

М. Ф. Григоренко, Є. П. Черніговцев, В. В. Полуянська*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМОЧУВАННЯ ТА КІНЕТИКИ РОЗТІКАННЯ У ДЕЯКИХ МОДЕЛЬНИХ СИСТЕМАХ З ФІЗИЧНИМ ТИПОМ ВЗАЄМОДІЇ

Методом відеозйомки вивчені змочування та кінетика розтікання рідин по поверхнях твердих тіл для ряду модельних систем із фізичним типом взаємодії: вода, етиловий спирт, гліцерин—скло, кварц, сапфір та рух міжфазової границі двох незмішуваних рідин (олія—вода) уздовж поверхні твердого тіла (скло, пластик). Проведено порівняння отриманих даних з результатами попередніх досліджень та розглянуто можливі практичні аспекти використання систем вивченого типу.

Ключові слова: змочування, розтікання, скло, кварц, сапфір, в'язкість, міжфазова границя, незмішувані рідини, стан невагомості, моделювання.

Вступ

Раніше нами вивчалась кінетика швидкісного змочування та розтікання у ряді високотемпературних систем, які знаходять широке застосування у матеріалознавстві, включаючи метали та сплави, по поверхнях підкладок із таких керамічних матеріалів, як карбід кремнію, скловуглець, та адгезійноактивних сплавів типу Cu—Sn—Ti по поверхнях підкладок із нітриду бору, нітриду кремнію та ін. [1—3]. Ці багатоконпонентні системи відносяться до систем із хімічним типом взаємодії і характеризуються вельми складною структурою та високою реакційністю, що значно ускладнює аналіз відповідних механізмів, діючих на міжфазовій границі. Являє інтерес розповсюдити подібні дослідження на відносно простіші системи з лише фізичним, ван-дер-ваальсовим типом взаємодії, котрі також, окрім наукового інтересу, можуть мати й практичний вихід, наприклад, при розробці припоїв для використання в ювелірній галузі [4]. Залишаються недостатньо вивченими капілярні процеси (розтікання та змочування) при контактуванні твердої поверхні з рідиною за умов присутності другої рідкої фази (що не змішується з першою).

Методика проведення експериментів

Досліди по змочуванню та розтіканню проводили за методом лежачої краплі [5] з використанням двох способів: а) крапля вивчаємої рідини знаходиться на незмочуваній поверхні (наприклад, у випадку води — парафінований графіт, парафіноване скло) і досліджувана пластинка (скло, кварц, сапфір) підводиться за допомогою штока зверху до контакту

* М. Ф. Григоренко — кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ; Є. П. Черніговцев — науковий співробітник цієї ж установи; В. В. Полуянська — науковий співробітник цієї ж установи.

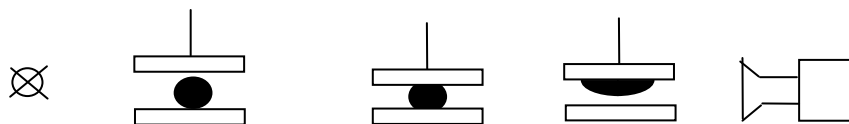


Рис. 1. Схема експерименту по вивченню змочування та розтікання

Fig. 1. Wetting and spreading kinetics experiment diagram

з краплею (рис. 1) [1]; б) досліджувана пластинка знаходиться знизу, а крапля відповідної рідини викрапується за допомогою шприца зверху. Діаметр голки шприца дорівнював 0,5 мм, крапель — 2—3 мм, крапля падала з висоти 0,3—0,4 мм.

У випадку вивчення руху міжфазової границі у прозору кювету з водно-спиртовим розчином поміщували краплю рослинної олії, що не змішується з даним розчином і має густину, яка дорівнює густині зазначеного розчину. До краплі сферичної форми, що плавала в об'ємі розчину, з використанням спеціального пристрою підводили вивчаєму скляну (при необхідності, парафіновану) пластинку. Спостережувані процеси в обох випадках фіксувались відеокамерою зі швидкістю 25 або 100 кадр/с, отримані дані (виміри крайових кутів змочування та деяких лінійних параметрів) обробляли на комп'ютері.

Результати досліджень та їх обговорення

В результаті експериментів отримано часові залежності контактного кута для зазначених систем (характерні графіки представлені на рис. 2, 3). Кінограми розтікання рідин по склу, які ілюструють також різні методики експериментів, подані на рис. 4—6.

