

**QATTIQ JISMLARNING MAYDALANISHIDA REBINDER
EFFEKTIDAN FOYDALANISH: POLIFUNKSIONAL SIRT-AKTIV
MODDALAR TARKIBINI ISHLAB CHIQISH VA ADSORBSION
QAVATLAR HOSIL BO‘LISH KINETIKASINI O‘RGANISH**

Xojiboyeva Dilnoza Komiljonovna

Toshkent shahar Sergeli tumani 267- maktab kimyo fani o‘qituvchisi,

Mustaqil izlanuvchi

DOI: <https://doi.org/>

Annotatsiya: Maqolada qattiq jismlarni maydalash jarayonida Rebinder effektidan, ya’ni qattiq jism yuzasiga adsorbsiyalangan sirt-aktiv moddalar (SAM) ta’sirida uning mustahkamligi pasayishi hodisasidan foydalanishning ilmiy asoslari yoritiladi. Maydalash zonasida dispers faza zarralarining sirt energiyasini kamaytiruvchi mahalliy xomashyo asosidagi polifunksional SAM tarkibini ishlab chiqish yo‘nalishi asoslanadi. Suyuqlik/qattiq faza chegarasida adsorbsion qavatlar hosil bo‘lish kinetikasini o‘rganishning maqsad, vazifa va usullari belgilanadi. Kutilayotgan natijalar maydalash energiya sarfini kamaytirish, zarracha o‘lchamini nazorat qilish hamda dispers tizimlarning agregativ barqarorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Rebinder effekti, qattiq jismlarning maydalanishi, sirt-aktiv moddalar, polifunksional SAM, sirt energiyasi, dispers faza, adsorbsion qavat, adsorbsiya kinetikasi, suyuqlik/qattiq faza chegarasi.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА РЕБИНДЕРА ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ
ТВЁРДЫХ ТЕЛ: РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ
ОБРАЗОВАНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ СЛОЁВ**

Аннотация: В статье рассматриваются научные основы использования эффекта Ребиндера при измельчении твёрдых тел, то есть снижения прочности твёрдого тела под действием поверхностно-активных веществ (ПАВ),

адсорбированных на его поверхности. Обосновывается направление разработки состава полифункциональных ПАВ на основе местного сырья, снижающих поверхностную энергию частиц дисперсной фазы в зоне измельчения. Определяются цель, задачи и методы изучения кинетики образования адсорбционных слоёв на границе раздела жидкость/твёрдая фаза. Ожидаемые результаты направлены на снижение энергозатрат при измельчении, контроль размера частиц и повышение агрегативной устойчивости дисперсных систем.

Ключевые слова: эффект Ребиндера, измельчение твёрдых тел, поверхностно-активные вещества, полифункциональные ПАВ, поверхностная энергия, дисперсная фаза, адсорбционный слой, кинетика адсорбции, граница раздела жидкость/твёрдая фаза.

USE OF THE REHBINDER EFFECT IN THE GRINDING OF SOLIDS: DEVELOPMENT OF POLYFUNCTIONAL SURFACTANT COMPOSITIONS AND STUDY OF THE KINETICS OF ADSORPTION LAYER FORMATION

Abstract: The article considers the scientific basis for using the Rehbinder effect in the grinding of solids, i.e. the reduction in the strength of a solid under the action of surfactants adsorbed on its surface. A direction for developing polyfunctional surfactant compositions based on local raw materials, which lower the surface energy of dispersed-phase particles in the grinding zone, is substantiated. The aim, objectives and methods for studying the kinetics of adsorption layer formation at the liquid/solid interface are defined. The expected results are aimed at reducing the energy consumption of grinding, controlling particle size and improving the aggregative stability of disperse systems.

Keywords: Rehbinder effect, grinding of solids, surfactants, polyfunctional surfactants, surface energy, dispersed phase, adsorption layer, adsorption kinetics, liquid/solid interface.

