

К. т. н. **В. Г. Гилёв** (✉), к. т. н. **М. Н. Каченюк**

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет», г. Пермь, Россия

УДК 546.823:621.762.5

## ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ СИНТЕЗЕ $Ti_2AlN$ ПЛАЗМЕННО-ИСКРОВОМ СПЕКАНИЕМ В СИСТЕМЕ $Ti/AlN$

Представлены результаты исследований синтеза материала на основе  $Ti_2AlN$  методом механоактивации (МА) смеси порошков состава  $Ti-AlN$  в планетарной мельнице с последующим плазменно-искровым спеканием (SPS) в вакууме. Показано, что при МА постепенно снижается соотношение фаз  $AlN/Ti$ . Приведены данные о фазовом составе, плотности и твердости образцов после SPS. Максимальное содержание фазы  $Ti_2AlN$  90 мас. % достигается при температуре SPS 1300 °C. Минимальную пористость 1,9 % имеют образцы при температурах SPS 1200–1300 °C, при этом твердость  $HV_{0,5}$  близка к 7 ГПа.

**Ключевые слова:** МАХ-фаза,  $Ti_2AlN$ , механоактивация (МА), плазменно-искровое спекание (SPS).

### ВВЕДЕНИЕ

Соединение  $Ti_2AlN$  является МАХ-фазой и относится к классу тугоплавких материалов, обладающих слоистой структурой и в общем виде описываемых формулой  $M_{n+1}AX_n$ , где  $M$  — переходный металл,  $A$  — элемент IIIA или IVA подгруппы Периодической системы,  $X$  — углерод или азот [1]. Материалы на основе МАХ-фаз обладают свойствами, комбинирующими достоинства металлов и керамики [2], такими как малый удельный вес, высокие прочность и модуль упругости, низкий коэффициент теплового расширения, устойчивость к окислению и термическому удару [3]. Подобно  $Ti_3SiC_2$  и  $Ti_2AlC$  твердость  $Ti_2AlN$  относительно невысока (3–6 ГПа), и он легко обрабатывается [1]. Необычный набор свойств делает его перспективным для многих высокотемпературных применений [4]. Кроме того,  $Ti_2AlN$  отличается стойкостью к радиационному воздействию [5], а также перспективен как биоматериал [6] из-за его совместимости с тканями, сравнимой с титаном.

По сравнению с другими МАХ-фазами, такими как  $Ti_3SiC_2$ ,  $Ti_2AlC$  и  $Ti_3AlC_2$ ,  $Ti_2AlN$  относительно мало исследован. Трудность синтеза однофазного материала объясняется узкой областью устойчивости  $Ti_2AlN$  в тройной системе  $Al-N-Ti$  [7]. Для синтеза  $Ti_2AlN$  используют в основном исходные смеси двух типов  $Ti/AlN$  [8–12] или  $Ti/Al/TiN$  [4, 13–15]. Синтез проводят с использованием реакционного спекания [10, 11], горячего прессования [13], SPS [4, 9, 7], микроволнового спекания [14], горячего изостатического прессования [12].

### ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для синтеза  $Ti_2AlN$  использовали порошок титана ТПП-7 фракции мельче 325 мкм и порошок  $AlN$  (<58 мкм,  $d_{50} = 8$  мкм). В порошке  $AlN$  основной была гексагональная фаза  $P63mc$  (186), а также содержалось 7 мас. % примеси  $Al$ . Количество остальных примесей согласно оценке методом энергодисперсионного рентгеновского флуоресцентного анализа на приборе EDX-800HS (Shimadzu) не превышало 0,4 мас. %.

