ISSN: 2181-4341, IMPACT FACTOR (RESEARCH BIB) – 9.145, SJIF – 5,431

Buranov X., Maxramqulova M., Omonov R.

(Samarqand davlat universiteti)

KONTAKTDA BO‘LGAN JISMLAR PROFILIGA BOG‘LIQ HOLDA ADGEZION SIRT ENERGIYASINING O‘ZGARISHI

Annotatsiya

Qattiq jismlarning o‘zaro kontakti jarayonida adgeziyaning rolini hisobga olish texnik mexanizmlarni loyihalashda, ham biologik tizimlarni tahlil qilishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Adgeziya ko‘plab parametrlar, jumladan, kontaktda bo‘lgan sirtlarning geometriyasi bilan birgalikda ishqalanishga sezilarli hissa qo‘shishi mumkin. Mazkur maqolada adgezion xususiyatga ega bo’lgan elastomer va o‘qqa nisbatan simmetrik (aksisimetrik) darajali qonuniyatga ega bo‘lgan profilli indenter o‘rtasidagi o’zaro ta’sir tadqiq etiladi. Bunda indenter elastomer ichiga ma’lum miqdorda botirilib, kichik tezlik bilan harakatlantiriladi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, bunday indentor profili sirt energiyasining o’zgarishiga, ishqalanish kuchlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

Kalit so‘zlar

ishqalanish, adgeziya, elastomer, sirt energiyasi.

KIRISH

Mashinasozlikda ishqalanishga adgezion ta’siri muhim rol o‘ynaydi va mexanik tizimlarning ishlash ko‘rsatkichlari, chidamliligi hamda samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Qattiq jismlar orasidagi kontaktda adgeziya foydali bo‘lishi mumkin — masalan, biriktirish, qoplama hosil qilish yoki moylash materialini ushlab turishda; yoki aksincha, yeyilish, yopishish yoki ishqalanuvchi detallar orasidagi istalmagan adgeziya holatlarida bo‘lgani kabi salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shuning uchun adgezion o‘zaro ta’sirlarni tushunish va nazorat qilish mashina va mexanizmlar ishini optimallashtirish uchun zarurdir.

Adgeziya kuchlari ishqalanish koeffitsiyentiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Tahlil miqyosi (mikro va makro), materialning xususiyati (elastik, plastik), kontakt turi (quruq, moylangan, adgezion) va talab qilinadigan aniqlikka qarab, bunday masalalarni o‘rganishda turli tahliliy va sonli usullar qo‘llaniladi. Ushbu sohadagi ko‘plab ilmiy tadqiqotlar nazariy ishqalanish modellarini, jumladan, keng qo‘llaniladigan Jonson–Kendall–Roberts (JKR) nazariyasini [1–3] o‘z ichiga oladi; bu nazariya elastik jismlarning adgezion kontakt xatti-harakatlarini tahlil qilish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Bundan tashqari, qator ilmiy ishlar tadqiqotning yangi usullarini ishlab chiqish [4], mavjud yondashuvlarni tahlil qilish va sonli modellashtirish masalalariga bag‘ishlangan. Shuningdek, bir nechta tadqiqotlarda indentorlar va elastomerlarning shakli hamda sirt g‘adir-budurligining adgezion kontakt xatti-harakatiga ta’siri o‘rganilgan [4–6].

Yagona mikrog‘adir-budurliklar (asperities) bilan bog‘liq kontakt masalalarini yechishda **O‘lchamlarni pasaytirish usuli (MDR)** qo‘llanilishi mumkin; bunda o‘qqa nisbatan simmetrik

(aksisimetrik) uch o‘lchamli struktura unga ekvivalent bo‘lgan ikki o‘lchamli profil bilan almashtiriladi. Ushbu usul Popov va Xess (Popov and Heß) tomonidan ishlab chiqilgan [3].

Mazkur tadqiqotda kontakt geometriyasi, ajralish tezligi, normal kuch, harorat, ushlab turish vaqti (dwell time) va material xususiyatlarini o‘z ichiga olgan turli parametrlar tahlil qilinadi. [4]-ishda elastik yarim fazo va g‘adir-budur indentor orasidagi adgezion kontaktda ishqalanish kuchi dastlab tezlik bilan birga ortishi, so‘ngra ma’lum bir nuqtagacha kamayishi va o‘zgarmas qiymatda barqarorlashishi ko‘rsatilgan. Kontakt geometriyasi va material gradientining adgezion kontakt mustahkamligiga ta’siri [5]-ishda o‘rganilgan bo‘lib, unda cho‘tkasimon strukturaga ega yassi indentor va elastik yarim fazo orasidagi adgezion kontakt tadqiq etiladi.

[6]-ishda esa adgezion kontakt davomida muvozanat holatining barqarorligiga darajali funksiya ko‘rinishidagi aksisimetrik indentor shaklining ta’siri ko‘rib chiqilgan.

Ushbu maqolada biz doiraviy ko‘ndalang kesimga ega qattiq indentor va elastomer orasidagi sirpanish ishqalanishini aniqlash masalasini ko‘rib chiqamiz. Shu maqsadda, chegaraviy elementlar usuliga (BEM) asoslangan modellashtirish usulidan foydalanamiz.

