

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**

**«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»  
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XIX Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS  
of the XIX International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024  
Астана**

**УДК 001**

**ББК 72**

**G99**

**«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

**ISBN 978-601-7697-07-5**

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

**УДК 001**

**ББК 72**

**G99**

**ISBN 978-601-7697-07-5**

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия  
ұлттық университеті, 2024**

## Список использованных источников

1. Zachariasen W. H., Ziegler G. E. The crystal structure of anhydrous sodium sulfate  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  //Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials. – 1932. – Т. 81. – №. 1-6. – С. 92-101.
2. Nord A. G. Refinement of the crystal structure of thenardite,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (V) //Acta Chemica Scandinavica. – 1973. – Т. 27. – №. 3. – С. 814-822.
3. Zhuravlev Y. N., Zhuravleva L. V., Poplavnoy A. S. Electronic structure of alkali metal sulfates //Russian physics journal. – 2003. – Т. 46. – С. 75-80.

УДК 539

## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВОВ TiC–TiNi

Козин Константин Дмитриевич

[kozin-kostya@bk.ru](mailto:kozin-kostya@bk.ru)

Научный сотрудник Института теоретической математики  
и научных вычислений ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Абуова Ф.У.

В данной работе исследуются закономерности распространения волн напряжения в упругих телах. Отмечается, что скорость волнового движения постоянна для определенной среды и определяет ее упругие свойства [1]. Свойства твердых композиционных материалов с неоднородной структурой зависят от внешнего воздействия и температуры. Ультразвуковые колебания используются для исследования упругих и неупругих характеристик твердых сплавов. В работе применяется резонансный метод непрерывных колебаний для измерения скорости ультразвукового импульса, который зависит от упругих свойств и плотности твердого сплава. Схема составного вибратора приведена на рис. 1. Эксперименты проводились при комнатной температуре в диапазоне частот  $1 \div 10$  МГц.

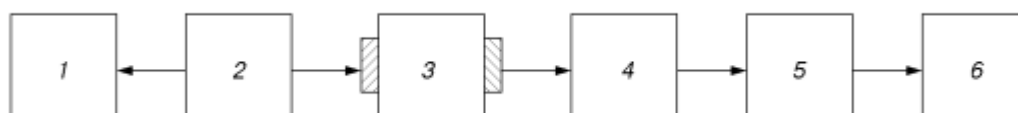


Рис. 1. Схема составного вибратора:

1 — частотомер, 2 — генератор высокой частоты, 3 — образец, 4 — широкополосный предусилитель, 5 — широкополосный усилитель, 6 — ламповый вольтметр

Объемный состав сплава	$v_l$ , м/с	$v_t$ , м/с	$P$ , %
30 % TiC — 70 % TiNi	7089,3	3619,5	2
40 % TiC — 60 % TiNi	7314,4	3849,5	3
50 % TiC — 50 % TiNi	7934,1	4686,5	1
50 % TiC — 40 % TiNi — 10 % Ti	7990,0	4645,0	1
60 % TiC — 40 % TiNi	7641,9	4358,4	8
70 % TiC — 30 % TiNi	7716,4	4258,2	10
50 % TiC — 49,5 % TiNi — 0,5 % B	7482,1	4207,8	2
50 % TiC — 49 % TiNi — 1 % B	7556,6	4221,9	2,8
50 % TiC — 48,5 % TiNi — 1,5 % B	7616,4	4306,1	2,2
50 % TiC — 48 % TiNi — 2 % B	7811,6	4511,0	1,5
50 % TiC — 49,5 % TiNi — 0,5 % Ni	7994,13	4686,52	3
60 % TiC — 39,5 % TiNi — 0,5 % Ni	7641,86	4358,41	4
50 % TiC — 10 % TiN — 40 % TiNi	7180,3	4192,7	4,5
40 % TiC — 20 % TiN — 40 % TiNi	7244,87	4034,61	5
30 % TiC — 10 % TiN — 60 % TiNi	7350,0	3830,0	7

Таблица 1

В данной работе исследуются ультразвуковые волны непрерывных колебаний в композиционных твердых сплавах. Скорости продольных и поперечных волн определяются по формулам:

$$v_l = 2l\Delta f_x \left[ 1 + \frac{\rho_d l_d}{\rho_o l_o} \right], \quad v_t = 2l\Delta f_y \left[ 1 + \frac{\rho_d l_d}{\rho_o l_o} \right]$$

где  $\rho_d$ ,  $\rho_o$  — плотности кварцевого датчика и образца;  $l_d$ ,  $l_o$  — длины кварцевого датчика и образца;  $\Delta f_x$ ,  $\Delta f_y$  — средние разности частот между соседними гармониками [2].