Механоактивацию (МА) шихты проводили в планетарной мельнице САНД при частоте вращения барабана мельницы 280 мин<sup>-1</sup> в вакууме ( $P < 10$  Па) в течение 40, 120 и 180 мин. Соотношение масс мелющих тел и обрабатываемого материала соответствовало 7,5 : 1. Для исключения загрязнения материала при размоле использовали оснастку, изготовленную из титана. Плазменно-искровое спекание (SPS) порошковых композиций проводили на установке Dr. Sinter SPS-1050b в графитовой пресс-форме с обечайкой из графитовой фольги. Температура варьировалась в пределах 900–1400 °C, изотермическая выдержка составляла 5 мин, среда — вакуум под давлением 10–30 МПа, средняя скорость нагрева — 80 °C/мин. Плотность образцов после спекания измеряли гидростатическим взвешиванием, пористость оценивали по поглощению воды после кипячения. Микротвердость  $HV_{0,5}$  определяли при нагрузке 500 г на приборе 402MVD фирмы Wolpert Wilson Instruments. Исследование структуры и фазового состава частиц после МА и спеченных образцов проводили на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 (Shimadzu) при  $Cu K\alpha$ -излучении. Структурные параметры частиц и материалов оценивали с помощью полнопрофильного анализа дифрактограмм по методу Ритвельда.



В. Г. Гилёв  
E-mail: Xray@pm.pstu.ac.ru

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлен одинаковый характер уменьшения размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) в Ti и AlN. По мере увеличения продолжительности МА  $\tau_{MA}$  наиболее интенсивное измельчение  $D$  в Ti наблюдается до  $\tau_{MA} = 40$  мин, далее размер ОКР остается практически неизменным. При этом величина микроискажений  $\Delta a/a$  также значительно увеличивается при  $\tau_{MA} = 40$  мин, а далее остается практически постоянной (табл. 1, рис. 1). В AlN уменьшение  $D$  и увеличение микронапряжений продолжается до 120 мин.

При анализе фазового состава смесей необходимо учитывать глубину анализа. При использовании Cu  $K_\alpha$ -излучения с длиной волны 0,154 нм и с энергией 8051 эВ глубина анализа составляет единицы микрометров для Ti и десятки микрометров для AlN, что влияет на вид дифрактограмм после различных режимов МА. Сравнение дифрактограмм смесей показывает, что при увеличении  $\tau_{MA}$  от 40 до 180 мин растет интенсивность линий Ti и уменьшается интенсивность линий AlN (рис. 2). Особенно это заметно, если сравнивать интенсивность линии Ti при  $2\theta = 35,1$  град и линию AlN при  $2\theta = 36,2$  град. Линия Al при  $2\theta = 44,8$  град, видимая после 40 мин МА, после 180 мин почти полностью исчезает. В исходном расчетном составе соотношение AlN/Ti равно 30/70, т. е. меньше единицы. После помола в те-

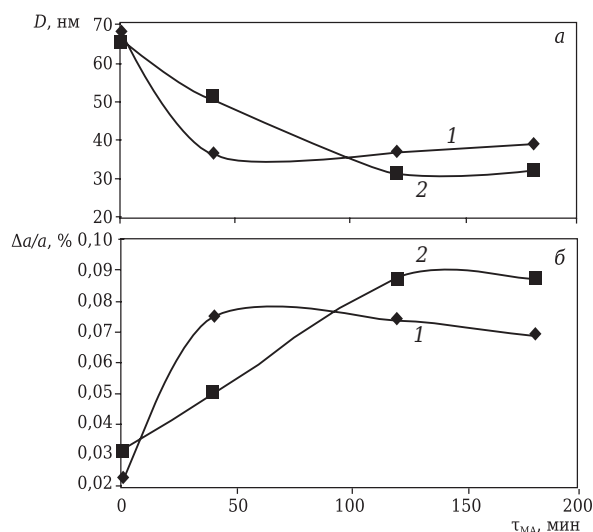


Рис. 1. Зависимости размера ОКР (а) и  $\Delta a/a$  (б) в Ti (1) и AlN (2) от  $\tau_{MA}$

Таблица 1. Размеры ОКР и величина микронапряжений в смеси Ti–AlN после различных режимов МА

$\tau_{MA}$ , мин	AlN		Ti	
	$D$ , нм	$\Delta a/a$ , %	$D$ , нм	$\Delta a/a$ , %
0	66	0,0313	68	0,0223
40	51	0,0500	37	0,0750
120	32	0,0880	37	0,0740
180	32	0,0880	39	0,0690

чение 40 мин это отношение значительно больше единицы, а при увеличении  $\tau_{MA}$  уменьшается до 0,56, постепенно приближаясь к величине 0,428, рассчитанной для исходного состава смеси (табл. 2, рис. 3). Аналогичные результаты получены при МА смесей Ti/SiC [16].

