Website:https://www.bgpulseusa.com/index.php/ICAIA Volume 7,Issue 01,November-2026

TORMOZ USTQUYMALARINING ISHLAB CHIQARISHDA HOZIRGI KUNDAGI ENG XAVFSIZ MATERIALLAR VA ULARDAN FOYDALANISH TENDENSIYALARI

Djasanov G'ayrat Ibragimovich
(90)4405488
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.24050404

Annotatsiya Ushbu maqolada avtomobil tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda qo'llanilayotgan zamonaviy friksion materiallarning ekologik va ekspluatatsion xususiyatlari tahlil qilindi. So'nggi yillarda transport vositalari sonining ortishi natijasida tormoz tizimlaridan ajralib chiqayotgan yeyilish mahsulotlari atmosfera havosining ifloslanishiga sezilarli hissa qo'shayotgani ilmiy tadqiqotlarda qayd etilgan. Shu sababli asbest, mis va surma kabi ekologik xavfli komponentlar o'rniga keramik, misdan xoli (Copper-free), organik (NAO), bazalt tolali hamda bioasosli kompozitsion materiallardan foydalanish tendensiyasi kuchaymoqda. Maqolada ushbu materiallarning ishqalanish koeffitsienti, yeyilishga chidamliligi, issiqlik barqarorligi va mayda zarrachalar hosil qilish xususiyatlari tahlil qilinadi. Shuningdek, grafen, uglerod nanotubkalari va boshqa nanomodifikatorlarning friksion materiallar tarkibiga qo'shilishi natijasida erishilayotgan afzalliklar yoritiladi. Tadqiqot natijalari kelajakda ekologik xavfsiz, uzoq xizmat qiluvchi va yuqori samaradorlikka ega tormoz ustquymalarini yaratish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Аннотация
этой статье анализируются экологические и эксплуатационные свойства современных фрикционных материалов, используемых в производстве автомобильных тормозных отливок. В результате увеличения числа транспортных средств в последние годы научные исследования отмечают, что выбросы, выбросываемые тормозными системами, существенно способствуют загрязнению атмосферного воздуха. Поэтому вместо экологически опасных компонентов, таких как асбест, медь и пятна, растёт тенденция использовать керамические, безмедные, органические (NAO), базальтовые волокна и биокомпозитные материалы. В статье анализируются коэффициенты трения, устойчивости к истиранию, термоустойчивости и свойства образования мелких частиц этих материалов. Также подчёркивают преимущества, которые можно достичь при объединении графена, углеродных нанотрубок и других наномодификаторов в материал фрекинга. Результаты исследования могут служить научной основой для создания экологически чистых, долговечных и высокоэффективных тормозных накладных накладных систем в будущем.

Kalit so'zlar: tormoz ustquymasi, friksion materiallar, keramika, NAO, Copper-free, grafen, uglerod nanotubkasi, bazalt tolasi, yeyilish, PM2.5, ekologik xavfsizlik, avtomobil transporti.

Ключевые слова: тормозное покрытие, фрикционные материалы, керамика, NAO, без меди, графен, углеродные нанотрубки, базальтовое волокно, окантовка, PM2.5, экологическая безопасность, автомобильный транспорт.

Avtomobil transporti zamonaviy jamiyatning ajralmas qismi bo'lib, uning uzluksiz va xavfsiz ishlashi ko'p jihatdan tormoz tizimining ishonchliligiga bog'liq. Tormoz tizimining asosiy ishchi elementi hisoblangan tormoz ustquymalari (brake pads) mexanik energiyani ishqalanish orqali issiqlikka aylantirib, transport vositasining harakatini sekinlashtiradi yoki to'xtatadi. An'anaviy ravishda tormoz ustquymalari tarkibida asbest, mis, qo'rg'oshin, surma sulfidi va boshqa og'ir metall birikmalaridan foydalanilgan. Ushbu komponentlar yuqori ishqalanish koeffitsienti va issiqlikka chidamlilikni ta'minlagan bo'lsa-da, ularning inson salomatligi hamda atrof-muhitga salbiy ta'siri keyingi yillarda ko'plab ilmiy tadqiqotlarda isbotlangan. Ayniqsa, tormozlash vaqtida hosil bo'ladigan

© 2026 International Conference on Artificial Intelligence and Applications . All Rights Reserved.