KIRISH

Qattiq jismlarni maydalash konchilik, qurilish materiallari, keramika, kimyo, farmatsevtika va qishloq xo‘jaligi ishlab chiqarishidagi asosiy texnologik jarayonlardan biridir. Biroq bu jarayon yuqori energiya talab qiladi: sarflangan energiyaning katta

qismi yangi sirt hosil qilishga emas, balki elastik deformatsiya, ishqalanish va issiqlik tarzida sochilishga ketadi. Shu sababli maydalash samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirish dolzarb ilmiy-amaliy muammo hisoblanadi.

Bu muammoni hal etishning fizik-kimyoviy yo‘llaridan biri P.A. Rebinder tomonidan XX asrning 20-yillarida kashf etilgan adsorbsion mustahkamlik pasayishi, ya’ni Rebinder effektidan foydalanishdir. Ushbu effektga ko‘ra, qattiq jism yuzasiga adsorbsiyalangan sirt-aktiv moddalar sirt energiyasini kamaytiradi, jismning deformatsiyalanishi va parchalanishini yengillashtiradi. Mikrodarzlarga kirib borgan adsorbsion qavatlar ularning rivojlanishiga yordam beradi va natijada bir xil mexanik ish evaziga mayinroq dispers tizim olish yoki bir xil maydalik uchun kamroq energiya sarflash mumkin bo‘ladi.

Amalda Rebinder effektidan foydalanish samaradorligi SAM tarkibi va tabiatiga kuchli bog‘liq. Maydalash zonasida yangi sirtlar uzluksiz hosil bo‘ladi, shu bois SAM molekulalari ularga zarrachalar qayta birikib yoki darzlar ‘bitib’ ulgurmasidan adsorbsiyalanishi lozim. Bir funksional guruhli SAM har doim ham bu talablarni qondirmaydi. Turli vazifalarni (qattiq yuza bilan mustahkam bog‘lanish, namlash, zarrachalarni stabillash) bir vaqtda bajaruvchi polifunksional SAM tarkibi esa yuqori samara berishi mumkin. Mahalliy xomashyo asosida bunday tarkiblarni ishlab chiqish import qilinadigan reagentlarga ehtiyojni ham kamaytiradi.

Rebinder effektining amalda namoyon bo‘lishida suyuqlik/qattiq faza chegarasida adsorbsion qavatlar hosil bo‘lish kinetikasi muhim o‘rin tutadi: adsorbsion qavat maydalash jarayonidagi yangi sirt hosil bo‘lish tezligiga nisbatan yetarli tezlikda shakllansagina effekt to‘liq namoyon bo‘ladi. Shuning uchun SAM konsentratsiyasi, tarkibi, muhit sharoitlari va adsorbsiya tezligi o‘rtasidagi bog‘lanishlarni tizimli o‘rganish zarur. Bunda sirt tarangligi, adsorbsiya izotermalari, namlanish burchagi, zarrachalar o‘lchami bo‘yicha taqsimot va zeta-potensial kabi usullar qo‘llanilishi mumkin.

Yuqoridagilarga asoslanib, mazkur tadqiqotning maqsadi maydalash zonasida dispers faza zarralarining sirt energiyasini kamaytiruvchi mahalliy polifunksional SAM

tarkibini ishlab chiqish va suyuqlik/qattiq faza chegarasida adsorbsion qavatlar hosil bo‘lish kinetikasini aniqlashdan iborat.

Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilanadi: (1) Rebinder effektining qattiq jismlarni maydalashdagi namoyon bo‘lish qonuniyatlarini tahlil qilish; (2) mahalliy xomashyo asosida polifunksional SAM tarkiblarini tanlash va ularning kolloid-kimyoviy xossalarini baholash; (3) suyuqlik/qattiq faza chegarasida adsorbsion qavatlar hosil bo‘lish kinetikasini o‘rganish; (4) SAM tarkibi va maydalash natijalari (zarracha o‘lchami, energiya sarfi) o‘rtasidagi bog‘lanishni aniqlash.