Наблюдаемое изменение результатов рентгенофазового анализа в ходе МА можно объяснить следующим образом: на ранних стадиях МА смеси частицы Ti, представляющие собой фрагменты титановой губки, обладают высокой пористостью, кроме того они покрываются слоем частиц AlN, поэтому в поверхностном слое объекта исследования преобладает AlN [16]. В результате более длительного помола частицы Ti уплотняются, и часть частиц AlN фиксируется внутри агломератов из Ti, в результате чего в поверхностном слое соотношение AlN/Ti приближается к среднему составу (см. рис. 3). По-видимому, происходит образование композиционных частиц [16, 17]. Полученную зависимость соотношения AlN/Ti от  $\tau_{MA}$  можно объяснить исходя из глубины проникновения ха-

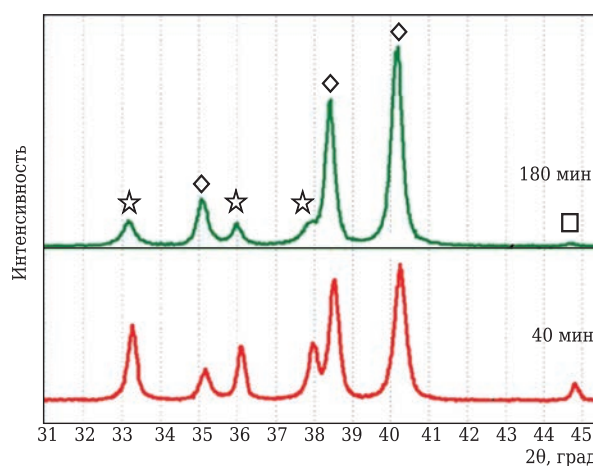


Рис. 2. Дифрактограммы смесей Ti/AlN после различной  $\tau_{MA}$  (указана на кривых):  $\diamond$  — Ti;  $\star$  — AlN,  $\square$  — Al

Таблица 2. Результаты определения содержания фаз, мас. %, и соотношения AlN/Ti методом полнопрофильного анализа дифрактограмм в смесях после МА

$\tau_{MA}$ , ч	AlN	Ti	AlN/Ti
0,667	64,4	35,6	1,780
2,0	47,9	52,1	0,770
3,0	36,7	65,3	0,560
Расчет по составу	30,0	70,0	0,428

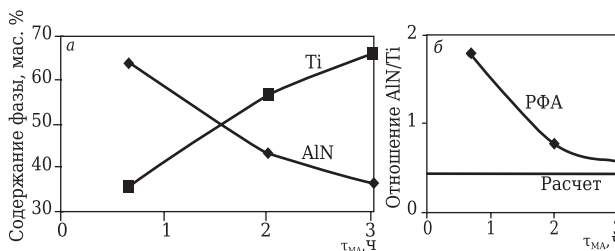


Рис. 3. Изменение количества фаз AlN и Ti в смесях (а) и соотношения AlN/Ti (б) в ходе МА от  $\tau_{MA}$

рактеристического излучения меди в Ti и AlN. Глубина проникновения в Ti примерно в 7–8 раз меньше, чем в AlN, при углах падения от 30 до 70 град и составляет для Ti от 5,4 мкм (при 30 град) до 10 мкм (при 70 град), а для AlN от 37 мкм (при 30 град) до 80 мкм (при 70 град) [18, 19].

Если представить модельный образец толщиной более глубины проникновения рентгеновского излучения при прочих равных условиях, то сигналы от участков Ti и AlN с равными толщинами и площадями будут создавать объемы AlN, превышающие в 10 раз объемы Ti.

По мере увеличения  $t_{MA}$  происходит образование композитных частиц с равномерным распределением фаз по объему, приводящее к снижению соотношения AlN/Ti, определяемому рентгенографически, что может являться оценкой качества (степени) МА, так же как и для системы Ti – SiC [16].

