

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION

УДК 669.546.3

- Ольшанецький В. Ю. д-р техн. наук, професор, зав. кафедри фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: olshanolshan@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-9485-4896
- Кононенко Ю. І. старший викладач кафедри фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: juliakon7335@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-0676-4015
- Кононенко А. В. аспірант кафедри механіки Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: andrju3952@gmail.com*
- Скребцов А. А. канд. техн. наук, доцент кафедри механіки Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: nic_tz@ukr.net*, ORCID: 0000-0002-4669-9625

ПРО ВЗАЄМОДІЮ ЧАСТИНОК ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ МІЖ СОБОЮ ТА З РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Ключові слова: активована поверхня, частинки порошку, спечення, питома поверхнева енергія, адгезія.

Розглянемо деякі питання щодо стану активованої поверхні у вигляді пластини при формуванні на ній послідовних шарів відповідної речовини, що складаються з частинок довільної форми, які торкаються не тільки поверхні пластини, але й контактують між собою.

При нагріві завдяки ефекту сублимації відбувається адгезія окремих наноплощин частинок з поверхнею (в залежності від того, якою площиною торкається частинка цієї поверхні) та їх взаємодія між собою. При цьому величина адгезії буде різною в залежності від того, саме якою площиною активованої поверхні торкається частинка.

Якщо знехтувати тим матеріалом, який переходить від частинки до частинки завдяки ефекту сублимації, то в такому спрощеному варіанті можна розглядати взаємодію окремих частинок без обміну матеріалом між собою.

Зазначимо, що виходячи з тенденцій зміни поверхні кожної частинки, відбувається ефект зростання поверхні контакту при незначному збільшенні об'єму частинки. При цьому в такий процес активно втручається надлишкова частина об'єму, що значно збільшує поверхню контакту. В результаті отримується «хвилястий» шар речовини частинок, який по мірі збільшення часу спечення поступово зменшує таку «хвилястість», тобто локальну різницю по висоті.

При цьому збільшення поверхні контакту частинок відбувається передусім у тих з них, які мають кращу адгезію з поверхнею («фактор адгезії»). Якщо після певного за часом спечення залишаються якісь внутрішні пори, то в залежності від їх розміру вони перетворюються або на малорухомі (напівсидячі) дислокації, або буде відбуватися процес їх виклинювання.

Як вже зазначено, взаємодія частинок неправильної форми однієї фракції між собою та поверхнею розташування є дуже складним явищем, оскільки вони мають грані наноконтакту різної кристалографії. Будемо вважати, що система, яка розглядається, дещо впорядкована, що суттєво спрощує ситуацію та полегшує розуміння подій, які в ній відбуваються. Для того, щоб з'ясувати поверхневий рух такого роду частинок, необхідно враховувати не тільки грані контакту, але і інші грані, які мають просторовий дотик, що також може впливати певним чином на кінцевий стан контакту з робочою поверхнею.

В решті решт прийдеться обійтися дуже спрощеною картиною, аби якось врахувати зовнішній вплив (який не пов'язаний з контактною поверхнею), прийнявши, що всі частинки належать одній фракції, тобто вони майже однакові за формою, яка наближена до половинки сфери, та мають усереднену поверхневу енергію. При цьому кожна частинка торкається пластини своєю плоскою частиною поверхні та при її «розповзанні» площа кожного контакту постійно залишається майже круглою; цей круг лише збільшує свій радіус. Тоді середній зсув кожної частинки буде відбуватися до появи контакту на робочій поверхні з іншими частинками, які теж прагнуть набути іншого розміру в зонах адгезійного зв'язку з робочою контактною поверхнею.

На рис. 1а схематично зображена частинка у вигляді половинки сфери, яка розташована на плоскій робочій поверхні. Тут γ_1 – питома поверхнева енергія на межі поділу поверхня/пора; γ_2 – питома поверхнева енергія на

межі поділу частинка/пора; θ – кут контакту частинки з робочою поверхнею; r – початковий радіус напівсферичної частинки, R – радіус напівсферичної частинки після розповзання. На рис. 1б, в показано частинку, яка через деякий час змінила свою форму шляхом «розповзання» (її об’єм при цьому не змінюється).

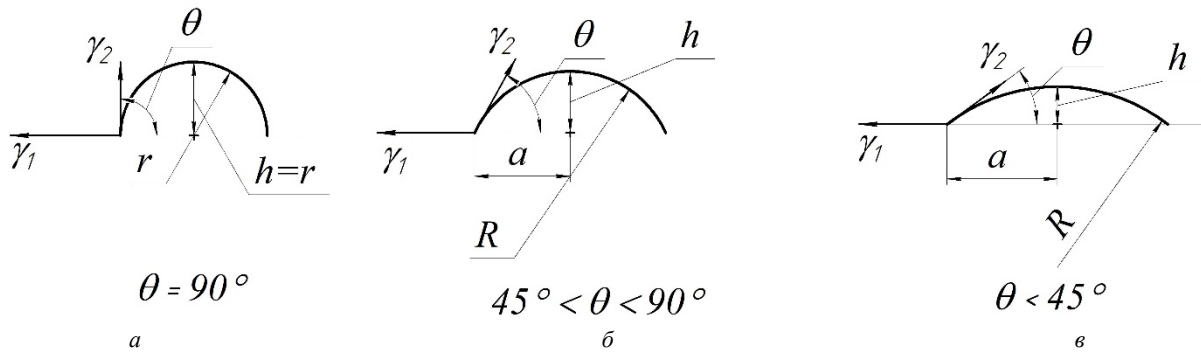


Рисунок 1. Розташування частинки у вигляді напівсфери на робочій поверхні: в початковий момент часу (а) та після «розповзання» (б) та (в)

