

# ВПЛИВ УДАРНО-КОЛИВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗМІНУ СТРУКТУРИ І ВИХІДНІ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

**М.Г. Чаусов<sup>1</sup>, А.П. Пилипенко<sup>1</sup>, В.Б. Березін<sup>1</sup>, К.М. Волянська<sup>1</sup>,  
П.О. Марущак<sup>2</sup>, В.Б. Гуцайлюк<sup>3</sup>, Л.І. Маркашова<sup>4</sup>, С.А. Недосека<sup>4</sup>,  
А. Мено<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ, Україна

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

<sup>3</sup>Варшавська військово-технічна академія, Варшава, Польща

<sup>4</sup>Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, Україна

<sup>5</sup>Міжнародна академія цивільної авіації, Марракеш, Марокко

New experimental results are presented for the effect of the impact-vibration loading on the variation of the initial structure of the aircraft material (alloys D16, 2024-T3, V22) at various stages of deformation, and a significant enhancement of its initial plasticity is obtained. Complex investigations into the material properties after a dynamic non-equilibrium process made it possible to describe the main regularities in the nature of deformation and fracture of materials, which allowed proposing the generalized recommendations on using the revealed physical and mechanical regularities during the evaluation of strength of aircraft structures.

Деформування пластичних матеріалів, що супроводжується стрибкоподібною зміною умов навантаження, може призводити до непрогнозованих змін структури і механічних властивостей матеріалу. Це пов'язано з нелінійною поведінкою механічної системи та можливістю самоорганізації структури матеріалу за раптової зміни зовнішнього силового впливу. Раніше авторами було експериментально доведено, що самоорганізація структуроутворення в пластичних конструкційних матеріалах може бути реалізована практично на будь-якій гідравлічній випробувальній машині за умов ударно-коливального навантаження з частотою 1...2 кГц. Режим ударно-коливального навантаження автори називають динамічним незрівноваженим процесом (ДНП).

Один із основних механізмів структурних перетворень в матеріалах за реалізації ДНП в пластичній області попередньо статично деформованих зразків є формування просторових тонкосмугових структур, що пов'язані із деформаційними проявами на різних масштабних рівнях. Зміну механізму деформування матеріалів при ДНП автори пов'язують з істотними флуктуаціями швидкостей підведення енергії до зразка матеріалу за ударно-коливального навантаження. При цьому, за дуже короткий час (15...45 мілісекунд) зразок матеріалу піддається малоцикловому високочастотному навантаженню зі значним розмахом амплітуди напружень (десятки МПа). В наслідок цього, надлишок підведеної енергії дисипує в локальних послаблених зонах матеріалу, формуючи дисипативні структури з новими фізико-механічними властивостями.

Результати попередніх експериментів авторів [1, 2] свідчать, що накладання на статичний розтяг зразків матеріалів різних класів ударно-коливального навантаження, як правило підвищує пластичність матеріалів. За оптимальних значень попередньої статичної деформації та інтенсивності ударно-коливального навантаження можна досягнути істотного підвищення вихідної пластичності, без помітного зменшення міцнісних характеристик матеріалу.

Метою даної роботи є виявлення характерних структурних змін у матеріалах різних класів після реалізації ДНП із застосуванням нових методів і методик, та знаходження оптимальних режимів ударно-коливального навантаження для максимального підвищення вихідної пластичності.

Дослідження проводили на зразках із листових пластичних матеріалів: алюмінієвих сплавів Д16 і 2024-T3, нержавіючої сталі 04X18H10, титанового сплаву

BT-22 товщиною 3 мм. З метою підвищення фізичної достовірності одержаних результатів в роботі використано метод АЕ-прозвучування із залученням сучасної акустико-емісійної апаратури ЕМА-3, а також спеціальний температурний режим навантаження (витримка зразків у середовищі рідкого азоту після реалізації ДНП за кімнатної температури) для оцінювання неоднорідності механічних властивостей матеріалів після утворення дисипативних структур.