На рис. 4 показаны изменения температуры, усадки вдоль оси приложения давления, давления в камере (вакуума) и скорости усадки при SPS с выдержкой при 1300 °C. Усадка начинается вблизи температуры плавления алюминия, достигает максимальной скорости около 800 °C и остается высокой до ~1050 °C, после чего резко падает. Максимальное повышение давления вакуума (до 30 МПа) в этом режиме наблюдается при 1050–1100 °C.

Последующее падение скорости усадки и давления можно объяснить снижением пористости (табл. 3). После SPS с изотермической выдержкой при 1100 °C достигается почти беспористое состояние (пористость не превышает 3 %), однако для более полного протекания реакций синтеза  $Ti_2AlN$  необходимы более высокие температуры.

Результаты рентгеновского дифракционного фазового анализа после различных режимов SPS показаны на рис. 5, 6. По мере повышения температуры спекания увеличивается доля  $Ti_2AlN$  и достигает максимума ~ 90 мас. % при 1200–1300 °C (см. табл. 3). Доля Ti и AlN падает до нуля при 1200 °C, фазы TiN и  $Ti_3Al$  появляются уже при

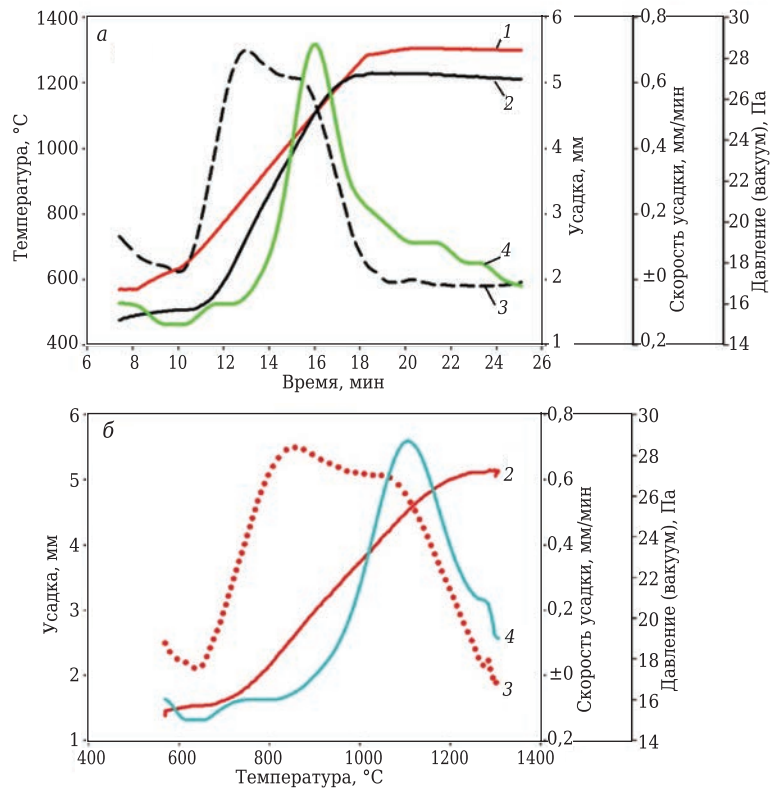


Рис. 4. Изменения температуры (1), усадки по высоте (2), скорости усадки (3) и давления (вакуума) (4) от времени (а) и от температуры (б) при SPS