Модули упругости определяются по соотношениям:

$$E = 2G(1 + \mu), \quad G = \rho v_t^2, \quad K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}, \quad \mu = \frac{1 - 0.5 \left( \frac{v_l}{v_t} \right)^2}{1 - \left( \frac{v_l}{v_t} \right)^2}, \quad (1)$$

где  $E$  — модуль Юнга;  $G$  — модуль сдвига;  $K$  — коэффициент всестороннего сжатия;  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $v_t$  — продольная скорость звука.

Результаты эксперимента показывают, что с увеличением объемной доли карбидной составляющей сплава скорости продольных и поперечных волн вначале увеличиваются, а затем несколько уменьшаются. Это может быть связано с большей пористостью образцов. Из табл. 1 следует, что небольшие добавки бора (от 0,5 до 2 %) в сплав 50 % TiC — 50 % TiNi также ведут к увеличению скоростей продольных и поперечных ультразвуковых волн.

Зависимости модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента Пуассона, коэффициента всестороннего сжатия от состава образцов определялись по формулам (1) при нормальных условиях.

С увеличением объемной доли связующей фазы TiNi от 30 до 70 % значения  $E$ ,  $G$  монотонно уменьшаются, а коэффициент Пуассона почти линейно увеличивается. Значения

Е, G возрастают с увеличением объемной доли карбидной фазы и добавок бора в сплаве. Коэффициент всестороннего сжатия мало зависит от объемной доли связующей фазы.

Введение в состав сплава бора в количестве более 2 % приводит к образованию хрупкой фазы TiB<sub>2</sub>, исчезновению пластической фазы TiNi и увеличению пористости, поэтому измерение упругих характеристик таких образцов не проводилось.

На основе модулей упругости композиционного материала можно оценить пластические свойства материала. В качестве характеристики пластичности использовалось отношение модуля всестороннего сжатия к модулю сдвига  $q=K/G$ .

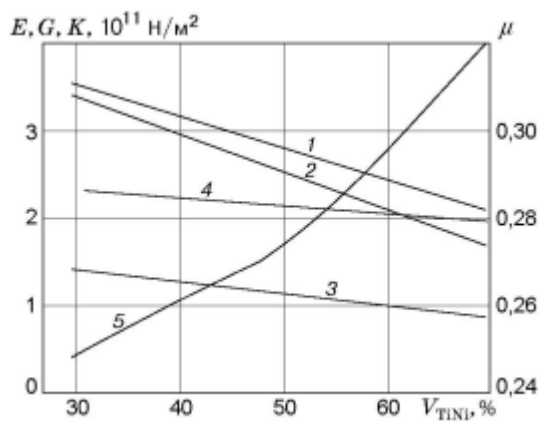


Рис.2

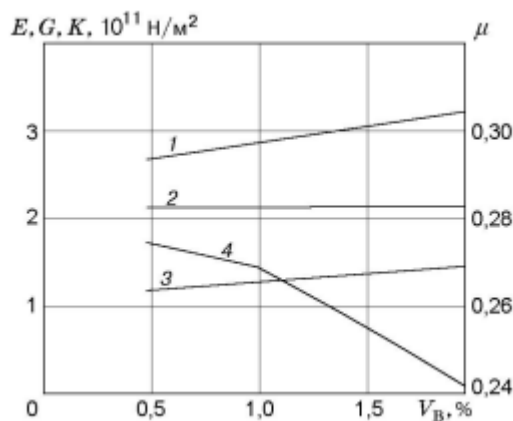


Рис. 3

Рис. 2. Зависимости модулей упругости и коэффициента Пуассона от объемной доли связки в сплаве TiC–TiNi: 1 — E (эксперимент), 2 — E (расчет), 3 — G, 4 — K, 5 —  $\mu$

Рис. 3. Зависимости модулей упругости и коэффициента Пуассона от объемной доли бора в сплаве TiC–TiNi: 1 — E, 2 — G, 3 — K, 4 —  $\mu$

Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рис. 2, 3. Видно, что с увеличением объемной доли связующей фазы в твердых сплавах от 30 до 70 % пластичность материала линейно растет. Это происходит из-за большой пластичности фазы TiNi, которая после спекания сохраняется в сплаве. Наиболее высокими прочностными и механическими характеристиками обладают твердые сплавы 50 % TiC — 50 % TiNi, 50 % TiC — 40 % TiNi — 10 % Ti, 50 % TiC — 49 % TiNi — 1 % B.

