

АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТАЛІВ ТА ПОЛІМЕРІВ В УМОВАХ ВИСОКОШВИДКІСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Г. І. ХІМІЧЕВА, В. В. КУРИЛЯК*

Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Київський національний університет технологій і дизайну, Київ, УКРАЇНА

*email: valentina.kuryliak@gmail.com

АНОТАЦІЯ Практично досліджений процес поведінки параметрів матеріалів в умовах високошвидкісного навантаження. Встановлено, що міцність сферопластику визначається геометричними параметрами і щільністю, а процес руйнування показує пряму залежність між довжиною тріщини і амплітудою при різних імпульсах навантаження. Експериментально доведено, що в залежності від швидкості поширення тріщини в матеріалах групи полімери можлива поява різних поверхонь руйнування: «дзеркальної», або «шорсткої», а також присутній параболічний або «чашковий» злам.

Ключові слова: високошвидкісне навантаження, інтелектуальні матеріали, сферопластик, процес руйнування матеріалу.

ANALYSIS BEHAVIOUR PARAMETERS OF INTELLIGENT METALS AND POLYMERS UNDER HIGH SPEED LOADING

A. HIMICHEVA, V. KURYLYAK*

Department of Metrology, Standardization and Certification, Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT Almost investigated process parameters the behavior of materials under conditions of high load. It is found that the strength spheroplastic determined density and the geometrical parameters, the process of destruction and shows a direct relationship between the crack length and the amplitude of pulses at different loads. Experimentally proved that, depending on the rate of crack propagation in the materials group polymers may appear different fracture surfaces, "mirror" or "rough", and there is a parabolic or "The cup" kink. Established that at high speeds zones with different orientation. Proved that high performance load on intelligent materials leads to a deep fracture surfaces. The roughness increases with increasing speed of the crack. At speeds above 650 km / s is observed partial fragmentation pattern. Thus, the destruction of PMMA of interest in terms of the parameters of the spread of cracks and their rate of spread. According to the theoretical relationship between the critical pressure, causing the destruction of a spherical shell, and its parameters defined strength areas, mainly its geometrical characteristics, radius and wall thickness and elastic deformation of the glass. These data create the best design features durable, plastic and other properties because it has been proved that the basis of the effect of shape memory alloys are most of the so-called thermoelastic martensitic transformation. Almost proved that the surface destruction, creating rapid crack and consists of many "reflex" zones. These zones occur in areas of origin subsidiaries micro cracks in the vicinity of the crack tip. Location, number and character of these areas depend on the speed of the crack.

Keywords: high-speed load, intelligent materials, spheroplastic, the process of destruction of the material.

Вступ

До недавнього часу непружну деформацію розглядали як пластичну і вважали її незворотною. Але в ході досліджень за останні десятиліття було встановлено, що існує великий клас матеріалів в яких елементарний акт пластичності здійснюється за рахунок зворотного мартенситного перетворення, так названого пружного двійникування і ряду інших процесів, котрі докорінно змінюють закономірності непружної деформації.

У цих матеріалів, зокрема, може спостерігатися повна або часткова зворотність непружної деформації з так званим ефектом пам'яті форми [1]. Існують сотні металевих матеріалів, які після значного непружної деформації здатні повністю відновлювати форму. Величина ефекту різна у різних матеріалів може досягати 100%. Сплави, що володіють цим ефектом, відносяться до числа найбільш яскравих представників матеріалів зі спеціальними властивостями, такими як:

високі звичайні механічні характеристики, опір втомі, корозійна стійкість і незвичайні властивості, такі як термомеханічна пам'ять, реактивна напруга. З великого числа сплавів з ефектом пам'яті форми найбільш перспективними для практичного застосування є сплави Ti-Ni, які називають нікелатом титану або нітінолом.

Сплави з ефектом пам'яті форми часто відносять до, так званих інтелектуальних матеріалів це дозволяє створювати принципово нові конструкції і технології в різних галузях машинобудування, авіакосмічній та ракетній техніці, приладобудуванні, енергетиці, медицині і ін. [2-3]. Отже, у ряді випадків сплави з ефектом пам'яті форми можуть бути використані для виготовлення елементів конструкцій, що зазнають в процесі експлуатації навантаження ударно-хвильового типу [4]. Тому важливо знати їх поведінку при ударному навантаженні. Високий тиск, який викликаний ударними хвилями, використовується для вивчення оборотних фазових перетворень, таких як:

мартенситні перетворення стали, фазові перетворення графіту в алмаз. Ці перетворення є прикладом структурних фазових змін з вихідного стану низької щільності в кінцевий високо щільний стан.