Найкраще змочування для всіх вивчених систем демонструє етиловий спирт — величини кінцевих крайових кутів змочування θ складають 10—15° (скло, кварц, сапфір) при часі досягнення кінцевого кута τ приблизно 5 с (рис. 2, а, 3, 4); для води $\theta_{\text{кварц/скло}} \sim 25^\circ$, $\tau \sim 10\text{—}30$ с (рис. 2, б, 3, 5). Для сапфіру, на відміну від скла—кварцу, характерне гірше змочування водою, $\theta_{\text{сапфір}} \sim 50^\circ$, і значно більший час розтікання (рис. 3).

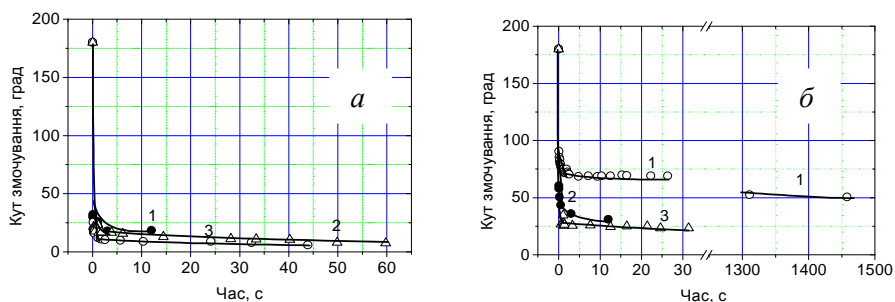


Рис. 2. Часові залежності контактного кута змочування: а — етилового спирту на склі (1), кварці (2), сапфірі (3); б — води на сапфірі (1), склі (2), кварці (3)

Fig. 2. A plot of contact angle vers. time: а — of ethanol on glass (1), quartz (2), sapphire (3); б — of water on sapphire (1), glass (2), quartz (3)

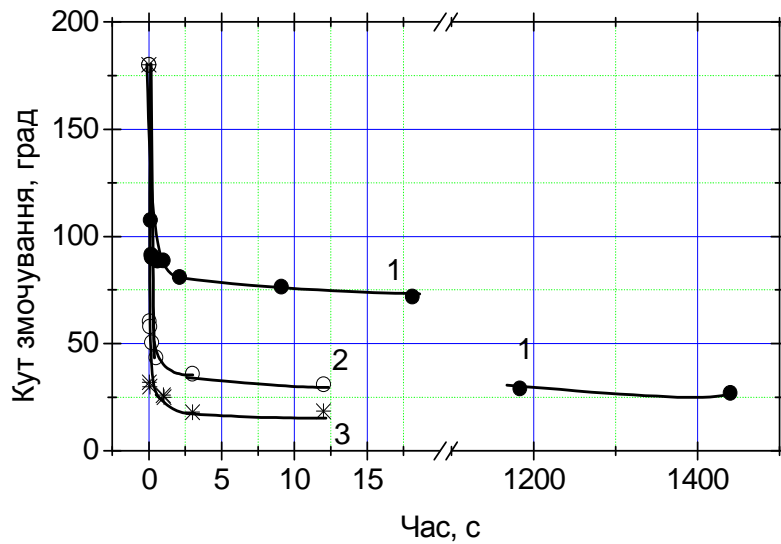


Рис. 3. Часові залежності контактного кута змочування гліцерину (1), води (2), спирту на склі (3)

Fig. 3. A plot of contact angle vers. time: glycerine (1), water(2), ethanol on glass(3)