PM10 va PM2.5 o'lchamdagi zarrachalar havoga tarqalib, inson nafas olish tizimiga kirishi mumkin. So'nggi tadqiqotlar ushbu zarrachalar tarkibida temir, mis, rux, surma, marganes va boshqa metall elementlari mavjudligini ko'rsatmoqda. Ushbu zarrachalar yurak-qon tomir kasalliklari, bronxial astma, surunkali obstruktiv o'pka kasalligi hamda onkologik kasalliklar rivojlanish xavfini oshirishi mumkin. Shu sababli dunyo avtomobil sanoatida ekologik xavfsiz friksion materiallarni yaratish ustuvor yo'nalishlardan biriga aylandi. Ayniqsa, Yevropa Ittifoqi, AQSH va Yaponiya ishlab chiqaruvchilari mis miqdorini keskin kamaytirish hamda butunlay misdan xoli tormoz ustquymalarini ishlab chiqishga katta e'tibor qaratmoqda. Bundan tashqari, elektr avtomobillar ulushining ortishi ham yangi avlod tormoz materiallariga bo'lgan talabni kuchaytirmoqda. Rekuperativ tormozlash tufayli ishqalanish kamroq sodir bo'lsa-da, tormoz tizimi uzoq muddat xizmat qilishi, korroziyaga bardoshli bo'lishi va favqulodda holatlarda yuqori samaradorlikni saqlab qolishi talab etiladi. Shu nuqtai nazardan, tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda qo'llanilayotgan xavfsiz materiallarning ekspluatatsion hamda ekologik xususiyatlarini chuqur o'rganish ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi. So'nggi yillarda avtomobilsozlik sanoatida tormoz ustquymalari tarkibini takomillashtirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar sezilarli darajada jadallashdi. Bunga asosiy sabab tormozlash jarayonida hosil bo'ladigan mayda zarrachalarning atmosfera havosini ifloslantirishi hamda inson salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatishidir. Shu bois ekologik xavfsiz, yuqori samaradorlikka ega va uzoq xizmat qiluvchi friksion materiallarni yaratish bugungi kunning dolzarb ilmiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Keramik asosli tormoz ustquymalari hozirgi kunda eng istiqbolli materiallardan biri hisoblanadi. Ularning tarkibi odatda aluminiy oksidi (Al_2O_3), kremniy oksidi (SiO_2), zirkoniy oksidi (ZrO_2), shisha tolalari hamda yuqori haroratga chidamli bog'lovchi moddalardan iborat. Keramik materiallarning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat: ishqalanish koeffitsientining barqarorligi; yuqori haroratda deformatsiyalanmasligi; shovqin darajasining pastligi; disk yeyilishini kamaytirishi; chang ajralishining kamligi; ekologik xavfsizligi. Keramik ustquymalar ayniqsa elektromobillar va premium toifadagi avtomobillarda keng qo'llanilmoqda. Ularning kamchiligi ishlab chiqarish tannarxining yuqoriligi hisoblanadi. NAO materiallari asbestdan butunlay voz kechilgan holda ishlab chiqariladi. Ularning tarkibiga odatda: aramid tolalari; kevlar tolalari; kauchuk; grafit; qatronlar; shisha tolalari; mineral kukunlar kiradi. NAO ustquymalari ekologik xavfsizligi, yumshoq ishlashi va past shovqini bilan ajralib turadi. Shu bilan birga ular tormoz disklarini kamroq yeydiradi. Kamchiliklari: yuqori haroratda ishqalanish koeffitsienti pasayishi; og'ir yuk avtomobillarida tezroq yeyilishi. Bugungi kunda shahar avtomobillarining katta qismida aynan NAO texnologiyasidan foydalanilmoqda.