Матеріали з пам'яттю форми мають досить широке коло застосування. Метал, який має здатність до повернення деформацій, можливо запрограмувати на досить складні рухи і тим самим на вчинення виконавчих функцій майже необмеженого ступеня складності. Якщо використовувати здатність металу до прояву багаторазової зворотної пам'яті форми, то можливо виготовляти трансформовані конструкції, які будуть здійснювати само розгортання і само складання, а окремі виконавчі елементи, наприклад пружини, будуть багаторазово повторювати рухи найрізноманітніших траєкторій. Очевидно, що елементи конструкцій, виготовлені з матеріалів з пам'яттю форми, зокрема з нікеліду титану, можуть в процесі експлуатації зазнавати ударно-хвильових навантажень. Тому актуальним є вивчення поведінки даних матеріалів при ударному навантаженні. Подібні дослідження дозволять спостерігати мартенситні перетворення в сплавах і зміну їх структури і властивостей. Отримані дані дозволяють створювати конструкції з найкращими міцністними характеристиками, пластичними та іншими властивостями. В основі ефекту пам'яті форми більшості сплавів лежать, так звані термопружні мартенситні перетворення. Відомо, що теорія мартенситних перетворень ґрунтується на уявленнях про закономірний характер перебудови кристалічної решітки і когерентності співіснуючих фаз аустеніту (А) і мартенситу (М).

Для сплавів з термопружними мартенситними перетвореннями характерна залежність фазового складу від температури. При охолодженні матеріалу з аустенітного стану мартенсит починає утворюватися з деякою температури M_n . І при подальшому охолодженні кількість мартенситної фази збільшується, і повне перетворення аустеніту в мартенсит закінчується при температурі M_k . нижче цієї температури термодинамічно стійкою залишається тільки мартенситна фаза. При нагріванні і перетворенні мартенситу в аустеніт, даний процес починається з деякої температури A_n і повністю закінчується при температурі A_k . А при повному термоциклованні виходить гістерезисна петля, оскільки ширина гістерезисної петлі по температурній шкалі A_k-M_n або A_n-M_k може бути різною, то для різних матеріалів: широкої або вузької. При наявності механічної напруги, температури M_n , M_k , A_n і A_k можуть зміщуватися в сторону більш високих температур, і в цьому випадку їх позначають як $M_n^g, M_k^g, A_n^g, A_k^g$ [5].

Важливо відзначити, що при термопружних мартенситних перетвореннях (в відміню від звичайних мартенситних перетворень, наприклад в сталях) міжфазні гранці між А і М зберігають когерентність і є легко рухливими. При охолодженні (пряме перетворення) в інтервалі температур (М- M_k) зароджуються і ростуть кристали мартенситу, а при нагріванні (зворотне перетворення) в інтервалі температур (Ан- A_k) кристали мартенситу зникають (перетворюються в аустеніт) в зворотній послідовності. Цей процес зображено на рис. 1.

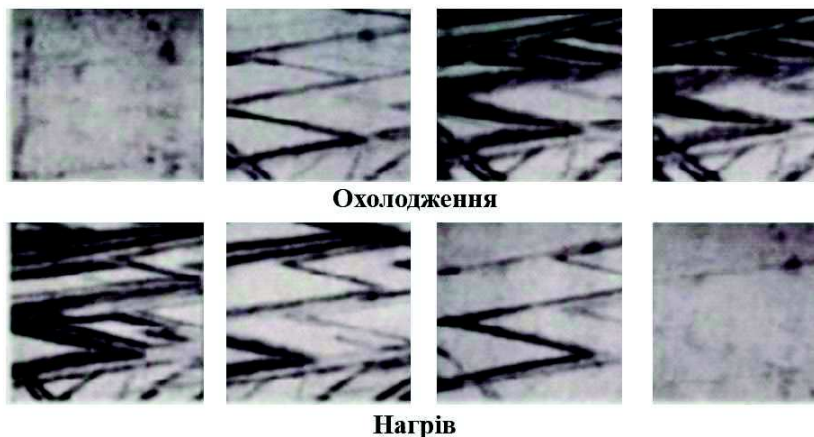


Рис. 1 – Ріст і зникнення кристалів мартенситу при охолодженні і нагріві

У разі наявності в матеріалі орієнтованих напруг (наприклад, дії зовнішнього навантаження) мартенситні пластини набувають переважного орієнтування, і локальні зсувні деформації призводять до макроскопічних змін форми зразка. В процесі зворотного перетворення (М-А) перебудова решітки відбувається за принципом «Точно назад», при цьому локальні зсувні деформації зникають і, отже, усувається макроскопічна зміна форми. Зовнішній

прояв такої поведінки матеріалу інтерпретується як ефект пам'яті форми.