ASOSIY QISM

1. Rebinder effektining fizik-kimyoviy asoslari

Rebinder effekti qattiq jism sirt energiyasining adsorbsion faol muhit ta’sirida pasayishi natijasida uning deformatsiyalanishi va yemirilishiga qarshiligining kamayishidir. Hodisa P.A. Rebinder tomonidan 1928-yilda ta’riflangan [1]. Zamonaviy sharhlarda effekt adsorbsion faol muhitning, mustahkamligi turli atomlararo bog‘lanishlar bilan belgilanadigan qattiq jismlar sinishiga ta’siri sifatida ko‘rib chiqiladi; effektning kimyoviy tanlovchanligi hamda qattiq jismning tuzilishi va sinash sharoitlariga bog‘liqligi alohida qayd etiladi [2, 4].

Hodisaning fizik mohiyatini Griffithsning mo‘rt sinish nazariyasi orqali tushuntirish mumkin: mo‘rt jism mustahkamligi undagi mikrodarzlarning o‘lchami (c) va yangi sirt hosil qilish uchun zarur sirt energiyasi (γ) bilan aniqlanadi, taxminan $\sigma \sim (E \cdot \gamma / c)^{1/2}$, bunda E – elastiklik moduli [3]. SAM molekulalarining adsorbsiyasi γ ni kamaytiradi, demak, bir xil darzlar uchun jismni sindirishga zarur kuchlanish ham kamayadi. Mineral zarrachalar ustida olib borilgan tajribalarda bu bog‘lanish tasdiqlangan: zarracha cho‘zilishdagi mustahkamligi erkin sirt energiyasiga bog‘liq, SAM esa birlamchi mikrodarzlarga kirib mustahkamlikni pasaytiradi; ta’sir kattaligi esa materialga (ohaktosh va porfir misolida) sirtdagi darzlar soniga qarab farq qiladi [5].

2. Maydalashda SAM ta’sir mexanizmlari: ilmiy munozaralar

Rebinder g‘oyalari keyinchalik maydalash jarayonlariga ham tatbiq etilgan. Biroq Prziwara va Kwade sharhida ko‘rsatilishicha, quruq maydalashda Rebinder effekti

asosiy mexanizm ekanligi munozarali: quruq maydalashda asosan mo‘rt sinish muhim bo‘lishi va yoriq o‘rish tezligining adsorbsiya tezligidan yuqori bo‘lishi mumkinligi bu qarashga qarshi dalillar sifatida keltiriladi. Zamonaviy tasavvurlarda SAMning vazifasi ko‘proq zarrachalar orasidagi adgeziya va agglomeratsiya kuchlarini kamaytirish bilan bog‘lanadi, bunda sirt energiyasining pasayishi muhim parametr hisoblanadi [6].

Suyuq muhitda, ya’ni nam maydalashda holat boshqacha baholanadi. Monteiro va hammualliflar dori moddalari zarrachalarini nam maydalashda stabilizator sifatida polimer (gidroksipropilsellyuloza) va sirt-aktiv modda (natriy laurilsulfat) ishtirokida kichikroq birlamchi nanozarrachalar hosil bo‘lishi va agregatsiya minimal ekanligini aniqlagan; lazer difraksiyasi, BET adsorbsiyasi, SEM va mikrogidrodinamik tahlilga tayanib, mualliflar bu sharoitda Rebinder effekti mavjudligiga yetarli dalil olinganini bildirgan [7]. Shunga o‘xshash tizimda Bhakay va hammualliflar esa Rebinder effektini tasdiqlovchi eksperimental dalil topmagan va polimerning asosiy rolini sterik stabillashdan iborat deb baholagan [8].

Demak, SAM ning ikki ta’sirini – zarracha sinishini osonlashtirish (Rebinder effekti) va yangi hosil bo‘lgan sirtini stabillash (agregatsiyaga yo‘l qo‘ymaslik) – bir-biridan ajratib baholash lozim. Mazkur tadqiqotda bu ikki vazifa polifunksional tarkibni loyihalashning asosiy tamoyili sifatida qabul qilinadi.