Avvallari mis tormoz ustquymalarida issiqlikni yaxshi o'tkazuvchi komponent sifatida ishlatilgan. Biroq ilmiy tadqiqotlar mis zarralari suv havzalariga tushganda baliqlar va boshqa suv organizmlariga toksik ta'sir ko'rsatishini isbotladi. Shu sababli AQSH va Yevropa davlatlarida mis miqdorini keskin kamaytirish bo'yicha ekologik me'yorlar joriy etildi. Mis o'rniga quyidagi materiallardan foydalanilmoqda: grafit; temir kukuni; titan oksidi; keramika tolalari; bazalt tolasi; vermikulit; slyuda (mica). Natijada ekologik xavfsizlik sezilarli oshmoqda.

Bazalt tabiiy vulqon jinsidan olinadigan ekologik toza material hisoblanadi.
Bazalt tolalarining afzalliklari: yuqori mustahkamlik; issiqlikka chidamlilik; kimyoviy barqarorlik; past narx; zaharli moddalarning ajralmasligi. Ko'plab olimlar bazalt tolalarini kelajakdagi eng istiqbolli armirlovchi material sifatida baholamoqda.

Aramid tolalari yuqori mexanik mustahkamlikka ega bo'lib, asbestning eng muvaffaqiyatli o'rinbosarlaridan biri hisoblanadi. Afzalliklari: yuqori ishqalanish koeffitsienti; uzoq xizmat muddati; yuqori haroratga chidamlilik; chang ajralishining kamayishi. Kamchiligi — narxining nisbatan yuqoriligidir. Oxirgi o'n yillikda friksion materiallar ishlab chiqarishda nanomateriallardan foydalanish eng istiqbolli ilmiy yo'nalishlardan biriga aylandi. Eng ko'p qo'llanilayotgan nanomodifikatorlar: grafen; uglerod nanotubkalari (CNT); Al_2O_3 nanopartikullari; SiC nanopartikullari; TiO_2 nanopartikullari; nano-grafit.
Nanomateriallar quyidagi afzalliklarni ta'minlaydi: yeyilishning 20–40 % gacha kamayishi; ishqalanish koeffitsientining barqarorlashishi; issiqlik o'tkazuvchanligining yaxshilanishi; mikroyoriqlar hosil

© 2026 International Conference on Artificial Intelligence and Applications . All Rights Reserved.