Перебіг фазового перетворення і поява структури мартенситу може бути викликана дією ударних хвиль, а перебіг мартенситного перетворення і ефекту пам'яті форми в сплавах Ti-Ni досліджувався в роботі [6]. Пластини нікелідатитану (Ti-50.5 ат.% Ni) розмірами 80-60-2,2 мм були піддані навантаженню ударними хвилями. Пластини були отримані прокатом

в аустенітному стані при високих температурах, температура кінця прокатки була нижче 500°C . Було використано два способи навантаження з різними амплітудами тиску. Змінна ударна хвиля з тиском 10 ГПа створювалася вибухом пластичної вибухової речовини (ВР). Плоска ударна хвиля з тиском 50 ГПа створювалася за допомогою металевої пластини. Послідовність вимірювань полягала в наступному: кожен зразок спочатку охолоджували для завершення мартенситних перетворень, потім нагрівали вище кінця зворотного перетворення, потім охолоджували до кімнатної температури. Ці вимірювання становили перший цикл мартенситних перетворень. Такі ж вимірювання, зроблені повторно, становили другий цикл перетворень [6].

При ударно-хвильовому навантаженні діють зовнішні фактори (напруги і деформації), що викликають відбір орієнтувань при мартенситних перетвореннях. Ці фактори долають вплив частинок і дислокацій, змінюючи тип пам'яті від аустенітної до мартенситної. Однак носії аустенітної пам'яті зберігаються в структурі утвореного мартенситу. Після перетворення при нагріванні зникає набір орієнтувань мартенситу, що виникли при навантаженні, і відтворюється текстура аустеніту. Наступні мартенситні перетворення відбуваються з відбором орієнтувань, який диктується збереженими внутрішніми факторами. Аустенітна пам'ять і відповідна текстура мартенситу відтворюються [7].

Мартенситне перетворення впливає на межу текучості матеріалу при ударно-хвильовому деформації і його зростання з нагріванням [6]. У роботі [8] вивчення впливу інтенсивної деформації на властивості міцності матеріалу здійснювалося шляхом проведення експериментів з крупнозернистими зразками сплаву TiNi і субмікросталічними зразками сплаву TiNi. Експерименти проводилися в інтервалі температур зразків від мінус 80°C до плюс 140°C , тобто температурний діапазон випробувань включав області стійкості аустенітної і мартенситної фаз і області термопружних мартенситних перетворень.

Результати вимірювань підтверджують вплив перетворення на межі плинності матеріалу в субмікросекундному діапазоні тривалостей навантаження. Межа пружності при ударному стисненні при кімнатній температурі виявляється близькою до нуля, при 80°C зростає до 2,5 ГПа, зниження ж температури до мінус 60°C не призводить до суттєвих змін меж пружності.

Виміряні профілі швидкості вільної поверхні зображені на рис. 2 і показують, що при кімнатній і низьких температурах відкольні руйнування завершуються за час близько 150 нс, а при підвищених температурах відколюється пластина, яка зберігає досить міцний зв'язок з іншою частиною зразка. Крім того, зменшення величини зерна шляхом пластичної деформації призводить до зростання усіх міцностей матеріалу в усьому вивченому інтервалі температур.

Таким чином, ударні впливи на сплави з пам'яттю форми викликають мартенситні перетворення, які називаються ударними. Поведінка пластично-деформованих матеріалів, в цілому, мало відрізняється від поведінки не деформованих матеріалів при ударному навантаженні.

Отже, на параметри матеріалів впливає температура проведення експериментів: нормальна і низька температури збільшують швидкість мартенситного перетворення (зменшують в'язкість); підвищена температура збільшує межу пружності; відкольна міцність високотемпературної фази залишається практично незмінною; при кімнатній і зниженій температурах міцність деформованого матеріалу приблизно на 15% нижче [8].

Як відомо, полімерами називають речовини, макромолекули яких складаються з численних елементарних ланок (мономерів) однакової структури. Молекулярна маса їх становить від 5000 до 1000 000.

При таких великих розмірах макромолекул властивості речовин визначаються не тільки хімічними складовими цих молекул, але і їх взаємним розташуванням і будовою. Макромолекули полімеру являють собою ланцюжки, що складаються з окремих ланок. Поперечний переріз ланцюга кілька ангстрем, а довжина кілька тисяч ангстрем, тому макромолекулам полімеру властива гнучкість (яка обмежена розміром сегментів – жорстких ділянок, що складаються з декількох ланок). Гнучкість макромолекул є однією з відмінних рис полімерів.

Особливості будови полімерів надають великий вплив на їх фізико-механічні та хімічні властивості. Внаслідок високої молекулярної маси вони не здатні переходити в газоподібний стан, при нагріванні утворювати низко в'язкі рідини, а деякі, що володіють термостабільною просторовою структурою, навіть розм'якшуються. З підвищенням молекулярної маси зменшується розчинність. При молекулярній масі $(300 - 400) \cdot 10^3$ і низькій полярності полімери розчинні в розчинниках, процес протікає повільно: через стадію набухання з появою дуже великої в'язкості розчинів. Якщо молекулярна маса дуже велика або присутні високо полярні групи, то полімер стає нерозчинним ні в одному з органічних розчинників [8].