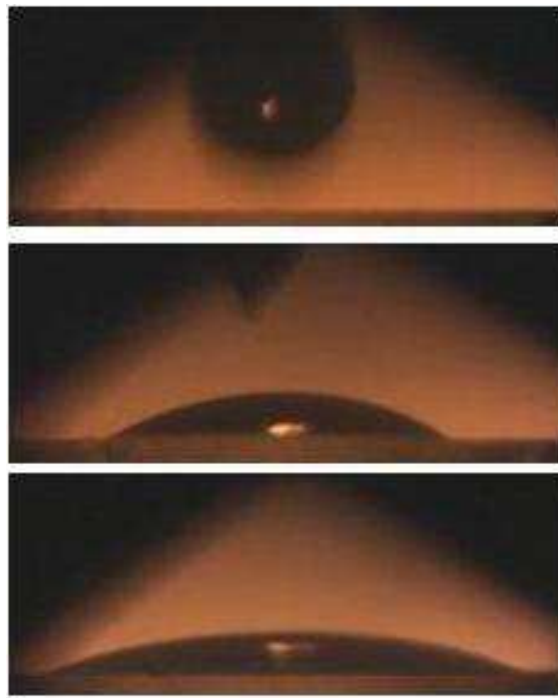


Рис. 4. Кінограма розтікання етилового спирту по склу

Fig. 4. Ethanol spreading over glass (video filming)

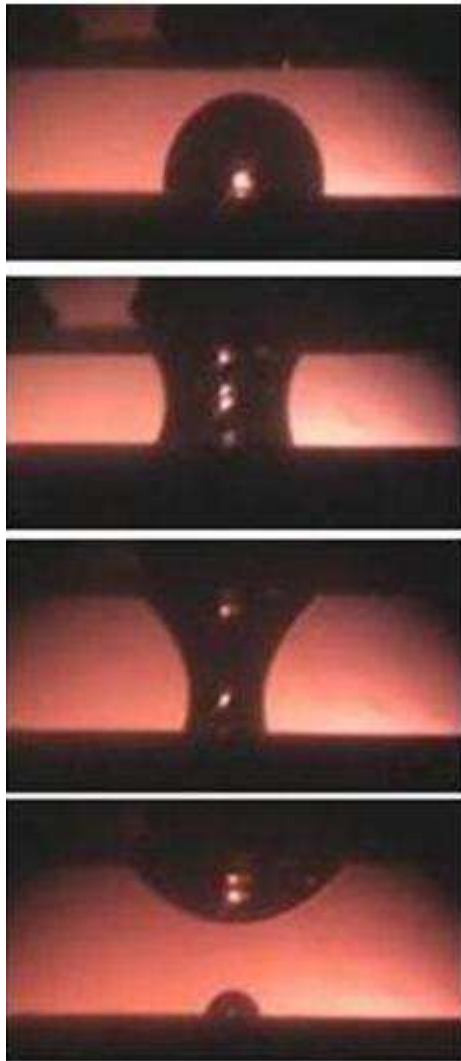


Рис. 5. Кінограма розтікання води по склу (дивись також схему на рис. 1)

Fig. 5. Water spreading over glass (video filming, see also diagram fig. 1)

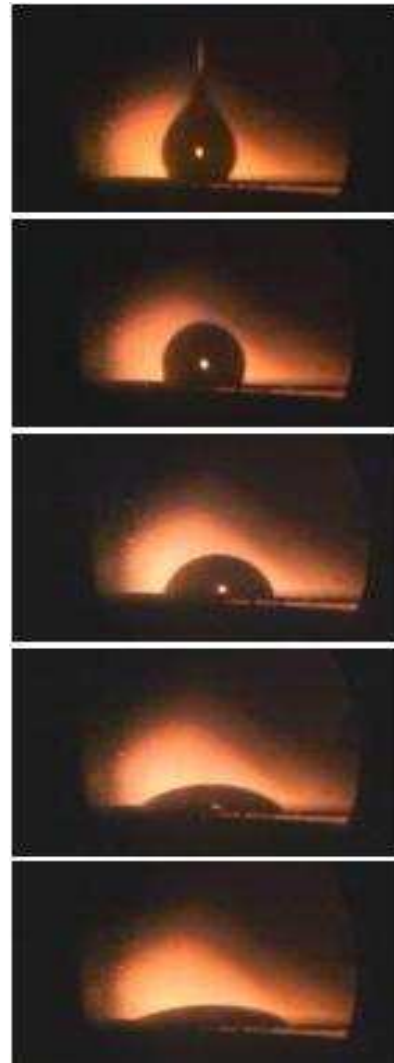


Рис. 6. Кінограма розтікання гліцерину по склу

Fig. 6. Glycerine spreading over glass (video filming)

Гліцерин демонструє крайові кути змочування від 25 (скло) до 70° (сапфір) при τ приблизно 1400 с (рис. 3, 6). Отримані кінцеві крайові кути змочування добре узгоджуються з відомими літературними даними [6].