Зі схем, наведених на рис. 1б, в можна побачити, що «розповзання» частинки, що супроводжується збільшенням її радіуса кривини R та радіуса поверхні контакту r , буде відбуватися при виконанні такої умови:

$$\gamma_1 - \gamma_2 \cos \theta > 0. \quad (1)$$

Раніше нами в роботі [1] було розглянуто модель поведінки сферичної частинки, яка при потраплянні на межу поділу «розповзалася», перетворюючись на два сферичні сегменти і не змінювала при цьому свого об’єму. З урахуванням виразів, наведених в роботі [1], можна знайти термодинамічний вигравш завдяки зменшенню вільної поверхневої енергії. Він буде дорівнювати різниці поверхневої енергії сфероїдальної поверхні частинки $F_{кін.сф.}$ та її круглої поверхні $F_{кр.}$ після «розповзання» і вільної енергії сферичної поверхні початкової частинки $F_{поч.сф.}$:

$$\Delta F = (F_{кін.сф.} - F_{кр.}) - F_{поч.сф.} = (2\pi R h \gamma_2 - \pi a^2 \gamma_1) - 2\pi r^2 \gamma_2, \quad (2)$$

де a – радіус плоскої поверхні частинки, який дорівнює $a = R \sin \theta$;
 h – висота сфероїдального сегмента, $h = R(1 - \cos \theta)$.

Співвідношення між радіусами вихідної напівсферичної частинки r та частинки після «розповзання» R (згідно рис. 1 та [1]):

$$r = R \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \cos \theta)^2 (2 + \cos \theta)}. \quad (3)$$

Тоді термодинамічний вигравш (або результуюче зменшення вільної поверхневої енергії), який при цьому отримується, при певних крайових кутах контакту може бути оцінений за допомогою залежності виду

$$\frac{\Delta F}{F_{сф.}} = \frac{(2\pi R_{снл.сф.} h \gamma_1 - \pi a^2 \gamma_1) - 2\pi r_{сф.}^2 \gamma_2}{2\pi r_{сф.}^2 \gamma_2} = \frac{1 - \cos \theta - \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \sin^2 \theta}{\gamma_2}}{\left[\frac{1}{2}(1 - \cos \theta)^2 (2 + \cos \theta) \right]^{\frac{2}{3}}} - 1. \quad (4)$$

З урахуванням отриманого рівняння були проведені відповідні розрахунки щодо відносної зміни вільної поверхневої енергії, які зведені в таблицю 1.

Такі зміни вільної поверхневої енергії показують, що спрощена процедура, яка враховує рівність круглих зон адгезійного контакту (відстань між центрами обох контактуючих зон дорівнює їхнім двом радіусам) дає можливість оцінити енергетичний вигравш, який залежить від цієї відстані і певним чином пов’язаний величиною адгезійного фактора на активованій в той чи інший спосіб поверхні контакту між напівсферичними частинками порошкової фракції.

Таблиця 1 – Розрахункові значення результуючої зміни поверхневої вільної енергії

№	θ	γ_1/γ_2	$\Delta F/F_{\text{напієсф}}$
1	90°	0	0
2	60°	0,5	-0,321
3	45°	0,787	-0,512
4	30°	0,867	-0,705
5	20°	0,940	-0,975

Висновки

Отже, незважаючи на спрощений підхід до вирішення проблеми, в роботі доведена можливість обговорювати питання контакту між порошинками однієї фракції та активованою поверхнею з позиції зміни фактора адгезії.

Список літератури

1. Ольшанецкий В. Е. О термодинамике взаимодействия сферических включений с движущимися границами зерен / Ольшанецкий В. Е., Кононенко Ю. И. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – № 2. – С. 128–130.

Одержано 12.02.2024

ABOUT PARTICLE INTERACTION OF ARBITRARY FORM BETWEEN THEMSELVES AND THE WORKING SURFACE

- Ol'shanetskii V. Dr. Tech. of Sciences, Professor, Head of the Department of Physical Materials Science, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: olshan@zpu.edu.ua*, ORCID: 0000-0002-9485-4896
- Kononenko J. Senior Lecturer of the Department of Physical Materials Science of National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: juliakon7335@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-0676-4015
- Kononenko A. A Postgraduate Student of the Department of Mechanics of the National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: andrju3952@gmail.com*
- Skrebtsov A. Candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics of the National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: nic_tz@ukr.net*, ORCID: 0000-0002-4669-9625

Key words: *activated surface, powder particles, sintering, specific surface energy, adhesion.*

References

1. Ol'shanetskii V. E., Kononenko Yu. I. (2016). O termodynamike vzaymodeistviya sferycheskykh vkluchenyi s dvyzhushchymysia hranytsamyi zeren [On the thermodynamics of the interaction of spherical inclusions with moving grain boundaries]. *New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 2, 128–130.