Полімерні матеріали є в'язко пружні та твердими тілами. Схильність останніх до непружної і пластичної деформації убуває, коли вони випробовуються при високих швидкостях завантаження. Більш низька деформованість викликає у в'язкому або високо еластичному полімері крихке руйнування. Опір полімерів ударному навантаженню має технічне значення, яке ілюструється такими прикладами:

1. Ілюмінатори літака повинні витримувати удари твердих частинок або крапель дощу;
2. Захисні покриття високовольтних перемикачів повинні витримувати удари металевих осколків;

3. Труби не повинні пошкоджуватися при випадковому ударі і т.д.

У даній роботі розглянуті особливості поведінки при ударі двох полімерів: склоподібного поліметілметакрилату (ПММА) – оргскла і композиційного матеріалу – сферопластіку. Поліметілметакрилат (ПММА) низькомолекулярний формувальний (Молекулярна маса $8 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^5$) продукт суспензійний або блокової полімеризації або ко полімеризації метилметакрилату з акрилатами. ПММА стійкий до багатьох розчинів неорганічних реагентів, включаючи розбавлені луку і кислоти, подібно звичайному полістиролу, аморфний при будь-яких умовах. Але властивості ПММА перевершують полістирол, полівінілацетат, полівінілхлорид (полістирол – дешевий термопласт, який володіє високою твердістю, але крихкий і не теплостійкий).

Одним з найбільш цінних властивостей поліметілметакрилату є його оптична прозорість і відсутність забарвлення. Поєднання оптичних властивостей з дуже високою атмосферо стійкістю робить поліметілметакрилат особливо цінним в тих випадках, коли потрібна висока прозорість виробів.

Поліметілметакрилат забарвлюється в різні яскраві кольори, причому забарвлення є світлостійкими. Наприклад, задні ліхтарі у автомобілів робляться з цього полімеру, пофарбованого в червоний і інші кольори [10]. Поліметілметакрилат володіє також хорошими механічними і термічними властивостями. Міцність на удар майже так само висока, як у спеціальних сополімерів стирола. Теплостійкість прес-порошків з теплостійких сортів поліметілметакрилату перевищує 90° . Цей полімер володіє досить хорошими діелектричними властивостями. Поліметілметакрилат дуже легко переробляється, а температура, необхідна для його пресування, лише трохи перевищує температуру пресування полістиролу.

Поліметілметакрилат має меншу схильність до розтріскування, ніж полістирол. Застосування поліметілметакрилату для виготовлення оптичних виробів обмежується його низькою порівняно зі склом стійкістю до стирання. Спроби підвищити стійкість полімеру до дряпання (збільшити його поверхневу твердість) не дали бажаних результатів, так як у всіх випадках спостерігалось погіршення інших властивостей, наприклад ударної міцності [11].

Технічний продукт поліметилтакрилат (ПММА), відомий під назвою органічне скло створюється з ПММА і не тільки, оскільки це листовий матеріал, який отримують шляхом полімеризації метилметакрилату та мономерів. В залежності від конкретного призначення у суміш матеріалу вводять пластифікатори, барвники, замутнювачі і стабілізатори. Оскільки органічне скло використовують у широкому спектрі, це в свою чергу зумовлює інтерес до вивчення його поведінки в умовах різного ударного типу.

Так, при ударному руйнуванні ПММА в роботі [12] сумісно із співавторами було встановлено, що при швидкості удару 2000 м/с відбувається руйнування, а саме відокремлення великого центрального уламку, розміри якого у 3 рази перевищують розміри ударнику, а також велика кількість дрібних уламків. В результаті проведеного експерименту було встановлено, що при розмірах ударника 100×100 і товщиною 38 мм, швидкість удару досягала від 800 до 2500 м/с і спостерігалися значні руйнування. А при швидкості меншій за 800 м/с не спостерігалось суттєвого руйнування мішені, але матеріал ударнику починав розтікатися по поверхні мішені. При швидкості удару 2000 м/с діаметр зони руйнування складав від 40 до 45 мм з глибиною 10 мм. Розміри центрального уламку були рівні 27 мм з висотою 9 мм. До того ж зона руйнування яка відповідає за формування центрального уламку утворилася зразу ж після зіткнення. Через 2 мкс з'явилися розтягуючі напруження на глибині 8 мм, до того ж зона просувалася вниз і збільшувалася в об'ємі. Сам процес руйнування завершується повним відділенням уламку через 30 мкс. В роботі [13] вимірювалась інтенсивність рентгенівського променю з щільністю матеріалів, яка змінювалася. А навантаження зразків ПММА висотою 10 мм з одного торця проводилось вибухом заряду вибухової речовини, такої ж форми висотою 70 мм. На рис. 1. Зображена схема експерименту.