3. Polifunksional SAM tarkibini ishlab chiqish tamoyillari

Polifunksional SAM tarkibi bir vaqtning o‘zida bir nechta vazifani bajarishi kerak: (a) qattiq sirt bilan tanlab bog‘lanadigan funksional guruhlar orqali samarali adsorbsiyalanish (adsorbsion ‘langar’ vazifasi); (b) suyuq muhitda qattiq sirtini yaxshi namlash; (c) hosil bo‘lgan sirtini elektrostatik yoki sterik stabillash. Adabiyotlarda polimer va ionogen SAM aralashmasi qo‘llangan tizimlar mavjud [7], sterik stabillash ayrim hollarda elektrostatikdan samaraliroq deb baholangan [8]; effektning kimyoviy tanlovchanligi esa SAMni har bir qattiq faza uchun alohida tanlashni talab qiladi [4].

Tarkib komponentlarini tanlashda quyidagi mezonlar tavsiya etiladi: (1) mahalliy xomashyo asosida mavjudligi va arzonligi; (2) tanlangan qattiq faza sirtida adsorbsiyalanish qobiliyati; (3) dispersion muhitda eruvchanligi va barqarorligi; (4)

ekologik xavfsizligi va maydalangan mahsulotning keyingi ishlatilishiga salbiy ta’sir qilmasligi. Aniq komponentlar eksperimental skrining natijalariga ko‘ra belgilanadi.

4. Adsorbsion qavatlar hosil bo‘lish kinetikasi

Adsorbsiya jarayonining vaqt bo‘yicha rivojlanishi klassik jihatdan Ward va Tordai tomonidan o‘rganilgan: ular eritma hajmidan sirtga diffuziya va teskari diffuziyani hisobga oluvchi umumiy nazariyani ishlab chiqib, tezlikni belgilovchi bosqich har doim ham diffuziya emasligini, hatto tez o‘tadigan jarayonlarda ham adsorbsiya tezligini aniqlovchi faollanish to‘sig‘i mavjud bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatgan [9]. Bu yondashuv suyuqlik/gaz chegarasi uchun ishlab chiqilgan, shuning uchun suyuqlik/qattiq faza chegarasiga qo‘llashda moslashtirish talab etiladi.

Maydalash sharoitida kinetikaning ahamiyati quyidagicha: yangi sirt maydalash zonasida uzluksiz hosil bo‘ladi, shuning uchun adsorbsion qavatning shakllanish vaqti (τ_{ads}) yangi sirtning hosil bo‘lish va qayta birikish vaqti (τ_s) bilan solishtirilishi kerak. Ishchi gipoteza sifatida, $\tau_{ads} \ll \tau_s$ bo‘lganda SAM yangi sirtni himoyalab ulguradi va ta’sir yuqori bo‘ladi; $\tau_{ads} \geq \tau_s$ bo‘lganda esa ta’sir sezilarli pasayadi. Gipotezani tekshirish uchun SAM konsentratsiyasi, tarkibi va muhit sharoitlari bo‘yicha adsorbsiya tezligini o‘lchash lozim.

5. Tadqiqot usullari va tajriba rejasi (taklif)

Quyidagi usullar majmuasi taklif etiladi: (1) SAM eritmalarining statik va dinamik sirt tarangligi – adsorbsiya tezligi va sirt faolligini baholash; (2) adsorbsiya izotermalari – qattiq fazada SAM miqdorini eritmadagi qoldiq konsentratsiya bo‘yicha aniqlash; (3) namlanish burchagi – qattiq sirtning lyofillik darajasini baholash [5]; (4) zarrachalar o‘lchami bo‘yicha taqsimot (lazer difraksiyasi) va solishtirma sirt (BET) – maydalash natijasini baholash [7]; (5) zeta-potensial va agregativ barqarorlik – hosil bo‘lgan dispers tizimning stabilligini aniqlash; (6) skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) – zarracha shakli va agregatsiyani kuzatish [7]; (7) maydalashning solishtirma energiya sarfi.

Tajribalar qiyosiy sxema asosida o‘tkazilishi tavsiya etiladi: SAMsiz nazorat namuna; alohida komponentlar; ularning turli nisbatdagi aralashmalari. Shunday yo‘l

bilan har bir komponentning hissasi va ularning sinergizmi (qo‘shma ta’siri) baholanadi, shuningdek Rebinder effekti va stabillash ta’siri bir-biridan ajratiladi.

