

УДК 620.19.40

Микола Чаусов¹, д.т.н., проф.; Павло Марущак², д.т.н., проф.; Андрій Пилипенко¹, к.т.н., доц.

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**НОВІ МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ЗАХИСНОГО СПОРЯДЖЕННЯ**

Mykola Chausov, Dr., Prof., Pavlo Maruschak, Dr., Prof., Andrii Pylypenko Ph.D., Assoc. Prof.

**NEW METHODS OF IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF
TITANIUM ALLOYS OF PROTECTIVE BODY ARMOR**

На кафедрі механіки НУБіП України в останні роки отримані нові дані про особливості механічної поведінки матеріалів при імпульсному введенні енергії (так звані динамічні незрівноважені процеси (ДНП)) за рахунок ударно-коливального навантаження [1]. Аналіз отриманих результатів на матеріалах різних класів довів, що протягом перехідних режимів навантаження, за коротких імпульсів силового підвантаження, коли дисипація енергії в класичному сенсі (перетворення механічної енергії в тепло) ще не почалась, можливі процеси самоорганізації нових дисипативних структур в конструкційних матеріалах, які суттєво впливають на механічні властивості матеріалів. Фізичні механізми створення дисипативних структур для різних матеріалів значно відрізняються, проте вони мають, як правило, густину, меншу за густину основного матеріалу. Було виявлено низку особливостей деформування матеріалів під час і після ДНП, які проявляються, в першу чергу, званою пластифікацією матеріалів різних класів за наступного силового навантаження.

Грунтуючись на чисельних експериментальних дослідженнях обґрунтовано оптимальні режими ударно-коливального навантаження листових двофазних високоміцних титанових сплавів VT22, VT23 і VT23M, що забезпечують максимальне зростання їх пластичних властивостей, порівняно з вихідним станом [2]. Зокрема, одержано збільшення пластичної деформації сплаву VT22 в 2,5 рази, сплаву VT23 на 30,0...35,0 %, сплаву VT23M – до 5,0 %, а також збільшення ударної в'язкості сплаву VT23M понад 20,0 %, підвищення статичної тріщиностійкості сплавів VT23, VT23M, відповідно до 8,5 і 19,0 %.

Зовнішнім наслідком структурних перетворень матеріалів за ударно-коливального навантаження є виникнення мікроекструзій на поверхні зразків у вигляді утворення решітки «гребенів» («гір»). Це вказує на зміни структури і механічних властивостей матеріалів не лише в їх об'ємі, а насамперед в поверхневих шарах.

Отриманий ефект використано авторами для розроблення ефективного способу зміцнення та наноструктуризації поверхні матеріалів і одержання рівномірної контрольованої наноструктури поверхневого шару з підвищеною механічною міцністю.

Технологія даного способу є в наступною. Поверхні зразків матеріалів перед імпульсним підвантаженням змочували колоїдним розчином наночастинок металів, або наночастинок твердих сплавів, або наночастинок карбідів металів, або наночастинок нітридів металів, або колоїдним розчином твердих неметалічних наночастинок і осаджували наночастинок з розчину на поверхні матеріалів шляхом сушіння.

Наночастинки металу, що знаходились на поверхні досліджуваного матеріалу внаслідок попереднього змочування певним колоїдним розчином при динамічному незрівноваженому процесі за рахунок ударно-коливального навантаження «зачеканювались» у поверхню, що спричиняло суттєві структурні зміни у поверхні з утворенням контрольованого наноструктуризованого шару. Контрольовану структуру поверхні матеріалу отримано шляхом використання в колоїдному розчині наночастинок матеріалу відповідного розміру та певної концентрації.

Апробовано методики поліпшення механічних властивостей титанових сплавів за рахунок імпульсного введення енергії і нанотехнологій на титановому сплаві ВТ23. Для сплаву ВТ23 оптимальний вплив інтенсивності імпульсного введення енергії на максимальне зростання пластичної деформації виявлено при величині раптового приросту деформації $\epsilon_{\text{імп}} = 3,0 \dots 3,5 \%$, під час введення імпульсної енергії. В даному випадку одержано збільшення пластичної деформації сплаву, порівняно з вихідним станом, на 30,0 - 35,0 %. Використовуючи цей оптимальний вплив інтенсивності імпульсного введення енергії в титановий сплав ВТ23 з використанням вище описаного способу додатково зміцнено поверхневі шари сплаву ВТ23.

Випробування проводили з використанням колоїдних розчинів наночастинок вольфраму, карбїду вольфраму, спеціального полімерного матеріалу і вуглецю. Після імпульсного підвантаження зразки повністю розвантажували, протирали спиртом поверхні зразків і на твердомірі НПО-10 за методом Віккерса вимірювали твердість поверхневого шару в робочій зоні й на головках зразків при робочому навантаженні 10 кг. Аналіз отриманих даних свідчить, що при використанні колоїдного розчину W можна збільшити макротвердість поверхневого шару титанового сплаву ВТ23 на 8,5...9,0 %, колоїдного розчину W-C – на 18,5...19,0 %, колоїдного розчину спеціального полімерного матеріалу – на 8,0 – 9,0 %, колоїдного розчину вуглецю – до 8,5 %. Спеціальними фізичними дослідженнями поверхневих шарів зразків із сплаву ВТ23 методом рентгенівської фотоелектронної (РФС) спектроскопії встановлено, що зміцнення поверхневих шарів титанового сплаву ВТ23 за рахунок ударно-коливального навантаження і використання нанорозчину вуглецю пов'язане з утворенням на поверхні суміші оксиду титану і карбїду титану, або оксикарбїду титану типу $\text{TiO}_{2-x}\text{C}_x$. Ці дані є фізичним доказом ефекту зміцнення поверхневих шарів сплаву ВТ23 за рахунок використання ударно-коливального навантаження і нанотехнологій.

Отже, запропоновано прості технологічні методи модифікування механічних властивостей двофазних титанових сплавів з використанням ударно-коливального навантаження і нанотехнологій. Вони мають високу ефективність для збільшення їх вихідних пластичних властивостей і зміцнення поверхневих шарів і можуть широко застосовані для виробів захисного спорядження.

1. Чаусов М.Г. Особливості деформування і руйнування пластичних матеріалів при ударно-коливальному навантаженні / М.Г.Чаусов, П.О.Марущак, А.П.Пилипенко, В.Б. Березін. – Тернопіль: ТзОВ «Терно-граф», 2018. - 288с.
2. Чаусов М.Г. Методика поліпшення пластичних властивостей листових двофазних високоміцних титанових сплавів за рахунок ударно-коливального навантаження: науково-методичні рекомендації для підприємств України з проектування та виробництва сільськогосподарської техніки / М.Г. Чаусов, А.П. Пилипенко, П.О. Марущак. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2017. – 48с.