Добавки бора в сплав в небольших количествах (0,5 ÷ 1,0 %) увеличивают пластичность материала за счет очищения и раскисления поверхностей взаимодействующих компонентов, что улучшает их взаимодействие при спекании (рис. 4). Однако, при увеличении объемной доли бора в сплаве до 1 % и более образуется новая фаза — диборид титана (TiB<sub>2</sub>), которая обладает высокой хрупкостью, поэтому пластичность материала уменьшается (рис. 5).

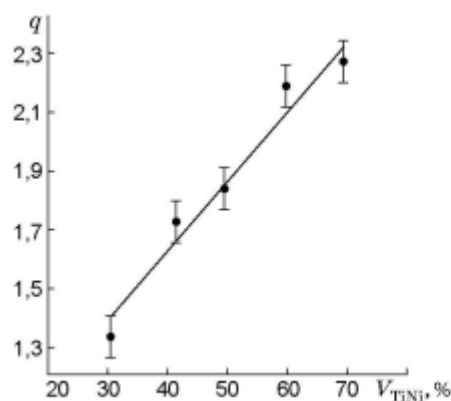


Рис.4

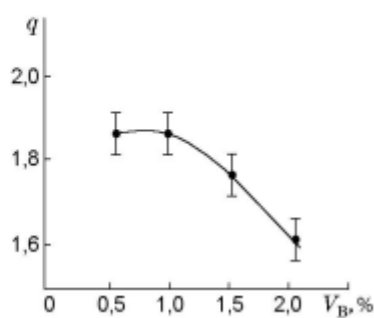


Рис. 5

Рис. 4. Зависимость пластичности твердого сплава TiC–TiNi от объемной доли связки: точки — экспериментальные данные, линия — их аппроксимация

Рис. 5. Зависимость пластичности твердого сплава 50 % TiC — (50 – x) % TiNi — x % B от объемной доли бора: точки — экспериментальные данные, линия — их аппроксимация

Результаты расчета модулей упругости и пластичности представлены в табл. 2. Введение в сплав нитрида титана (TiN) в количестве 10÷20 % немного увеличивает пластичность материала, так как нитрид титана пластичнее карбида титана. С другой стороны, малые добавки никеля в сплав уменьшают пластичность материала, потому что никель, взаимодействуя с Ti, образует при спекании хрупкие фазы TiNi<sub>3</sub> и TiNi<sub>2</sub> [3].

Введение свободного титана в сплав TiC–TiNi препятствует образованию хрупких фаз TiNi<sub>3</sub> и TiNi<sub>2</sub> и сохраняет пластичную фазу TiNi. Значение  $q$  в таком сплаве возрастает до 1,91. Таким образом, легкоплавкая вязкая составляющая никелида титана оказывает существенное влияние на упругие и пластические свойства композиционных материалов. Введение некоторых добавок в композиционный материал способствует улучшению взаимодействия фаз при спекании и улучшает физико-механические свойства материала.

Объемный состав сплава	$K, 10^{10} \text{ Н/м}^2$	$G, 10^{10} \text{ Н/м}^2$	$q$
50 % TiC — 10 % TiN — 40 % TiNi	21,51	11,61	1,72
40 % TiC — 20 % TiN — 40 % TiNi	20,41	10,80	1,89
30 % TiC — 10 % TiN — 60 % TiNi	21,31	11,61	1,84
50 % TiC — 49,5 % TiN — 0,5 % TiNi	23,99	13,60	1,76
60 % TiC — 39,5 % TiNi — 0,5 % N	24,77	15,71	1,57
50 % TiC — 40 % TiNi — 10 % Ti	24,90	13,05	1,91

Таблица 2

#### Список использованных источников

1. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. М.: Мир, 1972.
2. Баулин С. С., Нуцер М. Л., Фридман Г. Р. Неразрушающий контроль изделий из порошковых материалов с помощью ультразвуковых колебаний // Кузнеч.-штамп. пр-во. 1981. № 1. С. 157–163.
3. Иванов Н. А. Упругие теплофизические свойства карбонитридов и оксикарбидов титана, циркония, ниобия: Автореф. дис. . . . канд. техн. наук. Свердловск, 1975.