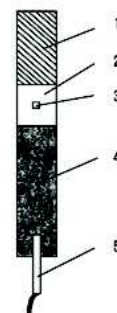


Рис. 2 – Схема постановки експерименту
1. металічний циліндр, 2. зразок ПММА, 3. зона наведення пучка, 4. заряд ВР, 5. детонатор.

Незважаючи на значний відсоток експериментальних робіт присвячених дослідженню властивостей органічного скла, стійкий фізичний процес руйнування відсутній. Наприклад на сьогодні питання про те, які тріщини повздовжні або поперечні є визначальними при зсуві під дією хвилі руйнування. В даному випадку після удару слідує хвиля руйнування, зменшується щільність, яка рівняється розмаху уламків у хвилях розрідження і в самій хвилі ми спостерігаємо ударну хвилю з інтервалом 1,25 мкс з стисненням 0,75 мкс до моменту початку зсуву.

Особливий інтерес при навантаженні матеріалів, подібних ПММА, представляє дослідження динаміки поширення тріщин в крихкому матеріалі. Тим більше що прозорість матеріалу дуже добре дозволяє спостерігати це явище. В роботі [12]

проводився експеримент з прямокутними зразками з ПММА довжиною 141 мм висотою 66 і 86 мм і товщиною 0,6 до 1,9 мм. Експериментальна установка створювала напруги в діапазоні від 13 до 45 МПа. В ході експерименту визначалися сила, прикладена до зразка, середня швидкість тріщини і поле напружень в зразку. Поверхні руйнування зразків досліджувалися за допомогою оптичного мікроскопа. Тріщина створювалася гострим лезом на середині бічної грані зразка. В ході експерименту було встановлено два режими поширення тріщини: помірковано-прямолінійний і режим розгалуження. У першому випадку тріщина рухалася зі швидкістю до 416 м/с і сформувала гладку поверхню руйнування. У режимі розгалуження швидкість тріщини досягає 500-800 м/с і поверхня зламу має значну шорсткість.

Поверхня руйнування, створена швидкою тріщиною, складається з безлічі «дзеркальних» зон. Ці зони виникають в місцях зародження дочірніх мікро тріщин в околі вершини тріщини. Місце знаходження, число і характер розвитку цих зон залежать від швидкості тріщини. Якщо швидкість основної тріщини низька, зони формуються тільки у напрямку максимуму напруг розтягуючих, які збігаються з початковою орієнтацією тріщини, що дає освіту гладкій поверхні зламу.

При високих швидкостях ці зони мають різну орієнтацію, що призводить до глибокої поверхні руйнування. Шорсткість збільшується в міру збільшення швидкості тріщини. При швидкостях вище 650 м/с спостерігається часткова фрагментація зразка.

Таким чином, руйнування ПММА представляє інтерес з точки зору параметрів поширення тріщин і швидкості їх поширення. Експериментальні дослідження показують, що в залежності від швидкості поширення тріщини можлива поява різних поверхонь руйнування: «дзеркальної», «шорсткої», а також параболічний або «чашковий» злам.

Сферопластиком називають композиційний матеріал, що містить скляні або вуглецеві мікросфери, впроваджені в матрицю сполучного. Композиційний матеріал – це штучний матеріал, одержуваний поєднанням хімічно різнорідних компонентів. Одним з компонентів є матриця (для полімерів – сполучна), іншим – зміцнені чи. Родоначальником композиційних матеріалів є армовані склопластики. Їх фізична природа, схеми армування і розрахункові особливості переносяться на композиційні полімерні матеріали [12]. Мікросфери або сферичні наповнювачі можуть бути суцільними і порожніми. Суцільні скляні мікросфери володіють багатьма якостями ідеального наповнювача: мінімальний вплив на в'язкість і протягом матриці, відсутність нерівномірного розподілу концентрації напружень навколо частинки, як для наповнювачів складної форми з гострими кутами і кутами, що зазвичай призводить до погіршення механічних властивостей наповнених матеріалів. Зазвичай суцільні мікросфери мають розміри від $5 \cdot 10^3$ до 0,7 мм [14]. Найчастіше ці

мікросфери використовуються в якості дешевих наповнювачів або для додання спеціальних властивостей. Скляні мікросфери знаходять застосування, як наповнювачі практично для будь-яких полімерів. Вони дозволяють підвищити міцність при розтягуванні і стисненні, модуль пружності при вигині, твердість, зносостійкість, деформаційних теплостійкість, водостійкість, корозійну стійкість, електричні властивості, в'язкість руйнування. Найкращий ефект досягається при використанні сфер в поєднанні з волокном. [15].