Спостережувані особливості змочування та розтікання у вивчених системах пояснюються головним чином сукупною дією таких чинників, як величина поверхневого натягу (найнижча — у етилового спирту, приблизно 20, потім у гліцерину, приблизно 59, та води —

приблизно 72 мН/м), в'язкість (близько 1 сПз — у спирту та води і 1500 сПз — у гліцерину) та природа твердої підкладки, котрі у даному випадку проявляються у “чистому” вигляді (на відміну від реакційних хімічних систем, де зазначені чинники можуть маскуватись складними хімічними реакціями і змінами стану контактних поверхонь). Встановлено, що контактні кути для досліджених систем виявляють, загалом, експоненційний спад із часом (див., наприклад, рис. 7). Характерним є швидке зниження контактного кута на першій стадії після здійснення контакту і значно менші швидкості змочування на наступних стадіях процесу.

Як видно на рис. 8, при підведенні парафінованої скляної пластинки (що погано змочується водним розчином) до краплі рослинної олії (що добре змочує парафін), котра плаває у розчині, у момент контакту відбувається витіснення водного розчину олією і рух міжфазової границі до встановлення рівноважної форми краплі олії на склі під шаром водного спиртового розчину — крапля олії прилипає до пластинки, відтісняючи водний розчин, з кінцевим кутом змочування близько 36°. Процес триває приблизно 50 с (кінетика зміни контактного кута наведена на рис. 7). Спостережуване прилипання краплі олії до змочуваної нею підкладки може бути використане, загалом, для збирання та наступного видалення крапель олії (олійної емульсії) із розчину, котрий погано змочує зазначену підкладку.

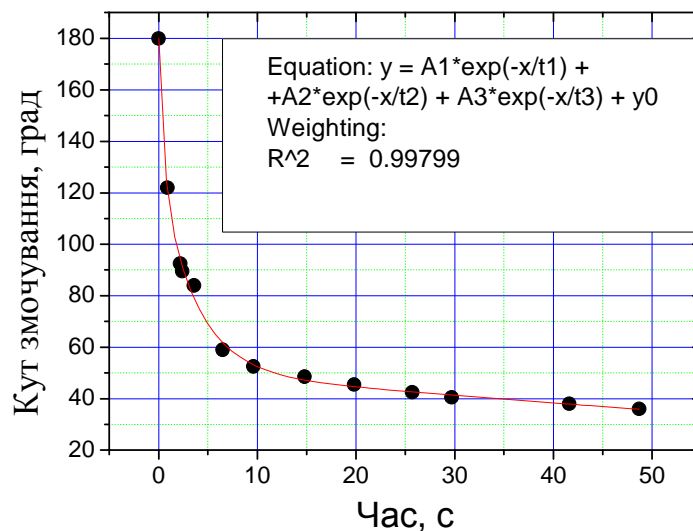


Рис. 7. Кінетика змочування у системі рослинна олія—парафіноване скло/вода—спирт (наведене на графіку рівняння відповідає кривій, що апроксимує отримані експериментальні дані)

Fig. 7. Wetting kinetics in the vegetable oil—paraffined glass/water—ethanol system (equation in the plot corresponds to approximation line)

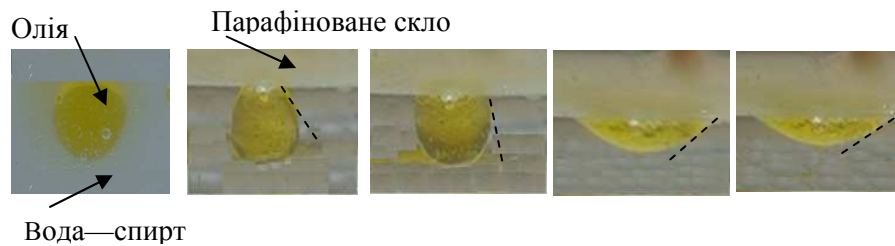


Рис. 8. Змочування парафінованого скла рослинною олією у розчині вода—спирт (вибрані кадри відеозйомки)

Fig. 8. Wetting of paraffined glass by vegetable oil in the water—ethanol solution (selected video frames)

Висновки

Методом відеозйомки проведено експериментальне дослідження змочування та кінетики розтікання у ряді низькотемпературних модельних систем з фізичним типом взаємодії. Встановлено, що загалом в якісному відношенні характер змочування та розтікання у цих системах — швидке зниження контактного кута на першій стадії після здійснення контакту і значно менші швидкості змочування на наступних стадіях процесу, експоненційний спад контактних кутів із часом, схожий, згідно з отриманими раніше даними, із системами з хімічним типом взаємодії. Проте швидкість зниження величини контактного кута для систем даної роботи, за оцінками, у кілька разів менша, ніж для металічних розплавів.