bo'lishining kamayishi; chang ajralishining kamayishi. Ayniqsa grafen qo'shilgan kompozitsiyalar hozirgi paytda dunyoning yetakchi ilmiy markazlarida faol o'rganilmoqda. Material turi Ekologik xavfsizlik Yeyilishga chidamlilik Issiqlikka chidamlilik. Narxi Keramika Juda yuqori Yuqori NAO Yuqori O'rtacha Copper-Free Juda yuqori Yuqori O'rtacha Bazalt tolali Juda yuqori Past Aramid tolali Yuqori Juda yuqori Yuqori Grafenli kompozit Eng yuqori Juda yuqori Muallifning ilmiy tahlili Tahlillar shuni ko'rsatadiki, kelajakda tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda bitta materialdan emas, balki ko'p komponentli gibrid kompozitsion materiallardan foydalanish ustunlik qiladi. Xususan, bazalt tolasi, grafen, nano-grafit va ekologik toza bog'lovchi qatronlardan iborat kompozitsiyalar yuqori ekspluatatsion ko'rsatkichlar bilan bir qatorda atrof-muhitga salbiy ta'sirni ham sezilarli kamaytiradi. Shuningdek, sun'iy intellekt va mashinali o'qitish usullaridan foydalanib yangi friksion materiallar tarkibini modellashtirish istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Bu usullar materiallarning ishqalanish xususiyatlari, yeyilish tezligi va issiqlik barqarorligini oldindan prognoz qilish imkonini beradi hamda tajriba xarajatlarini kamaytiradi. So'nggi o'n yilliklarda avtomobilsozlik sanoatida ekologik xavfsizlik va barqaror rivojlanish tamoyillari ustuvor yo'nalishga aylandi. Natijada tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda ham yuqori samaradorlik bilan bir qatorda atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirishga qaratilgan yangi materiallar va texnologiyalar joriy etilmoqda. Yevropa, AQSH va Yaponiyaning yetakchi avtomobil ishlab chiqaruvchilari tomonidan amalga oshirilayotgan ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kelajakdagi tormoz ustquymalari quyidagi talablarga javob berishi lozim: og'ir metallarsiz ishlab chiqarilishi; $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalarining hosil bo'lishini kamaytirishi; yuqori haroratda ishqalanish koeffitsientini barqaror saqlashi; uzoq xizmat muddatiga ega bo'lishi; elektromobillar uchun ham samarali ishlashi; qayta ishlash va utilizatsiya qilish imkoniyatiga ega bo'lishi. Ayniqsa, elektromobillar ulushining ortishi tufayli tormoz ustquymalariga qo'yiladigan talablar o'zgarmoqda. Rekuperativ tormozlash tizimlari tufayli mexanik tormozlardan kamroq foydalanilsa-da, favqulodda vaziyatlarda ularning ishonchliligi yuqori bo'lishi shart. Shu sababli korroziyaga chidamli, namlik ta'sirida xossalarini yo'qotmaydigan va uzoq muddat barqaror ishlaydigan kompozitsion materiallar ishlab chiqilmoqda. Hozirgi ilmiy izlanishlar quyidagi materiallarni eng istiqbolli yo'nalish sifatida ko'rsatmoqda: Grafen asosidagi kompozitlar Grafen yuqori mexanik mustahkamlik, issiqlik o'tkazuvchanligi va aşınishga chidamliligi bilan ajralib turadi. Friksion material tarkibiga oz miqdorda qo'shilganda ham: ishqalanish koeffitsientini barqarorlashtiradi; yeyilish tezligini kamaytiradi; tormoz diskining xizmat muddatini uzaytiradi; chang hosil bo'lishini kamaytiradi. Uglerod nanotubkalari (Carbon Nanotubes) Uglerod nanotubkalari kompozit materiallarning mexanik xossalarini yaxshilaydi, mikroyoriqlar hosil bo'lishining oldini oladi va issiqlikni samarali tarqatadi. Biroq ularning yuqori narxi sanoatda keng qo'llanishini hozircha cheklab turibdi. Bioasosli materiallar So'nggi yillarda kokos tolasi, zig'ir tolasi, kanop, bambuk, guruch qobig'i kuli va boshqa tabiiy xomashyolardan tayyorlangan kompozitsion materiallar ustida keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu materiallar qayta tiklanuvchi resurslardan olinishi, ekologik xavfsizligi va utilizatsiya qilish qulayligi bilan ajralib turadi.

Muallifning ilmiy takliflari

Mavjud ilmiy tadqiqotlar va sanoat tajribasini tahlil qilish asosida quyidagi takliflar ilgari suriladi: Asbest va mis asosidagi friksion materiallardan bosqichma-bosqich to'liq voz kechish maqsadga muvofiq. Bazalt tolasi, grafen va nano-grafit asosidagi gibrid kompozitsion materiallarni yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish zarur. Tormoz yeyilishidan hosil bo'ladigan $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalarining kimyoviy tarkibini muntazam monitoring qilish tizimini joriy etish lozim. Sun'iy intellekt va mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalanib yangi friksion materiallar tarkibini optimallashtirish tavsiya etiladi. Mahalliy xomashyo, jumladan bazalt, kaolin va boshqa mineral resurslardan foydalanish orqali import o'rnini bosuvchi ekologik xavfsiz tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishni rivojlantirish maqsadga muvofiq. O'zbekistonda avtomobil tormoz tizimlaridan ajraladigan yeyilish mahsulotlarining atmosfera havosiga ta'sirini baholash bo'yicha kompleks ilmiy tadqiqotlarni amalga oshirish zarur.