Введення порожніх скляних мікросфер підвищує жорсткість і ударну міцність склопластиків. Порожністі мікросфери в якості наповнювача мають вельми широке коло застосування, в тому числі і в областях, де вони піддаються високим навантаженням. Порожністі мікросфери використовують в виготовленні піно заповнювачів для корпусу і палуби човнів. Такі пінопласти значно міцніші за звичайні, тому знаходять широке застосування і у виробництві глибоководних апаратів, тому що витримують гідростатичний тиск до 100 МПа. Крім того, порожністі мікросфери використовуються як наповнювачі для теплозахисних матеріалів і забезпечують зниження їх маси, підвищення тепло ізолюючої здатності і міцності при стисненні, а також у виробництві інших елементів конструкцій космічної техніки [81]. Застосування порожнистих мікросфер для виготовлення композиційних полімерних матеріалів – сферо пластиків – в подібних областях, сприяє вивченню найбільш важливих фізико-механічних характеристик мікросфер таких, як щільність і міцність. Існує ряд факторів, впливають на міцність порожніх мікросфер. У роботі [12], згідно з теоретичної залежності між величиною критичного тиску, що викликає руйнування сферичної оболонки, і її параметрами, міцність сфери визначається, головним чином, її геометричними характеристиками: радіусом і товщиною стінки, а також пружною деформацією скла (модулями Юнга і Пуассона).

$$P_{кр} = \frac{1,15 * E * (h/r^2)}{\sqrt{1 - \mu^2}}, \quad (1)$$

де, $P_{кр}$ – величина руйнівного тиску;

h - товщина стінки;

r - радіус сфери;

μ - коефіцієнт Пуассона;

E - модуль пружності скла.

Для оцінки впливу кожної складової (геометричної та хімічної) отримана залежність критичної міцності від дійсної щільності порожнистих мікросфер рис 3.

В інтервалі значень щільності 200-400 кг/м³. Найбільша межа міцності сфер змінюється практично лінійно. Крім того, міцність сфер визначається, головним чином, їх геометричними параметрами. Значення величини модуля пружності скла зростає в міру збільшення щільності мікросфер, особливо після 500-600 кг/м³ [12]. Порожні скляні мікросфери є

полідисперсний матеріалом, що містять безліч частинок, що відрізняються розмірами, товщиною стінки, щільністю. Саме цим пояснюється характер кривої руйнування порожніх мікросфер (рис. 4). Вихідна дійсна щільність мікросфер дорівнює 290 кг/м^3 . На рис. 4. Зображено залежність ступеня руйнування порожніх скляних мікросфер N_p від величини гідростатичного тиску P (щільність мікросфери = 290 кг/м^3).

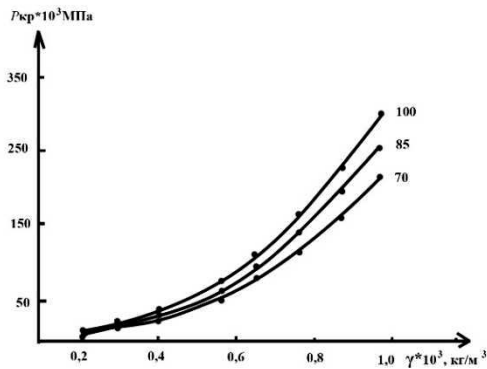


Рис. 3 – Залежність розрахункових значень міцності від щільності

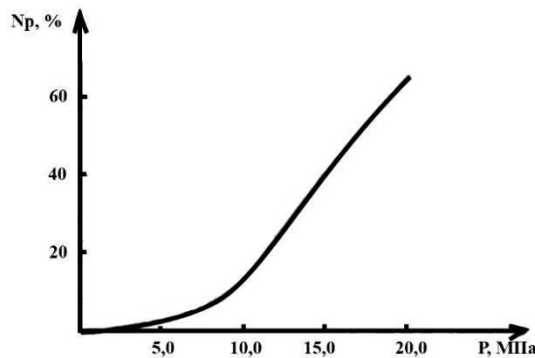


Рис. 4 – Залежність ступеня руйнування полів скляних мікросфер N_p від величини гідростатичного тиску P

Як випливає з рівняння (1), зміна критичної міцності порожнистих сфер лінійно залежить від величини модуля пружності скла, причому зі збільшенням значень щільності ця залежність стає більш суттєвою. Для мікросфер з щільністю 300 кг/м^3 , наприклад, розрахункові значення критичної міцності зі збільшенням модуля пружності від $70 \cdot 10^3$ до $85 \cdot 10^3$ МПа змінюються від 168 до 204 МПа [12].