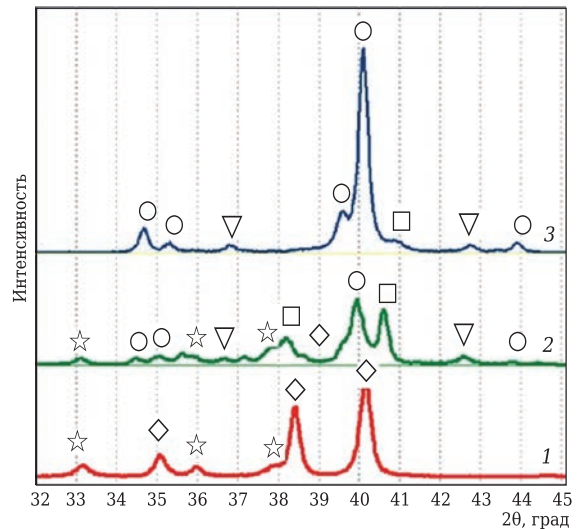
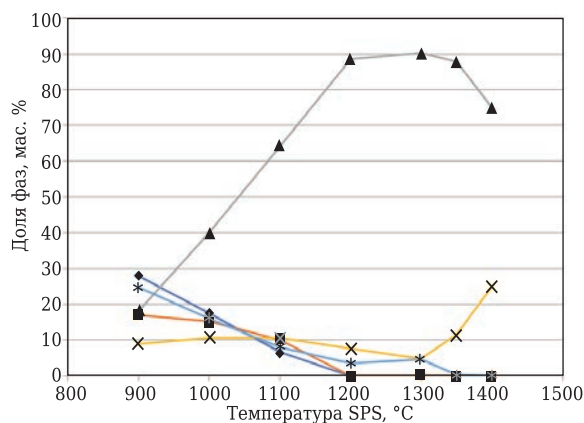


Рис. 5. Дифрактограммы смеси после МА в течение 3 ч (1) и образцов  $Ti_2AlN$ , синтезированных методом SPS при изотермической выдержке при 900 (2) и 1300 °C (3): ◇ — Ti; ☆ — AlN; ▽ — TiN; □ —  $Ti_3Al$ ; ○ —  $Ti_2AlN$

Таблица 3. Характеристика образцов  $Ti_2AlN$  после SPS при разных температурах

Температура, °C	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	HV <sub>0,5</sub> , ГПа	Содержание фаз, мас. %				
				Ti	AlN	$Ti_2AlN$	TiN	$Ti_3Al$
900	3,29	16,2	—	28,0	17,0	18,0	9,0	25,0
1000	3,69	10,7	—	17,7	15,4	40,0	10,8	16,2
1100	4,10	2,4	—	6,9	10,1	64,1	10,8	8,1
1200	4,24	1,9	6,8±1,1	0	0	88,6	7,7	3,7
1300	4,26	1,9	6,7±0,65	0	0	90,2	5,0	4,7
1350	4,30	2,5	—	0	0	87,8	11,7	0,5
1400	4,36	2,8	—	0	0	74,9	25,1	0





**Рис. 6.** Зависимости фазового состава от температуры SPS по результатам рентгеновского дифракционного анализа: ◆ — Ti; ■ — AlN; ▲ — Ti<sub>2</sub>AlN; x — TiN; \* — Ti<sub>3</sub>Al

900 °C, их количество минимально при 1300 °C. При дальнейшем повышении температуры изотермической выдержки при SPS фаза Ti<sub>3</sub>Al исчезает, а количество примеси TiN возрастает.