Крім того, з метою локалізації дисипативної структури на робочій частині досліджуваного зразка застосовували спеціальну методику, шляхом нанесення на робочі ділянки зразків концентрованого колоїдного розчину наночастинок вольфраму із його наступним висушуванням. Після ДНП наночастинок вольфраму «зачеканувались» в поверхню зразків, оскільки новоутворені дисипативні структури мали щільність меншу за щільність основного матеріалу, і екструдували на поверхню. В наслідок цього, твердість поверхневого шару матеріалу вздовж зразка може істотно різнитися, і з'являється можливість значної локалізації дисипативної структури в попередньо заданій робочій ділянці зразка матеріалу.

Проведені дослідження виявили ряд цікавих ефектів. По-перше, встановлено що ударно-коливальне навантаження може істотно підвищувати вихідну пластичність матеріалів майже без втрати їх міцності. Так, зокрема, для алюмінієвих сплавів 2024-T3 та Д16 одержано збільшення пластичності до 50-60%.

По-друге, після реалізації ДНП в матеріалах різних класів виникають ділянки текучості, довжину яких можна регулювати початковими умовами ударно-коливального навантаження. Слід підкреслити, що у даному випадку загальна пластична деформація матеріалу може як істотно зрости, так і значно знизитись. Наприклад, для нержавіючої сталі після ДНП на початкових стадіях пластичної деформації (до 1%) матеріал практично зразу до стану текучості, із ділянкою довжиною 14-15%, проте загальна пластичність сталі при цьому помітно знизилась.

По-третє, при реалізації ДНП в титановому сплаві BT-22 на пружній ділянці діаграми деформування виявлено новий механізм утворення дисипативних структур в матеріалі, який пов'язаний з локальною фрагментацією вихідної структури. Формування дрібнодисперсної структури сплаву, після ДНП, за її значного об'ємного вмісту зумовлює зростання пластичності сплаву (в 2,75 рази) при подальшому статичному розтязі, майже без зниження міцності. Використання нових методик дозволило отримати додаткову інформацію про властивості дисипативних структур. Встановлено, що швидкість проходження пружних хвиль по поверхні зразків вздовж поздовжньої осі помітно знизилась після жується ДНП, що підтверджує раніше отримані дані про екструдування дисипативних структур на поверхню плоских зразків внаслідок їх меншої щільності порівняно з основним матеріалом.

Крім того дані експериментів проведених за спеціального температурного режиму навантаження, підтвердили суттєву неоднорідність будь-якого матеріалу після реалізації ДНП. Виявлено чергування м'яких і твердих зон та наявність прошарків між ними. Ці висновки підтверджено фрактографічними дослідженнями зламів зразків із чисельним аналізом мікромеханізмів руйнування. Новоутворена, після ДНП за кімнатної температури, гібридна структура матеріалу, помітно підвищує тріщиностійкість матеріалу. Проте, раптове охолодження зразків матеріалів після утворення дисипативних структур за кімнатної температури, зумовлює значну концентрацію дефектів на межах між дисипативними структурами і основним матеріалом. Це спричиняє окрихчення матеріалів за їх подальших випробувань при кімнатній температурі. В роботі запропоновано систематизацію та фізико-механічний опис виявлених нових закономірностей.

[1] E.E. Zasimchuk, L.I. Markashova, T.V. Turchak, N.G. Chaousov, A.P. Pylypenko, V.N. Paratsa Peculiarities of structural transformation in plastic materials under abrupt changes in loading conditions // Physical Mesomechanics. – 2009. – Vol. 12. – P. 175–179.

[2] M. Chaousov, P. Maruschak, O. Prentkovskis, A. Pylypenko, V. Berezin, K. Volyanska, Self-organisation of the heat resistant steel structure following dynamic non-equilibrium processes // Solid State Phenomena. – 2015. – Vols. 220-221. – P. 917–921.