Висновки

Таким чином, вирішальним фактором, що впливає на міцність порожніх скляних мікросфер, є їх дійсна щільність, або, при умови незначного розкиду за розмірами, товщина стінки. Значення модуля пружності для обмеженої області практичних скляних не робить істотного впливу на міцність порожніх мікросфер, особливо в області значень дійсної

щільності $200 - 400 \text{ кг/м}^3$. Крім того, у багатьох випадках виявляється можливим досить точно визначення енергетичного стану зразка в момент руйнування. при порогових навантаженнях руйнування відбувається із затримкою, близькою до інкубаційного часу руйнування. При цьому час старту тріщини виявляється більшим за час дії зовнішнього імпульсу тиску. при навантаженні зразків імпульсами тривалістю менше інкубаційного періоду руйнування. Вся енергія зовнішнього впливу переходить в пружну і кінетичну енергію матеріалу, і процес просування тріщини визначається в подальшому величиною цієї внутрішньої енергії. З огляду на сферу застосування композиційних матеріалів, таких як сферопластик, зокрема в плавучих засобах глибоководних апаратів важливо не тільки, знати їх поведінку при навантаженні.

Такі матеріали мають хороші конструкційні і діелектричні властивості і виявляються досить міцними по відношенню до ударних навантажень і мають незначну вагу. Як видно, міцність сферопластику визначається геометричними параметрами і щільністю. А руйнування сферопластику показує пряму залежність між довжиною тріщини і амплітудою при різних імпульсах навантаження.

Список літератури

1. **Ооцука, К.** Сплавы с эффектом памяти формы / **К. Ооцука** и др. под ред. Х. Фунакубо. – М.: Металлургия. – 1990. – 224 с.
2. **Курдюмов, Г. В.** О природе бездиффузных мартенситных превращений / **Г. В. Курдюмов** // ДАН СССР. – 1948. – Т. 60. – № 9. – С. 1543-1546.
3. **Курдюмов, Г. В.** О термоупругом равновесии при мартенситных превращениях / **Г. В. Курдюмов, Л. Г. Хандрос** // ДАН СССР. – 1948. – Т. 60. № 2. – С. 211-220.
4. **Otsuka, Ed. K.** Shape memory materials / **Ed. K. Otsuka, C. M. Wayman** // *Cam-bridge University Press*, 1999. – 284 p.
5. **Barbarino, S.** A review on shape memory alloys with applications to morphing aircraft / **S. Barbarino, E. I. Saavedra Flores, R. M. Ajaj, I. Dayyani, M. I. Friswell** // *Smart Mater. Struct.* – 2014. – № 23(6). – P. 1-19. doi:10.1088/0964-1726/23/6/063001.
6. **Greninger, A. B.** Strain transformation in metastable beta copper–zinc and beta copper–tin alloys / **A. B. Greninger, V. G. Mooradian** // *Trans. AIME.* – 1938. – № 128. – P. 68-337.
7. **Chang, L. C.** Plastic deformation and diffusionless phase changes in metals – the gold–cadmium beta phase / **L. C. Chang, T. A. Read** // *Trans. AIME.* – 1951. – № 189. – P. 47-52.
8. **Buehler, W. J.** Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi / **W. J. Buehler, J. V. Gilfrich, R. C. Wiley** // *Appl. Phys.* – 1963. – № 34. – P. 1475
9. **Jani, J. M.** A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities / **J. M. Jani, M. Leary, A. Subic, M. A. Gibson** // *Materials & Design.* – 2014. – № 56. – P. 1078-1113. – doi:10.1016/j.matdes.2013.11.084.