#### Библиографический список

1. **Ковалев Д. Ю.** Реакционный синтез МАХ-фазы Ti<sub>2</sub>AlN / Д. Ю. Ковалев, М. А. Лугинина, А. Е. Сычев // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. — 2016. — № 2. — С. 41–46.
2. **Radovic, M.** MAX phases: bridging the gap between metals and ceramics / M. Radovic, M. W. Barsoum // Am. Ceram. Soc. Bull. — 2013. — Vol. 92, № 3. — P. 20–27.
3. **Barsoum, M. W.** Elastic and mechanical properties of the MAX phases / M. W. Barsoum, M. Radovic // Annual Review of Materials Research. — 2011. — Vol. 41. — P. 195–227.
4. **Yan, M.** Synthesis of high-purity bulk Ti<sub>2</sub>AlN by spark plasma sintering (SPS) / M. Yan, B. Mei, J. Zhu, C. Tian, P. Wang // Ceram. Int. — 2008. — Vol. 34, № 6. — P. 1439–1442.
5. **Xiao, J.** Investigations on radiation tolerance of M<sub>n+1</sub>AX<sub>n</sub> phases: study of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>AlC, Cr<sub>2</sub>GeC, Ti<sub>2</sub>AlC and Ti<sub>2</sub>AlN / J. Xiao, T. Yang, C. Wang, J. Xue, Y. Wang // J. Am. Ceram. Soc. — 2015. — Vol. 98, № 4. — P. 1323–1331.
6. **Chen, K.** Cytocompatibility of Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>, and Ti<sub>2</sub>AlN: In Vitro Tests and First-Principles Calculations / K. Chen, N. Qiu, Q. Deng [et al.] // ACS Biomaterials Science and Engineering. — 2017. — Vol. 3, № 10. — P. 2293–2301. DOI: 10.1021/acsbomaterials.7b00432.
7. **Cui, B.** Microstructural evolution during high-temperature oxidation of spark plasma sintered Ti<sub>2</sub>AlN ceramics / B. Cui, R. Sa, D. D. Jayaseelan [et al.] // Acta Materialia. — 2012. — Vol. 60, № 3. — P. 1079–1092.
8. **Barsoum, M. W.** Layered machinable ceramics for high temperature applications / M. W. Barsoum, D. Brodtkin, T. El-Raghy // Scripta Mater. — 1997. — Vol. 36, № 5. — P. 535–541.
9. **Liu, Y.** Reactive consolidation of layered-ternary Ti<sub>2</sub>AlN ceramics by spark plasma sintering of a Ti/AlN powder mixture / Y. Liu, Z. Shi, J. Wang [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. — 2011. — Vol. 31, № 5. — P. 863–868.
10. **Kovalev, D. Y.** Reaction Synthesis of the Ti<sub>2</sub>AlN MAX-Phase / D. Y. Kovalev, M. A. Luginina, A. E. Sytshev // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. — 2017. — Vol. 58, № 3. — P. 303–307.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен синтез материала на основе МАХ-фазы Ti<sub>2</sub>AlN из смеси порошков Ti и AlN с примесью 7 мас. % Al плазменно-искровым спеканием (SPS) в вакууме с предварительной механоактивацией смеси в планетарной мельнице. Максимальное содержание фазы Ti<sub>2</sub>AlN (90 мас. %) и минимальную пористость (1,9 %) имеют образцы при температурах SPS 1200–1300 °C, при этом твердость HV<sub>0,5</sub> близка к 7 ГПа. В ходе МА наблюдается постепенное снижение соотношения количеств фаз AlN/Ti, измеряемых полнопрофильным анализом рентгеновских дифрактограмм, с постепенным приближением к рассчитанному из исходного состава смеси, что может служить оценкой качества МА.

\*\*\*

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках реализации базовой части государственного задания № 11.8353.2017.8.9.

11. **Luginina, M. A.** Preparation of Ti<sub>2</sub>AlN by reactive sintering / M. A. Luginina, D. Y. Kovalev, A. E. Sytshev // Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth. — 2016. — Vol. 25, № 1. — P. 35–38.
12. **Guillon, A.** Dislocation analysis of Ti<sub>2</sub>AlN deformed at room temperature under confining pressure / A. Guillon, A. Joulain, L. Thilly, C. Tromas // Philosophical Magazine. — 2012. — Vol. 92, № 36. — P. 4536–4546.
13. **Lin, Z. J.** Synthesis and microstructure of layered-ternary Ti<sub>2</sub>AlN ceramic / Z. J. Lin, M. J. Zhuo, M. S. Li [et al.] // Scripta Mater. — 2007. — Vol. 56, № 12. — P. 1115–1118.
14. **Liu, W.** Fabrication of Ti<sub>2</sub>AlN ceramics with orientation growth behavior by the microwave sintering method / W. Liu, C. Qiu, J. Zhou [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. — 2015. — Vol. 35, № 5. — P. 1385–1391.
15. **Liu, Y.** Highly textured Ti<sub>2</sub>AlN ceramic prepared via thermal explosion followed by edge-free spark plasma sintering / Y. Liu, Y. Li, F. Li [et al.] // Scripta Mater. — 2017. — Vol. 136. — P. 55–58.
16. **Каченюк, М. Н.** Влияние механоактивации на смеси для синтеза карбосилицида титана / М. Н. Каченюк, В. Г. Гилёв, А. А. Сметкин // Новые огнеупоры. — 2018. — № 5. — С. 34–38.
17. **Kachenyuk M. N.** Effect of mechanical activation on a mixture for synthesizing titanium silicon carbide / M. N. Kachenyuk, V. G. Gilev, A. A. Smetkin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2018. — Vol. 59, № 3. — P. 257–261.
18. **Shkodich, N. F.** Effect of mechanical activation on ignition and combustion of Ti–BN and Ti–SiC–C blends / N. F. Shkodich, A. S. Rogachev, S. G. Vadchenko [et al.] // Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth. — 2011. — Vol. 20, № 3. — P. 191–199.
19. **Henke, B. L.** X-ray interactions: photoabsorption, scattering, transmission, and reflection at E = 50–30000 eV, Z = 1–92 / B. L. Henke, E. M. Gullikson, J. C. Davis // At. Data Nucl. Data Tables. — 1993. — Vol. 54, № 2. — P. 181–342.
19. [http://henke.lbl.gov/optical\\_constants/atten2.html](http://henke.lbl.gov/optical_constants/atten2.html). ■

