yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi;
- yuqori haroratga chidamlilik;
- mexanik mustahkamlik;
- intensiv tormozlash sharoitida barqarorlik.

Kamchiliklari esa quyidagilarda ko‘rinadi:
- yuqori zichlik;
- diskning yeyilishi;
- shovqin va vibratsiyaning kuchayishi;
- metall zarrachalari emissiyasi.

Shu sababli zamonaviy tendensiya metall miqdorini shunchaki oshirish emas, balki minimal zarur metall miqdori orqali optimal tribologik xususiyatga erishishdan iborat.

Keramika asosidagi tormoz materiallari. Tormoz materiallari evolyutsiyasining zamonaviy bosqichida keramika va keramika-kompozit materiallar alohida ahamiyat kasb etmoqda.

Keramika komponentlarining yuqori termik barqarorligi, kimyoviy inertligi va yeyilishga chidamliligi ularni yuqori samaradorlik talab qilinadigan tormoz tizimlari uchun istiqbolli qiladi.

Keramika asosidagi tormoz materiallari quyidagi ko‘rsatkichlarini ta’minlashi mumkin:

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.48

- yuqori haroratda barqaror;
- nisbatan past shovqin hosil qilishi mumkin;
- yeyilishga chidamli;
- tormozlash jarayonida barqaror ishqalanish.

Shu bilan birga, keramika materiallarining ishlab chiqarish texnologiyasi murakkabligi va tannarxining yuqoriligi ularning ommaviy qo‘llanishini cheklovchi omillardan hisoblanadi. Zamonaviy tadqiqotlarda tormoz materiallari evolyutsiyasi aynan asbestdan asbestsiz, yarimmetallik va keramika materiallariga o‘tish sifatida ko‘rib chiqilmoqda [3, 4, 7].

Tormoz materiallarining qiyosiy tahlili. Tormoz kolodkasining materialini tanlashda yagona universal material mavjud emas. Materialning samaradorligi avtomobil massasi, tormoz tizimining konstruksiyasi, disk materiali, ish harorati, tormozlash chastotasi va ekspluatatsiya sharoitlariga bog‘liq.

1-jadval

Tormoz kolodkalari materiallarining asosiy xususiyatlari

Material turi	Termik barqarorlik	Shovqin	Yeyilish	Ekologik xavfsizlik	Asosiy qo‘llanish
Asbestli	Yuqori	Past–o‘rta	O‘rta	Juda past	Tarixiy
NAO	O‘rta	Past	O‘rta	Yuqori	Yengil avtomobillar
Kam metall tarkibli	O‘rta–yuqori	O‘rta	O‘rta	O‘rta–yuqori	Universal
Yarimmetallik	Yuqori	O‘rta–yuqori	Past–o‘rta	O‘rta	Yuqori yuklamalar
Metallik	Juda yuqori	Yuqori	Past	O‘rta–past	Maxsus/yuqori yuklama
Keramika	Yuqori	Past	Past	Yuqori	Zamonaviy yengil avtomobillar va yuqori samaradorlik tizimlari

Jadvaldagi baholar materiallarning umumiy tendensiyalarini ifodalaydi; aniq xususiyatlar ishlab chiqaruvchi, retseptura va tormoz juftligiga qarab sezilarli o‘zgaradi. Adabiyotlarda zamonaviy tormoz materiallari uchun ishqalanish koeffitsientining taxminan **0,35–0,50** oralig‘idagi qiymatlari ko‘p uchrashi qayd etilgan. Biroq ushbu ko‘rsatkichni bitta doimiy son sifatida qabul qilish noto‘g‘ri, chunki u harorat, bosim, tezlik, sirt holati va material tarkibiga bog‘liq [4].

Asbestdan voz kechishning ilmiy va tibbiy sabablari. Asbestdan voz kechish jarayonini uch asosiy yo‘nalishda izohlash mumkin.

1. Tibbiy sabab

Asbest tolalari nafas yo‘llari orqali organizmga tushganda jiddiy patologik o‘zgarishlarni keltirib chiqarishi mumkin. JST ma’lumotlariga ko‘ra, asbestning barcha shakllari kanserogen hisoblanadi. Ular o‘pka saratoni va mezotelioma bilan bir qatorda asbestoz kabi surunkali o‘pka kasalliklarini ham keltirib chiqarishi mumkin.

2. Kasbiy xavfsizlik

Tormoz kolodkalarini almashtirish, ta’mirlash, tozalash va boshqa texnik operatsiyalar vaqtida hosil bo‘ladigan chang ishchilar uchun potensial xavf tug‘diradi. Asbest saqlovchi avtomobil tormozlari bilan ishlash vaqtida texnik xodimlar va boshqa shaxslarning asbest tolalarini nafas orqali qabul qilish ehtimoli qayd etilgan.

