

6. Фізика (рівень стандарту, профільний рівень). Програма для 10-11-х класів ЗНЗ / Міністерство освіти і науки України. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-043-8-7>

## УЩІЛЬНЕННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Іванко В. В.**

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри загальної фізики і математики  
Полтавський національний педагогічний університет  
імені В. Г. Короленка*

**Сухомлин В. П.**

*кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри загальної фізики і математики  
Полтавський національний педагогічний університет  
імені В. Г. Короленка*

**Солодовник В. С.**

*студентка IV курсу фізико-математичного факультету  
Полтавський національний педагогічний університет  
імені В. Г. Короленка  
м. Полтава, Україна*

Сучасні технології дозволяють отримувати вироби невеликих розмірів. Корисні властивості таких виробів отримують після значного ущільнення порошкового матеріалу і подальшої термічної обробки. Значно зріс інтерес до отримання і застосування матеріалів з максимальною (теоретичною) густиною. Знати закономірності ущільнення порошкових матеріалів важливо в умовах виготовлення таких виробів. Ущільнення порошкових матеріалів тісно пов'язане з нерівноважним станом кристалічної решітки матеріалу. У деяких випадках ущільнення спостерігається протягом досить незначного проміжку часу [1, с. 987].

На процес ущільнення впливає технологія отримання порошкового матеріалу і форма окремих порошинок (їх структура).

При вивченні складного фізичного процесу важливими є його кінетичні характеристики, які спостерігаються в залежності від часу параметрів, що характеризують хід процесу. Зміну зменшення лінійних або об'ємних розмірів тіла з часом виміряти не складно. Сама кінетика ущільнення порошкових матеріалів вивчена не повністю.

Одночасно можуть існувати декілька процесів, що прямо або опосередковано впливають на ущільнення [2, с. 431].

Існують ці процеси протягом усього процесу ущільнення, або з часом їх вплив настільки змінюється, що можна говорити про зміну одного з процесів іншим. Ці процеси можуть залежати від вибору початкової точки дослідів, швидкості зміни температури, ступені дефектності кристалічної решітки [3, с. 1252].

Встановлення механізму процесу за виглядом експериментальної залежності є складним і не завжди можливим, оскільки теоретичні розрахунки не є досконалими, а дослід для дисперсних частинок не є точним. З дослідів видно, що аморфні і кристалічні речовини ущільнюються неоднаково.

Висока початкова швидкість пояснюється уявленнями про вплив на швидкість ущільнення кристалічних речовин дефектів кристалічної решітки. Таким чином швидкість нагріву впливає на кінцеве ущільнення. більше, ніж тривале перебування тіла у інтервалі температур, у якому відбувається найбільш значне ущільнення. Швидкість зменшення об'єму пори залежить від швидкості підвищення температури. Перебування тіла при пониженій температурі затримує процес ущільнення при наступному нагріві до високої температури. Цей вплив можна пояснити зникненням деякої кількості дефектів за відсутності значного ущільнення. При швидкому нагріванні і короткочасному перебуванні тіла в інтервалі температур, коли дефекти зникають при малому ущільненні, але досягненні високої температури у тілі зберігається значна концентрація дефектів, що забезпечує високу швидкість ущільнення.

При повільному нагріванні значна частина дефектів зникає при низьких температурах і швидкість ущільнення стає меншою за умови зменшення концентрації дефектів. Будь-яке попереднє ущільнення призведе до зменшення загального ущільнення. Це спостерігається лише для кристалічних сипучих тіл і відсутнє для аморфних.

Основна відміна ущільнення пористих кристалічних тіл від ущільнення аморфних у тому, що тривале ущільнення кристалічних тіл при низькій температурі нерівноцінне короткочасному ущільненню при високій температурі. Цю відміну обумовлює зміна

швидкості течії кристалічних тіл зі зміною концентрації дефектів і різною температурною залежністю двох основних процесів – об'ємної течії речовини при сталій концентрації дефектів і процесу зникнення дефектів. Таким чином, ущільнення кристалічного тіла не може розглядатися як один елементарний процес, кінетика якого задається одним значенням енергії активації. Хід ущільнення знаходиться у складній залежності від ряду елементарних процесів, енергія активації яких різна.