Получено 13.06.18

© В. Г. Гилёв, М. Н. Каченюк, 2018 г.

# ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

- В статье следует сообщить цель проведения работы, привести фактические данные, их анализ и дать заключение (выводы). Текст статьи должен быть дополнен кратким рефератом и ключевыми словами. Для оформления рукописи используйте 12-й размер шрифта через 1,5 интервала. Рекомендованное максимальное число страниц рукописи (A4) — 15. Формулы, оформляемые отдельной строкой, должны набираться с использованием редактора формул (Equation). Библиографический список следует оформлять в соответствии с ГОСТ 7.1–2003. Использование в библиографическом списке DOI обязательно. Рисунки должны быть четкими, упрощенными и не загроможденными надписями. На графики желательно не наносить масштабную сетку (за исключением номограмм).
- В статье должны быть указаны ученая степень, адрес и телефон каждого автора. Также следует указать контактное лицо, чей E-mail будет указан при публикации. Все материалы редакция просит предоставлять в электронном виде.
- Если статья отправлена по E-mail, допускается оформление изображений в виде отдельных файлов формата TIF (цветные и тоновые — 300 dpi, штриховые — 600 dpi), JPEG, EPS. Изображения (за исключением диаграмм Excel), внедренные в файлы формата DOC, в качестве оригиналов не принимаются, как не обеспечивающие стандартного качества полиграфического исполнения.
- Представляя рукопись в редакцию, авторы передают издателю авторское право на публикацию ее в журнале. В качестве гонорара авторы могут получить отклик своей статьи в формате PDF, который высылается первому автору или любому другому (по указанию авторов). Направление в редакцию работ, опубликованных или посланных для напечатания в редакции других журналов, не допускается.
- Статья, пришедшая в редакцию от зарубежных авторов, вначале отдается на рецензирование, редактируется, переводится на русский язык и публикуется в журнале «Новые огнеупоры». Затем статья отправляется на публикацию в журнал «Refractories and Industrial Ceramics» вместе с английской версией, присланной автором. Таким образом, конечный вариант статьи, опубликованной в журнале «Refractories and Industrial Ceramics», может немного отличаться от первоначального, присланного авторами.