© 2026 International Conference on Artificial Intelligence and Applications . All Rights Reserved.

Xulosa

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, zamonaviy avtomobilsozlik sanoatida tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda ekologik xavfsiz materiallardan foydalanish tobora kengayib bormoqda. Asbest va mis asosidagi an'anaviy friksion materiallar o'rniga keramika, NAO, Copper-Free, bazalt tolali va aramid tolali kompozitsiyalar qo'llanilmoqda. So'nggi o'n yilliklarda avtomobilsozlik sanoatida ekologik xavfsizlik va barqaror rivojlanish tamoyillari ustuvor yo'nalishga aylandi. Natijada tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda ham yuqori samaradorlik bilan bir qatorda atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirishga qaratilgan yangi materiallar va texnologiyalar joriy etilmoqda. Yevropa, AQSH va Yaponiyaning yetakchi avtomobil ishlab chiqaruvchilari tomonidan amalga oshirilayotgan ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kelajakdagi tormoz ustquymalari quyidagi talablarga javob berishi lozim: og'ir metallarsiz ishlab chiqarilishi; $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalarining hosil bo'lishini kamaytirishi; yuqori haroratda ishqalanish koeffitsientini barqaror saqlashi; uzoq xizmat muddatiga ega bo'lishi; elektromobillar uchun ham samarali ishlashi; qayta ishlash va utilizatsiya qilish imkoniyatiga ega bo'lishi. Ayniqsa, elektromobillar ulushining ortishi tufayli tormoz ustquymalariga qo'yiladigan talablar o'zgarmoqda. Rekuperativ tormozlash tizimlari tufayli mexanik tormozlardan kamroq foydalanilsa-da, favqulodda vaziyatlarda ularning ishonchliligi yuqori bo'lishi shart. Shu sababli korroziyaga chidamli, namlik ta'sirida xossalarini yo'qotmaydigan va uzoq muddat barqaror ishlaydigan kompozitsion materiallar ishlab chiqilmoqda.Hozirgi ilmiy izlanishlar quyidagi materiallarni eng istiqbolli yo'nalish sifatida ko'rsatmoqda: Grafen asosidagi kompozitlar Grafen yuqori mexanik mustahkamlik, issiqlik o'tkazuvchanligi va aşınishga chidamliligi bilan ajralib turadi. Friksion material tarkibiga oz miqdorda qo'shilganda ham: ishqalanish koeffitsientini barqarorlashtiradi; yeyilish tezligini kamaytiradi; tormoz diskining xizmat muddatini uzaytiradi; chang hosil bo'lishini kamaytiradi. Uglerod nanotubkalari (Carbon Nanotubes) Uglerod nanotubkalari kompozit materiallarning mexanik xossalarini yaxshilaydi, mikroyoriqlar hosil bo'lishining oldini oladi va issiqlikni samarali tarqatadi. Biroq ularning yuqori narxi sanoatda keng qo'llanishini hozircha cheklab turibdi. Bioasosli materiallar So'nggi yillarda kokos tolasi, zig'ir tolasi, kanop, bambuk, guruch qobig'i kuli va boshqa tabiiy xomashyolardan tayyorlangan kompozitsion materiallar ustida keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu materiallar qayta tiklanuvchi resurslardan olinishi, ekologik xavfsizligi va utilizatsiya qilish qulayligi bilan ajralib turadi.