3. Muqobil texnologiyalarning paydo bo‘lishi

Asbestning funksional xususiyatlarini boshqa materiallar kombinatsiyasi orqali ta’minlash imkonini beruvchi texnologiyalar rivojlandi. NAO, mineral tolalar, aramid, keramika, metall

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.48

tolalar va boshqa komponentlar asosida yangi kompozitsiyalar ishlab chiqildi. Shuning uchun asbestdan foydalanishning texnologik zaruriyati ham sezilarli darajada kamaydi.

Ekologik talablar va tormoz changi muammosi. Asbestdan voz kechish bilan tormoz materiallarining ekologik muammolari to‘liq yakunlangan deb hisoblash mumkin emas. Zamonaviy tadqiqotlarda tormoz kolodkasi va disklarining yeyilishi natijasida hosil bo‘ladigan dispers zarrachalar avtomobilning chiqindi gazlar bilan bog‘liq bo‘lmagan emissiyalarining muhim manbalaridan biri sifatida o‘rganilmoqda. Ayniqsa mis va boshqa metall komponentlarning ekologik ta’siri bo‘yicha tadqiqotlar kuchaymoqda. Shu sababli ayrim bozorlarda tormoz materiallaridagi mis miqdorini kamaytirish yoki misdan voz kechish bo‘yicha ekologik va normativ tashabbuslar shakllangan. Bu holat tormoz materiallari evolyutsiyasining keyingi bosqichida asosiy maqsad faqat “asbestsiz material” yaratish emasligini ko‘rsatadi. Zamonaviy talab – kam chang hosil qiluvchi, og‘ir metallardan xoli, uzoq xizmat qiluvchi va yuqori tribologik barqarorlikka ega ekologik kompozitsiya yaratishdir.

Zamonaviy tadqiqotlar va istiqbolli yo‘nalishlar. 2024–2026-yillardagi sharh tadqiqotlar tormoz materiallari bo‘yicha izlanishlarning bir necha muhim yo‘nalishda rivojlanayotganini ko‘rsatadi [3, 4]. Birinchi yo‘nalish – tabiiy tolalardan foydalanish. Turli o‘simlik tolalari va biomassa asosidagi komponentlardan foydalanish materialning ekologik yuklamasini kamaytirish imkonini beradi.

Ikkinchi yo‘nalish – mis miqdorini kamaytirish yoki misdan butunlay voz kechish. Misning yuqori issiqlik o‘tkazuvchanligi uni tormoz materiallarida foydali komponentga aylantiradi, biroq uning atrof-muhitga tushishi ekologik xavotirlarni kuchaytiradi.

Uchinchi yo‘nalish – nano-modifikatsiya. Nanoo‘lchamdagi qo‘shimchalar ishqalanish qatlamining mikrostrukturasini boshqarish, issiqlik tarqalishini yaxshilash va yeyilishni kamaytirish uchun qo‘llanilmoqda.

To‘rtinchi yo‘nalish – ishlab chiqarish parametrlarini optimallashtirish. Aralashtirish, presslash va termik ishlov berish rejimlarini optimallashtirish materialning yakuniy mikrostrukturasi va tribologik xususiyatlarini sezilarli darajada o‘zgartirishi mumkin [2].

Beshinchi yo‘nalish – raqamli modellashtirish va sun’iy intellekt asosidagi optimallashtirish. Zamonaviy tadqiqotlarda ishqalanish materiallarining tarkibi va ishlash ko‘rsatkichlarini prognozlash uchun matematik modellashtirish, chekli elementlar usuli va ma’lumotlarga asoslangan yondashuvlardan foydalanish istiqbolli deb qaralmoqda.

Tormoz kolodkalari materiallarining tarixiy evolyutsiyasi materialshunoslikdagi oddiy almashtirish jarayonidan ko‘ra murakkabroq ekanini ko‘rsatadi. Asbest yuqori termik va mexanik xususiyatlari sababli uzoq vaqt samarali material bo‘lib xizmat qilgan. Uning o‘rnini bosuvchi material yaratishda esa faqat bitta xususiyatni, masalan, issiqlikka chidamlilikni takrorlash yetarli emas. Yangi material bir vaqtning o‘zida ishqalanish barqarorligi, yeyilishga chidamlilik, issiqlikni boshqarish, mexanik mustahkamlik va ekologik xavfsizlikni ta’minlashi kerak. Shu nuqtayi nazardan, zamonaviy tormoz kolodkasini ko‘p fazali tribologik kompozit sifatida qarash maqsadga muvofiq. Tormozlash jarayonida kolodka va diskning haqiqiy kontakt maydoni nominal geometrik maydondan ancha kichik bo‘ladi. Natijada mikro-kontaktlarda yuqori lokal harorat va bosim yuzaga keladi. Ushbu sharoitda ishqalanish qatlami, ya’ni tribofilm shakllanadi. Uning tarkibi va barqarorligi ishqalanish koeffitsienti hamda yeyilish jarayoniga katta ta’sir ko‘rsatadi. Tormoz materiallarining zamonaviy tadqiqotlarida aynan ushbu sirt qatlamining shakllanish mexanizmlarini aniqlash muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Shuning uchun ham kelajakdagi tormoz materiallarini loyihalashda “materialning hajmiy tarkibi” bilan bir qatorda “ishqalanish vaqtida shakllanadigan sirt qatlamining tarkibi va dinamikasi”ni ham hisobga olish zarur.