6. Kutilayotgan natijalar

Tadqiqot natijasida: polifunksional SAM tarkiblarining samaradorlik reytingi; SAM tarkibi, konsentratsiyasi va adsorbsiya kinetikasi parametrlari bilan maydalash natijalari (zarracha o‘lchami, energiya sarfi) o‘rtasidagi bog‘lanishlar; maydalash sharoitida adsorbsion qavatlarining shakllanishi uchun ishchi mezonlar olinishi kutiladi. Natijalar maydalash texnologiyalarida energiya tejash va dispers tizimlar sifatini boshqarish uchun asos bo‘lishi mumkin.

XULOSA

1. Rebinder effekti qattiq jism sirt energiyasining adsorbsion pasayishi orqali uning mustahkamligini kamaytirishga asoslangan va bu fizik-kimyoviy mexanizm Griffits nazariyasi hamda mineral zarrachalar ustidagi tajribalar bilan izohlanadi [1–5].

2. Adabiyotlar tahlili effektning maydalash sharoitiga bog‘liqligini ko‘rsatadi: nam maydalashda uni qo‘llab-quvvatlovchi dalillar mavjud [7], quruq maydalashda esa uning asosiy mexanizm ekanligi munozarali [6]; ayrim tizimlarda SAM ta’siri asosan stabillashga bog‘langan [8]. Shu sababli SAMning sinishni osonlashtirish va sirtini stabillash rollarini ajratib o‘rganish zarur.

3. Polifunksional SAM tarkibini adsorbsion bog‘lanish, namlash va stabillash vazifalarini bajaruvchi komponentlar birikmasi sifatida, mahalliy xomashyo imkoniyatlari hisobga olingan holda ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

4. Maydalash zonasida adsorbsion qavatlarining shakllanish vaqti yangi sirt hosil bo‘lish va qayta birikish vaqti bilan solishtirilishi kerak; suyuqlik/qattiq faza chegarasida adsorbsiya kinetikasini o‘rganish SAM samaradorligini oldindan baholash imkonini beradi.

5. Taklif etilgan metodik majmua (sirt tarangligi, adsorbsiya izotermalari, namlanish burchagi, zarracha o‘lchami, zeta-potensial, SEM, energiya sarfi) ishning keyingi eksperimental bosqichi uchun asos bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rebinder P.A. [Soobshchenie] // VI s’ezd russkikh fizikov. – Moskva: OGIZ, 1928. – S. 29.
2. Reh binder P.A., Shchukin E.D. Surface phenomena in solids during deformation and fracture processes // Progress in Surface Science. – 1972. – Vol. 3. – P. 97.
3. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids // Philosophical Transactions of the Royal Society A. – 1921. – Vol. 221. – P. 163.
4. Malkin A.I. Regularities and mechanisms of the Reh binder’s effect // Colloid Journal. – 2012. – Vol. 74. – P. 223–238. DOI: 10.1134/S1061933X12020068.
5. Brožek M., Oruba-Brožek E. The effect of surface-active compounds on the tensile strength of limestone and porphyry particles // Archives of Mining Sciences. – 2003. – Vol. 48, No. 1. – P. 133–147.
6. Prziwara P., Kwade A. Grinding aid additives for dry fine grinding processes // IFPRI Review (SAR-44-08). – International Fine Particle Research Institute. – <https://ifpri.net/publications/grinding-aid-additives-dry-fine-grinding-processes>
7. Monteiro A., Afolabi A., Bilgili E. Continuous production of drug nanoparticle suspensions via wet stirred media milling: A fresh look at the Reh binder effect // Drug Development and Industrial Pharmacy. – 2013. – Vol. 39, No. 2. – P. 266–283. DOI: 10.3109/03639045.2012.676048.
8. Bhakay A., Merwade M., Bilgili E., Dave R.N. Novel aspects of wet milling for the production of microsuspensions and nanosuspensions of poorly water-soluble drugs // Drug Development and Industrial Pharmacy. – 2011.
9. Ward A.F.H., Tordai L. Time-dependence of boundary tensions of solutions I. The role of diffusion in time-effects // The Journal of Chemical Physics. – 1946. – Vol. 14, No. 7. – P. 453–461. DOI: 10.1063/1.1724167