

669. 017  
Ф62



Г. С. ФІРСТОВ

# ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ СПЛАВИ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ім. Г.В. КУРДЮМОВА

Г. С. ФІРСТОВ

# ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ СПЛАВИ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ

---

*ПРОЕКТ  
НАУКОВА КНИГА»*

---

КИЇВ » НАУКОВА ДУМКА .2019

Монографія присвячена дослідженню фазових та структурних перетворень у складнолегованих інтерметалідних системах з високотемпературним ефектом пам'яті форми. Сформульовано принципи вибору перспективних матеріалів з ефектом пам'яті форми для високотемпературного застосування і наведено фізичні причини обмеження прояву цього ефекту та термопружності у таких матеріалах. Узагальнено закономірності зміни температур мартенситного перетворення залежно від параметрів електронної будови та співвідношення атомних розмірів.

Уперше встановлено, що навіть у разі нетермопружного характеру мартенситного перетворення за ефекту пам'яті форми та за певних режимів навантаження можливе повне відновлення форми.

Запропоновано новітні високоентропійні сплави з ефектом пам'яті форми, які виявляють високу стабільність функціональних характеристик у широкому температурно-деформаційно-силовому інтервалі, та наведено результати їх дослідження.

Для наукових та інженерно-технічних працівників у галузі фізики металів і матеріалознавства, а також викладачів, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей вишів.

#### Р е ц е н з е н т и

доктор технічних наук, професор *В. Г. Гаврилюк*,  
доктор фізико-математичних наук *Ю. М. Подрезов*

*Рекомендовано до друку вченою радою  
Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України  
(протокол № 6 від 26.06.2018 р.)*

***Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми  
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу  
НАН України»***

Науково-видавничий відділ фізико-математичної та технічної літератури

Редактор *В. В. Вероцька*

© Г. С. Фірстов, 2019

© НВП «Видавництво “Наукова думка”  
НАН України», дизайн, 2019

# ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
<b>Р о з д і л 1. Ефект пам'яті форми за підвищених температур: з чого все починалося .....</b>	<b>5</b>
1.1. Матеріали з пам'яттю форми: перспективи розвитку .....	5
1.2. ЕПФ, спричинений мартенситним перетворенням за підвищених температур у відомих та нових металічних матеріалах .....	9
1.3. Загальні проблеми матеріалів з високотемпературною пам'яттю форми .....	16
<b>Р о з д і л 2. Фазова стабільність, хімічний зв'язок та зміни у кристалічній структурі під час мартенситного перетворення на прикладі ряду сполук ZrCo-ZrNi-ZrCu .....</b>	<b>21</b>
2.1. Кристалічна структура фаз .....	21
2.2. Відносна стабільність B2, B33, B19 і Cm фаз, електронна структура та хімічний зв'язок .....	41
2.3. Структурний механізм мартенситного перетворення хімічно однорідного B2 аустеніту на суміш мартенситних фаз .....	54
<b>Р о з д і л 3. Фізичні закономірності зміни температур мартенситного перетворення у сполуках ряду ZrCo-ZrNi-ZrCu, їх фазовий склад та незворотні процеси під час мартенситного перетворення .....</b>	<b>62</b>
3.1. Вплив легування на параметри електронної та кристалічної структур .....	62
3.2. Характеристичні температури мартенситного перетворення, кристалічна структура та фазовий склад у сполуках ряду ZrCo-ZrNi-ZrCu .....	71
3.3. Незворотні процеси під час мартенситного перетворення вздовж розрізу $Zr_{50}Cu_{25}Co_{25}$ - $Zr_{50}Cu_{25}Ni_{25}$ .....	82
<b>Р о з д і л 4. Ефект пам'яті форми та супутні властивості для високотемпературних сплавів з ефектом пам'яті форми — квазібінарних інтерметалічних сполук на основі нікелю та міді .....</b>	<b>94</b>
4.1. Сполуки на основі ZrCo-ZrNi-ZrCu та TiNiZr, TiNiHf — високо-температурні сплави з ефектом пам'яті форми з недефіцитним легуванням .....	95

4.2. Процеси деформації високотемпературних сплавів з ефектом пам'яті форми, що передують відновленню форми .....	112
4.3. Високотемпературне відновлення форми .....	117
4.4. Схильність до окиснення нікеліду титану та високотемпературних сплавів з ефектом пам'яті форми .....	124
<b>Р о з д і л 5. Покращення характеристик ЕПФ за підвищених температур</b> .....	136
5.1. Отримання високотемпературних сплавів з ЕПФ через аморфний стан: приклад $Zr_{50}(CuNi)_{50}$ .....	136
5.2. Збільшення мартенситної деформації за рахунок подрібнення субструктури (низькотемпературна термообробка нікеліду титану) .....	143
5.3. Ускладнення кристалографії мартенситного перетворення (повне відновлення форми при ЕПФ в інтерметаліди $Ni_3Ta$ ) .....	159
5.4. Мінімізація співвідношення $A_{и}/T_{иш}$ (МП та ЕПФ у сполуці HfIr) .....	169
5.5. Високоентропійні сплави з пам'яттю форми як втілення напрямків з покращення ВСЕПФ .....	175
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	183