NATIJALAR

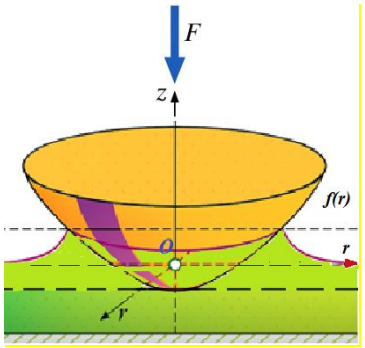
Ma'lumki, profilning hatto kichik o‘zgarishlari ham ikki jism orasidagi kontakt maydonining o‘lchami va shaklini o‘zgartirishi mumkin. Bu, o‘z navbatida, normal kuchga ta’sir ko‘rsatadi, chunki u kontakt maydoni doirasida normal kuchning taqsimoti o‘zgarishi hisobiga ham hajmiy deformatsiyaning, ham tangensial kuchning o‘zgarishiga olib keladi.

Quyidagi tenglama yordamida tavsiflangan aksisimetrik indentorni (1-rasm) ko‘rib chiqamiz [7, 8]:

$$z = C\ r^n \qquad (1)$$

Agar botib kirish chuqurligi *d*ga teng bo‘lsa, u holda kontakt radiusini sifat jihatidan quyidagicha baholash mumkin:

$$a = \left(\frac{d}{C}\right)^{1/n} \qquad (2)$$



1-rasm. Koordinatalar sistemasining kiritilishi.

Indentorning yumshoq elastik yarim fazo bilan adgezion kontakti natijasida yuzaga keladigan normal va tangensial kuchlarni ko‘rib chiqamiz. Indentorni vertikal yo‘nalishda d masofaga botiramiz va gorizontal yo‘nalishda kuch tatbiq etamiz. Bunday holatda, nafaqat tangensial

kuchlanish mavjudligi hisobiga ishqalanish kuchi hosil bo‘ladi, balki kontaktning chegara chizig‘idagi ishqalanish kuchi ham yuzaga keladi. Ushbu kuch kontaktning chiziqli o‘lchamiga hamda kontaktning old va orqa tomonlari orasidagi sirt energiyalari farqiga proporsionaldir.

$$F_1=\tau_0 A \qquad (3)$$

balki kontaktning chegara chizig‘idagi ishqalanish kuchi ham yuzaga keladi. Ushbu kuch kontaktning chiziqli o‘lchamiga hamda kontaktning old va orqa tomonlari orasidagi sirt energiyalari farqiga proporsionaldir.