10. **Мишак, В. Д.** Епоксидні наноккомпозити. Структура та властивості / **В. Д. Мишак, В. В. Семіног, Ю. П. Гомза** та ін. // *Полімер. журн.* – 2008. – Т. 30. № 2. – С. 146-153.
11. **Помагайло, А. Д.** Наночастиці металів в полімерах / **А. Д. Помагайло, А. С. Розенберг, И. Е Уфлянд** // М.: Химия. – 2000.
12. **Веселовский, Р. А.** Формирование органоминеральной композиции на основе полиизоцианата и жидкого стекла / **Р. А. Веселовский, С. С. Ищенко, Т. И. Новикова** // *Укр. хім. журн.* – 1988. – Т. 54. № 3. – С. 315-319.
13. **Bronstein, L. M.** Design of organic-inorganic solid polymer electrolytes: synthesis, structure and properties / **L. M. Bronstein, R. L. Karlinsey, K. Ritter** et al. // *J. Mater. Chem.* – 2004. – Vol. 14. – P. 1812-1820. – doi:10.1039/B401826E.
14. **Лебедев, Е. В.** Полимерные органосиликатные системы / **Е. В. Лебедев, С. С. Ищенко, А. Б. Придатко** и др. // *Композиц. полимер. материалы.* – 1999. – №21(1). – С. 3-12
15. **Гуль, В. Е.** Структура и механические свойства полимеров / **В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев** // М.: Высшая школа. – 1972.
16. **Chang, L. C., Read, T. A.** Plastic deformation and diffusionless phase changes in metals – the gold–cadmium beta phase. *Trans. AIME*, 1938, **128**, 68-337.
17. **Chang, L. C., Read, T. A.** Plastic deformation and diffusionless phase changes in metals – the gold–cadmium beta phase. *Trans. AIME*, 1951, **189**, 47-52.
18. **Buehler, W. J., Gilfrich, J. V., Wiley, R. C.** Effect of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *Appl. Phys*, 1963, **34**, 1475 p.
19. **Jani, J. M., Leary, M., Subic, A., Gibson, M. A.** A Review of Shape Memory Alloy Research, Applications and Opportunities. *Materials & Design*, 2014, **56**, 1078-1113, doi:10.1016 / j.matdes.2013.11.084.
20. **Mishak, V. D., Seminog, V. V., Gomza, Yu. P.** та ін. Epoksidni nanokompoziti. *Struktura ta vlastivostI.* 2008, **30(2)**, 146-153.
21. **Pomagaylo, A. D.** Nanochastitsyi metallov v polimerah. Moscow: Himiya, 2000.
22. **Veselovskiy, R. A., Ischenko, S. S., Novikova, T. I.** Formirovanie organomineralnoy kompozitsii na osnove poliiizotsianata i zhidkogo stekla. *Ukr. hIm. zhurn.* 1988, **54(3)**, 315-319.
23. **Bronstein, L. M., Karlinsey, R. L., Ritter, K.** et al. Design of organic-inorganic solid polymer electrolytes: synthesis, structure and properties. *J. Mater. Chem.* 2004, **14**, 1812-1820, doi:10.1039/B401826E.
24. **Lebedev, E. V., Ischenko, S. S., Pridatko, A. B.** i dr. Polimernyye organosilikatnyie sistemyi. *Kompozits. polimer. materialy.* 1999, **21(1)**, 3-12.
25. **Gul, V. E., Kuleznev, V. N.** Структура i mehanicheskie svoystva polimerov. Moscow: Vysshaya shkola, 1972.

References (transliterated)

1. **Ootsuka, K.** [and others] Alloys with shape memory effect. ed. by H. Funakubo. Moscow: Metallurgy, 1990, 224 p.
2. **Kurdyumov, G. C.** On the nature of bitdefender martensitic transformations. DAN SSSR, 1948, **60** (9), 1543-1546.
3. **Kurdyumov, G. C., Andros, L.** Thermoelastic equilibrium when the martensite transformation. DAN SSSR, 1948, **60(2)**, 211-220.
4. **Otsuka, Ed. K., Wayman, C. M.** Shape memory materials. Cam-bridge University Press, 1999, 284 p.
5. **Barbarino, S., Saavedra Flores E. I., Ajaj R. M., Dayyani I., Friswell, M. I.** A review on shape memory alloys with

Відомості про авторів (About authors)

Хімічева Ганна Іванівна – доктор технічних наук, професор, заступник завідуючого кафедри метрології, стандартизації та сертифікації, Київського національного університету технологій і дизайну, Київ, Україна, E-mail: himicheva.knutd@gmail.com, тел.: 066-29-913-64

Himicheva Anna – Professor, Doctor of Technical Science, Deputy Head of Department, Department of Metrology, Standardization and Certification, Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, Ukraine, E-mail: Himicheva.knutd@gmail.com, Tel.: 066-29-913-64

Куриляк Валентина Василівна – аспірантка кафедри метрології, стандартизації та сертифікації, Київського національного університету технологій і дизайну, Київ, Україна, E-mail: valentina.kuryliak@gmail.com, тел.: 063-29-805-39

Kurylyak Valentina – Postgraduate student, Department of Metrology, Standardization and Certification, Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, Ukraine, 01011, E-mail: valentina.kuryliak@gmail.com, tel.: 063-29-805-39

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Хімічева, Г. І. Аналіз поведінки параметрів інтелектуальних металів та полімерів в умовах високошвидкісного навантаження / **Г. І. Хімічева, В. В. Куриляк** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 125-131. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.19.

Please cite this article as:

Himicheva, A., Kurylyak, V. Analysis behaviour parametrs of intelligent metals and polymers under high speed loading. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 125-131, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.19.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Химичева, А. И. Анализ поведения параметров интеллектуальных металлов и полимеров в условиях высокоскоростного нагружения / **А. И. Химичева, В. В. Куриляк** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 125-132. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.19.

АННОТАЦІЯ Практически исследован процесс поведения параметров материалов в условиях высокоскоростной нагрузки. Установлено, что прочность сферопластика определяется геометрическими параметрами и плотностью, а процесс разрушения показывает прямую зависимость между длиной трещины и амплитудой при различных импульсах нагрузки. Экспериментально доказано, что в зависимости от скорости распространения трещины в материалах группы полимеры возможно появление различных поверхностей разрушения: «зеркальной», или «широховатой», а также присутствует параболический или «чашечный» излом.

Ключевые слова: высокоскоростная нагрузка, интеллектуальные материалы, сферопластик, процесс разрушения материала.

Надійшла (received) 04.07.2016