Для наближення частинок потрібно видалити частинки речовини із зони розташованої між центрами суміжних частинок. Відбувається об'ємна і поверхнева самодифузія. Різниця капілярних тисків біля поверхонь різної кривизни призводить до заповнення впадин і згладжуванні виступів за рахунок об'ємної течії речовини. Значна різниця енергії активації процесів поверхневої міграції і об'ємної течії обумовлює різну температурну залежність цих процесів. При низьких температурах мала швидкість об'ємної течії задає лише незначне зменшення об'єму пори, але процес згладжування рельєфу поверхні помітно розвивається із-за відносно високої швидкості поверхневої міграції речовини. При підвищенні температури швидкість об'ємної течії значно зростає і зменшення об'єму пори відбувається при меншому згладжуванні рельєфу.

Для кількісної оцінки впливу елементарних процесів на хід ущільнення потрібно спочатку їх описати як самостійні процеси. Після чого можна встановити їх взаємозв'язок і вплив на ущільнення. Задача була б розв'язана, якщо можна описати ці процеси, застосовуючи сучасні фізичні уявлення про дефекти і їх участі в течії кристалічної речовини.

Можливий і інший підхід до задачі природи елементарних процесів, що визначають хід ущільнення. Описати їх за допомогою загальних уявлень кінетики хімічних реакцій, які можна застосовувати до деяких процесів, що розвиваються в кристалічній решітці. Крім того, достатньо повні уявлення, можуть призвести до появи більш строгої теорії з застосуванням уявлень сучасної фізики.

Відмітимо, що до розвитку ущільнення інтенсивний ріст зерна, особливо у тілах з невисокою густиною, відсутній. Скоріше ущільнення призводить до росту зерна.

При ущільненні у різних умовах пористих кристалічних тіл з різною початковою пористістю виготовлених з одного вихідного порошку, концентрація дефектів змінюється з часом за одним і тим самим законом, і в будь-який проміжок часу ущільнення однакове [4, с. 206]. Тоді і відносне скорочення об'єму пор є однаковим для тіл з різною

пористістю. Між характеристиками пор для тіл, що ущільнюються різний час повинні існувати відмінності – більш гладка поверхня пор.

Явища, що порушують хід ущільнення, не впливають на зменшення об'єму пор у період ізотермічної витримки тому, що ті явища зникають ще до початку ізотермічного ущільнення. Швидке формування стійкої структури каналів пор у кристалічних тілах забезпечується високою плинністю речовини на початку ущільнення. Формування стійкої структури пор потребує деякого початкового ущільнення, яке досягається ще на стадії нагріву до заданої температури ізотермічного процесу.

#### Література:

1. Groza Y. R. Nanosintering. *NanoStructured Materials*. 1999. Vol. 12. P. 987–992.
2. Xiao-Hui Wang, Pei-Lin Chen, I-Wei Chen. Two-Step Sintering of Ceramics with Constant Grain-Size, I. Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of the American Ceramic Society*. 2006. Vol. 89, Issue 2. P. 431–437.
3. Fedyk R., Hreniak D., Łojkowski W., Stręk W., Matysiak H., Grzanka E. Method of preparation and structural properties of transparent YAG nanoceramics. *Optical Materials*. 2007. Vol. 29 (10). P. 1252–1257.
4. Гегузин Я. Е. Физика спекания. Москва : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 312 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-043-8-8>

## ПРАКТИКО-ОРІЄНТОВАНИЙ СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ УЧИТЕЛІВ ФІЗИКИ

**Ільніцька К. С.**

*кандидат педагогічних наук,  
старший викладач кафедри фізики та інтегративних технологій  
навчання природничих наук*

*Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
м. Умань, Черкаська область, Україна*

Необхідність оволодіння молоддю міждисциплінарними природничо-науковими знаннями в сучасну епоху диктується зміною вимог до професійної підготовки кадрів для всіх сфер діяльності