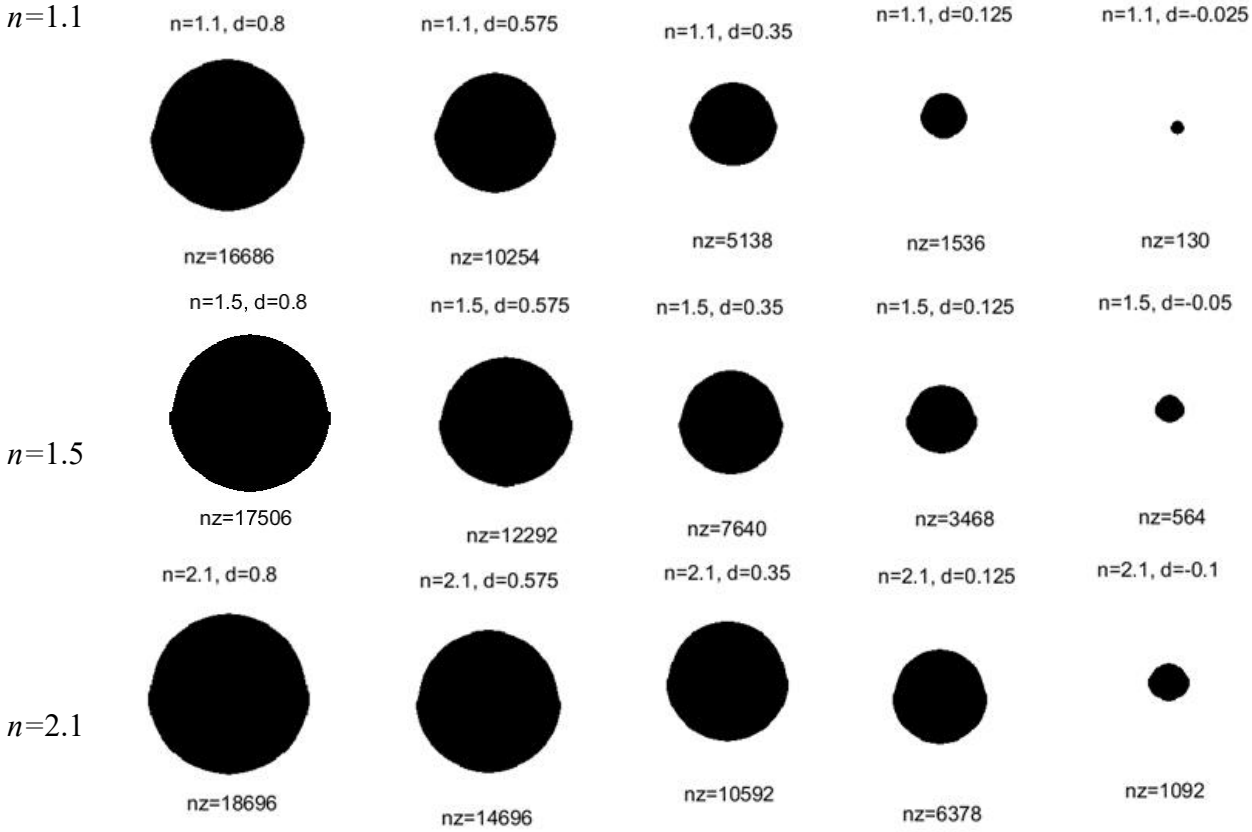
$$F_2=(\gamma_1-\gamma_2)D \qquad (4)$$

Bu yerda: τ_0 — kontakt sirtlarining siljish kuchlanishi (shear stress); A — kontakt sirtlarining maydoni; γ_1 va γ_2 — muvofiq ravishda kontaktning orqa va old tomonlaridagi effektiv adgeziya ishi koeffitsiyentlari; D — kontaktning chiziqli o‘lchami (bizning holatda diametr $2a$). Tabiiyki $\gamma_1 < \gamma_2$, ya’ni siljish kuchi mavjud bo‘lganda, kontaktning oldingi qismidagi chegara energiyasi orqa qismidagiga qaraganda kattaroq bo‘ladi.

Chegaraviy elementlar usuli (BEM) yordamida olingan natijalarni ko'rib chiqamiz. Adgeziyasiz kontakt holatida, ishqalanish koeffitsiyentiga ham maydon tashkil etuvchisi, ham chegara tashkil etuvchisining hissasi darajali qonuniyatga (power-like law) bo'ysunadi [4].

$$\mu=F_N^{-\alpha} \qquad (6)$$

2-rasmda indentorning geometrik parametri n ning turli qiymatlari uchun kontakt zonalari yuzalari, shuningdek, ushbu kontakt maydoniga mos keladigan kontakt zonasining chiziqli



2-rasm. n=1.1, 1.5 va 2.1 uchun parametrlari uchun kontakt zonalari.

ormal kuch qiymati tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, chiziqli o‘lcham va natijada kontakt zonasi hamda normal kuch indentorning geometrik parametri *n* ning kichik qiymatlarida tezroq kamayadi.

XULOSA

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, darajali qonuniyat ko‘rinishidagi shaklning *n* daraja ko‘rsatkichi adgezion ishqalanish koeffitsiyenti va kontakt zonasi o‘lchamlariga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi *n* ning kichik qiymatlarida μ koeffitsiyenti normal kuch ortishi bilan kamayadi, kattaroq qiymatlarda esa ortadi. Shunday qilib, indentorning shakli adgezion o‘zaro ta’sir xarakterini belgilaydi va kontakt masalalarini modellashtirishda ushbu parametrni hisobga olish shart.

Adabiyotlar

1. K. L. Johnson, K. Kendall, and A. D. Roberts, “Surface energy and the contact of elastic solids,” Proc. R. Soc. Lond. A. Math. Phys. Sci. **324**(1558), 301–313 (1971). https://doi.org/10.1098/rspa.1971.0141
2. K. Kendall, “The adhesion and surface energy of elastic solids,” J. Phys. D: Appl. Phys. **4**(8), 1186 (1971). https://doi.org/10.1088/0022-3727/4/8/320
3. V. L. Popov and M. Heß, *Method of Dimensionality Reduction in Contact Mechanics and Friction* (Springer, Berlin, 2015), pp. 39–41. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46160-0
4. 12. Q. Li, M. Popov, A. Dimaki, A. E. Filippov, S. Kurshner, and V. Popov, “Friction between a viscoelastic body and a rigid surface with random self-affine roughness,” Phys. Rev. Lett. **111**, 034301 (2013). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.034301
5. 13. V. L. Popov, R. Pohrt, and Q. Li, “Strength of adhesive contacts: Influence of contact geometry and material gradients,” in *World Tribology Congress*, Beijing, China (2017).
6. 15. V. L. Popov, “Designing surface profiles with zero and finite adhesion,” Spectrum Mech. Eng. Oper. Res. **1**(1), 82–89 (2024).
7. 16. I. A. Lyashenko, T. H. Pham, and V. L. Popov, “Controlling the friction coefficient and adhesive properties of a contact by varying the indenter geometry,” Processes **12**, 1209 (2024). https://doi.org/10.3390/pr12061209
8. 17. K. Buranov, Q. Li, and V. L. Popov, “Area and boundary contributions to friction in an adhesive contact of power-law indenters,” AIP Conf. Proc. **3177**, 040002 (2025). https://doi.org/10.1063/5.0294715

11.