Xulosa. Olib borilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, tormoz kolodkalari ishqalanish materiallarining rivojlanishi asbest asosidagi kompozitsiyalardan asbestsiz organik, kam metall

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.48

tarkibli, yarimmetall, metall va keramika asosidagi zamonaviy kompozitsiyalarga tomon izchil evolyutsiyalangan. Asbestning uzoq vaqt davomida tormoz materiallarida qo‘llanilishiga uning yuqori haroratga chidamliligi, tolali tuzilishi va mexanik xususiyatlari sabab bo‘lgan bo‘lsa-da, inson salomatligi uchun kanserogen xavfi, kasbiy ta’sirlanish ehtimoli hamda xavfsiz muqobil materiallarning rivojlanishi natijasida undan foydalanish bosqichma-bosqich cheklangan. Asbestsiz organik materiallar past shovqin va komfortli tormozlash xususiyatlari bilan ajralib tursa, yarimmetall va metall materiallar yuqori harorat hamda yuklamalarda barqaror ishlashi bilan tavsiflanadi. Biroq metall tarkibining ortishi shovqin, tormoz diskining yeyilishi va metall zarrachalar emissiyasi kabi muammolarni yuzaga keltirishi mumkin. Shu bilan birga, zamonaviy tormoz materiallarini ishlab chiqishda ekologik xavfsizlik talablari tobora muhim ahamiyat kasb etib, nafaqat asbest, balki tormoz yeyilishi natijasida hosil bo‘ladigan metall va mineral zarrachalar emissiyasini kamaytirish masalasi ham dolzarb bo‘lib qolmoqda. Kelgusidagi tadqiqotlarda tabiiy tolalar, misdan xoli kompozitsiyalar, nano-modifikatorlar, qayta ishlanadigan bog‘lovchilar va kam chang hosil qiluvchi tribologik materiallardan foydalanish istiqbolli yo‘nalish sifatida qaralishi mumkin. Umuman olganda, tormoz kolodkalari materiallarining zamonaviy evolyutsiyasi yuqori ishqalanish koeffitsientini ta’minlashdan tashqari, barqaror ishqalanish, minimal yeyilish, yuqori termik barqarorlik va ekologik xavfsizlikni kompleks ta’minlash tamoyiliga yo‘naltirilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

1. Chan D., Stachowiak G.W. Review of automotive brake friction materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2004. Vol. 218(9). P. 953–966. DOI: 10.1243/0954407041856773. ResearchGate

2. Hentati N., Makni F., Elleuch R. Braking performance of friction materials: a review of manufacturing process impact and future trends. Tribology – Materials, Surfaces & Interfaces. 2023. Vol. 17(2). P. 136–157. DOI: 10.1080/17515831.2023.2216092. DOI

3. Raghunathan S. et al. Advances in brake friction materials: A comprehensive review of ingredients, processing methods, and performance characteristics. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2024. Vol. 30(6). P. 1396–1431. DOI: 10.1002/vnl.22149. SPE Inspiring Plastics Professionals

4. Essam M.A., Abdeltawab N.M., Fathy A., Elmahdy M. Brake pads automotive industries, formulations, characteristics and testing: A review. Next Research. 2026. Vol. 3. Article 101153. DOI: 10.1016/j.nexres.2025.101153. ScienceDirect

5. Sathyamoorthy G., Vijay R., Singaravelu D.L. Brake friction composite materials: A review on classifications and influences of friction materials in braking performance with characterizations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. 2022. Vol. 236(8). P. 1674–1706. DOI: 10.1177/13506501211064082. Sage Journals

6. Effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials. Wear. 2004. Vol. 256. P. 406–414. DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00445-9. ScienceDirect

7. Ismatov.J.F, Xolxo‘jayev.E.M Bazalt tolasi fizik-mexanik va xususiyatlarining avtomobilsozlik uchun ahamiyati. “Raqamli mashinasozlikda avtomatlashtirish, intellektual tizimlar, tendensiyalar, muammolar va yechimlar” xalqaro miqyosdagi ilmiy va ilmiy texnik konferensiya. Toshkent.sh. ToshDTU 2026 yil. 1-2-may Konferensiya materiallari to‘plami 213-215b