Ilmiy takliflar

Mavjud ilmiy tadqiqotlar va sanoat tajribasini tahlil qilish asosida quyidagi takliflar ilgari suriladi: Asbest va mis asosidagi friksion materiallardan bosqichma-bosqich to'liq voz kechish maqsadga muvofiq. Bazalt tolasi, grafen va nano-grafit asosidagi gibrid kompozitsion materiallarni yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish zarur. Tormoz yeyilishidan hosil bo'ladigan $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalarining kimyoviy tarkibini muntazam monitoring qilish tizimini joriy etish lozim. Sun'iy intellekt va mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalanib yangi friksion materiallar tarkibini optimallashtirish tavsiya etiladi. Mahalliy xomashyo, jumladan bazalt, kaolin va boshqa mineral resurslardan foydalanish orqali import o'rnini bosuvchi ekologik xavfsiz tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishni rivojlantirish maqsadga muvofiq. O'zbekistonda avtomobil tormoz tizimlaridan ajraladigan yeyilish mahsulotlarining atmosfera havosiga ta'sirini baholash bo'yicha kompleks ilmiy tadqiqotlarni amalga oshirish zarur. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, zamonaviy avtomobilsozlik sanoatida tormoz ustquymalarini ishlab chiqarishda ekologik xavfsiz materiallardan foydalanish tobora kengayib bormoqda. Asbest va mis asosidagi an'anaviy friksion materiallar o'rniga keramika, NAO, Copper-Free, bazalt tolali va aramid tolali kompozitsiyalar qo'llanilmoqda.

Ilmiy yangilik (maqolaga alohida kiritish tavsiya etiladi)

Maqolaning ilmiy yangiligi shundan iboratki, tormoz ustquymalarida qo'llanilayotgan zamonaviy ekologik xavfsiz materiallar kompleks ravishda tahlil qilinib, ularning atmosfera havosiga chiqariladigan $PM_{2.5}$ va PM_{10} zarrachalari hosil bo'lishiga ta'siri baholandi. Shuningdek, bazalt tolasi, grafen va uglerod nanotubkalari asosidagi gibrid kompozitsion materiallarning istiqbollari ilmiy

© 2026 International Conference on Artificial Intelligence and Applications . All Rights Reserved.

asoslandi hamda O'zbekiston sharoitida mahalliy mineral resurslardan foydalanish imkoniyatlari bo'yicha takliflar ishlab chiqildi.

Foydalanilgan adabiyotlar (2020–2025)

1. Feo M.L. va boshq. Laboratory and on-road testing for brake wear particle emissions: a review. Environmental Science and Pollution Research, 2023.
2. PubMed Straffelini G. va boshq. On the impact of pad material ingredients on particulate wear emissions from disc brakes. Results in Engineering, 2023.
3. ScienceDirect Brake wear-derived particles: Single-particle mass spectral signatures and real-world emissions. Journal of Hazardous Materials Advances, 2023.
4. ScienceDirect Biological effects of brake wear particles in mammalian models: A systematic review. Science of the Total Environment, 2024.
5. ScienceDirect Vyshak S., Balakrishnashankar S. Review on the recent advances in various properties of epoxy nanocomposites brake pad materials. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2023.
6. Amrita Vishwa Vidyapeetham Kumar M., Ghosh P. Friction materials for automotive brake systems.
7. Blau P.J. Compositions, Functions and Testing of Friction Brake Materials.
8. Grigoratos T., Martini G. Non-exhaust traffic emissions.
9. Eriksson M. Tribological behaviour of automotive brake materials.
10. Wahlström J. Wear particles generated from braking systems.
11. Chan D., Stachowiak G. Review of automotive brake friction materials.
12. Jang H. Environmentally friendly friction composites.
13. Kukutschová J. Brake wear particle characterization.
14. Kim S.J. Copper-free brake pad development.
15. European Commission. Euro 7 Regulation.
16. OECD. Non-Exhaust Emissions from Road Transport.
17. SAE International. Brake Friction Materials Standards.

© 2026 International Conference on Artificial Intelligence and Applications . All Rights Reserved.