На прикладі низькотемпературної системи вивчено також особливості змочування та кінетики руху міжфазової границі двох незмішуваних рідин (рослинна олія—вода) уздовж поверхні твердого тіла (парафіноване скло, пластик). Показано, що отримані результати можуть знайти практичне застосування, наприклад, для очищення рідин або розчинів від олійних емульсій або газових пухирців (шляхом підбору контактуючих з рідинами твердих елементів з відповідною змочуваністю). Окрім того, розглянуті явища являють інтерес — вони, фактично, імітують поведінку рідин і відповідні капілярні явища при контакті з твердою фазою за умов невагомості, що може бути використане при моделюванні та розробці відповідних космічних технологічних процесів. Це потребує подальших досліджень.

РЕЗЮМЕ. Методом видеосъемки исследованы смачивание и кинетика растекания жидкостей по поверхностям твердых тел для ряда модельных систем с физическим типом взаимодействия: вода, этиловый спирт, глицерин—стекло, кварц, сапфир и движение межфазной границы двух несмешиваемых жидкостей (масло—вода) вдоль поверхности твердого тела (стекло, пластик). Проведено сравнение полученных данных с результатами предыдущих исследований и рассмотрены возможные практические аспекты применения систем изученного типа.

Ключевые слова: смачивание, растекание, стекло, кварц, сапфир, вязкость, межфазная граница, несмешиваемые жидкости, состояние невесомости, моделирование.

1. *Найдич Ю. В.* Кінетика змочування та розтікання Ni та NiPd розплавів по поверхнях карбїду кремнію та склоуглецю / [М. Ф. Григоренко, В. В. Полуянська] // Адгезия расплавов и пайка материалов. — 1999. — Вып. 34. — С. 18—26.
2. *Григоренко М. Ф.* Дослідження кінетики змочування та розтікання адгезійно-активних розплавів Cu—Sn—Ti по поверхнях надтвердих матеріалів із нітриду бору / [В. В. Полуянська, Є. П. Черніговцев] // Там же. — 2007. — Вып. 40. — С. 20—25.
3. *Григоренко М. Ф.* Процеси швидкісного змочування та розтікання у системі адгезійно-активний металічний розплав—нітрид кремнію / [В. В. Полуянська, Є. П. Черніговцев] // Там же. — 2008. — Вып. 41. — С. 3—8.
4. *Таранец Н. Ю.* Смачиваемость, адгезия и механическая прочность контакта в системах серебро—алмаз и (серебро—платина—алмаз) / [В. П. Уманский] // Там же. — 2008. — Вып. 41. — С. 26—32.
5. *Найдич Ю. В.* Контактные явления в металлических расплавах. — К.: Наук. думка, 1972. — 196 с.
6. *Найдич Ю. В.* Форма поверхности жидкости и капиллярные явления при пониженной силе тяжести или в невесомости применительно к проблемам космического материаловедения (технологии порошковой металлургии: пропитка, жидкофазное спекание; сварка, пайка) / [Ю. В. Найдич, И. И. Габ, В. А. Евдокимов и др. // Космічна наука і технологія. — 2004. — 10, № 2/3. — С. 59—67.

Надійшла 21.12.12

Grigorenko M., Chernigovtsev E., Poluyanskaya V.

WETTING AND SPREADING KINETICS STUDY FOR SOME MODEL SYSTEMS WITH PHYSICAL TYPE OF INTERACTION

Wetting and spreading kinetics of liquids over solid surfaces for model systems with physical type of interaction: water, ethanol, glycerine—glass, quartz, sapphire and movement of the interphase of two immiscible liquids (oil—water) along solid surfaces (glass, plastic) were studied using video filming. The results are compared with data obtained earlier and some possible practical applications of similar systems are considered.

Keywords: *wetting, spreading, glass, quartz, sapphire, viscosity, interface, immiscible liquids, state of weightlessness, modeling.*