## RULES OF DRAWING UP OF ARTICLES

- It is necessary to state in the article the aim of the research work, to cite factual data, to give their analysis and conclusions. The text of the article should be supplemented with a short abstract and key words. To make out the manuscript, use the 12th font size in 1.5 intervals. The recommended maximum number of pages of the manuscript (A4) is 15. Formulas formed by an individual line should be typed using the Equation Editor. Please use the DOI number in the bibliographic list. Don't make references to sources which are difficult of access. Figures should be distinct, simplified and not overloaded with inscriptions. It is desirable not to scribe a graticule on the diagrams (with the exceptions of nomograms).
- Scientific degree, address and telephone of every author should be given in the article. All the materials of the articles are required to be present to the editorial board in electronic form.
- If the article is sent by e-mail it is required to draw up the images only in the form of separate files in format TIF (tone images — 300 dpi, stroke images — 600 dpi), JPEG, EPS. Images (with the exception of Excel diagrams), introduced into files of format DOC are not accepted as originals because they don't ensure the required standard polygraphic quality.
- Providing the article to Editorial office the authors thereby convey the copyright of publication to the publisher. The authors get either one copy of the article in format PDF. It is not allowed offering the Editorial office an article which has been published by other journals or was sent to other publishing houses.
- The article sent to the Editorial office by foreign author is refereed firstly by an independent reviewer. Then it is edited and red-penciled, then it is translated into Russian and published in the journal «Novye Ogneupory». Further both the article and the original author's article are sent off to be published in the journal «Refractories and Industrial Ceramics». Thus the final article published in the journal «Refractories and Industrial Ceramics» can vary slightly from the original variant sent by the author.

- Журнал приветствует, если авторы, в тех случаях, когда это возможно и применимо, помещают данные, подтверждающие результаты их исследований, на общедоступных ресурсах (репозиториях). Авторам и редакторам, которые не располагают предпочитаемыми репозиториями, рекомендуется ознакомиться со списком таких ресурсов, представленным издательством «Springer Nature», а также с политикой издательства в отношении исследовательских данных.

### - Список ресурсов

<http://www.springernature.com/gp/group/data-policy/repositories>

### - Политика в отношении исследовательских данных

<http://www.springernature.com/gp/group/data-policy/faq>

Общие репозитории, такие как figshare и Dryad, также могут быть использованы. Массивы данных, которым репозитории присваивают DOI (идентификаторы цифровых объектов), могут приводиться в списках цитируемых источников. Ссылки на данные должны включать минимум информации, рекомендованной DataCite: авторы, название, издатель (название репозитория), идентификатор.

- DataCite <https://www.datacite.org/>

«Springer Nature» предоставляет службу поддержки в отношении исследовательских данных для редакторов и авторов, с которой можно связаться по адресу [researchdata@springernature.com](mailto:researchdata@springernature.com). Эта служба дает рекомендации по соответствию политике в области исследовательских данных и поиску ресурсов для их размещения. Она независима от редакций журналов, книг и конференций и не дает советов по рукописям.

- The journal encourages authors, where possible and applicable, to deposit data that support the findings of their research in a public repository. Authors and editors who do not have a preferred repository should consult «Springer Nature's» list of repositories and research data policy.

### • List of Repositories

<http://www.springernature.com/gp/group/data-policy/repositories>

### • Research Data Policy

<http://www.springernature.com/gp/group/data-policy/faq>

General repositories — for all types of research data — such as figshare and Dryad may also be used.

Datasets that are assigned digital object identifiers (DOIs) by a data repository may be cited in the reference list. Data citations should include the minimum information recommended by DataCite: authors, title, publisher (repository name), identifier.

• DataCite <https://www.datacite.org/>

«Springer Nature» provides a research data policy support service for authors and editors, which can be contacted at [researchdata@springernature.com](mailto:researchdata@springernature.com). This service provides advice on research data policy compliance and on finding research data repositories. It is independent of journal, book and conference proceedings editorial offices and does not advise on specific manuscripts.

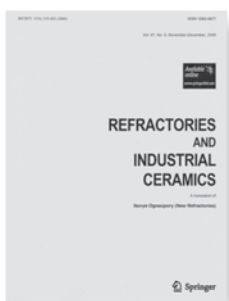
## ВНИМАНИЕ!



Просим в библиографическом списке статей, опубликованных в журнале «Новые огнеупоры», после русской версии дополнительно приводить библиографическое описание статьи в английской версии из журнала «Refractories and Industrial Ceramics» (информационно-издательский консорциум «Springer»), если она была в нем опубликована.

Содержание журнала «Refractories and Industrial Ceramics» с указанием авторов, названия статьи, года издания, номера выпуска, страниц, номера журнала публикуется в Интернете:

<http://link.springer.com/journal/11148>



Редакция