

Д. т. н. **В. В. Кузин** (✉), д. т. н. **С. Н. Григорьев**, **М. Р. Портной**
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический
университет «Станкин», Москва, Россия

УДК 621.778.1.073:666.3:669.018.25

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ С РАЗВИТЫМ РЕЛЬЕФОМ

Изучено влияние теплового потока на неоднородность напряжений в поверхностном слое оксидной керамики с развитым рельефом. Выявлена взаимосвязь симметричного теплового потока с характеристиками неоднородности напряжений в поверхности элементов структуры оксидной керамики для случая открытой заделки сферического зерна.

Ключевые слова: керамика, элемент структуры, тепловой поток, температура, неоднородность напряжений.

ВВЕДЕНИЕ

Рельеф поверхности керамики оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние ее поверхностного слоя под действием внешних нагрузок [1, 2]. Влияние теплового потока на неоднородность напряжений в поверхностном слое оксидной керамики, имеющей сглаженный рельеф, выявлено в работе [3]. Цель настоящей работы — исследовать влияние симметричного теплового потока на неоднородность напряжений в поверхности оксидной керамики, имеющей развитый рельеф.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении численных экспериментов использовали методику, подробно описанную в работе [3], и расчетную схему, показанную на рис. 1. Численные эксперименты выполняли в автоматизированной системе термпрочностных расчетов RKS-ST v.1.0 [4]. К поверхности керамики системы Al_2O_3 - MgO - Al_2O_3 прикладывали тепловые потоки Q , равные $(1, 2, 1, 5 \text{ и } 1, 6) \cdot 10^9$ Вт/м². Отвод тепла с поверхности осуществляли во внутренние объемы керамики; конвективный отвод тепла не использовали. Для анализа результатов численных экспериментов использовали метод контрольных точек (КТ) [5]. Выбранные КТ расположены в поверхностях зерна (КТ1–КТ12), межзеренной фазы (КТ13–КТ24), примыкающей к зерну (рис. 1, а), межзеренной фазы (КТ25–КТ36), примыкающей к матрице, и матрицы (КТ37–КТ48), примыкающей к межзеренной фазе (рис. 1, б). Неоднородность напря-

жений в поверхности структурных элементов керамики оценивали по максимальным, минимальным и средним значениям напряжений σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и интенсивности напряжений σ_i , а также диапазону их изменения.

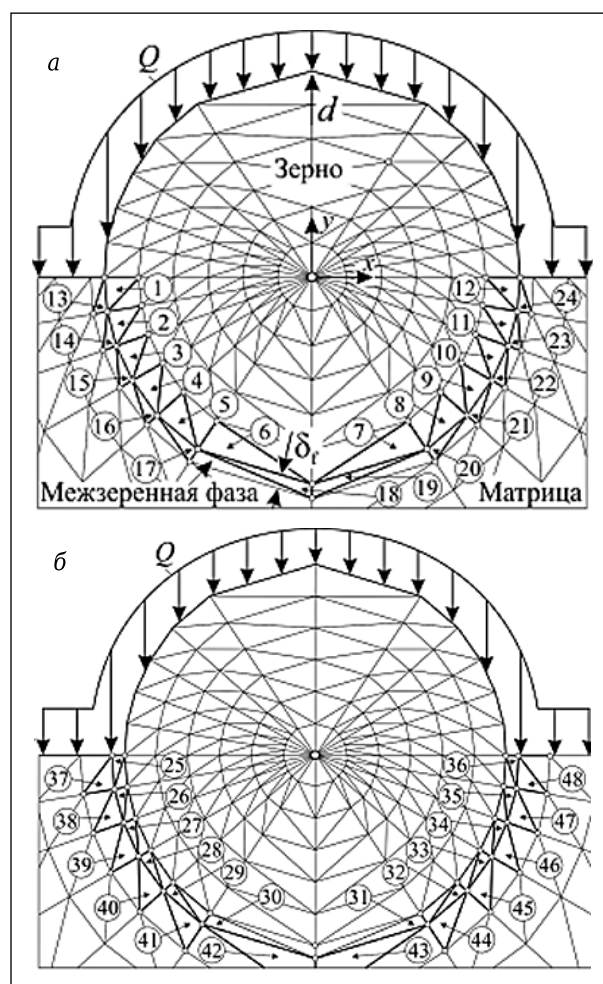


Рис. 1. Расчетная схема

✉
В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Под действием теплового потока поверхностный слой керамики нагревается и в нем формируется температурное поле. Наибольшие температуры формируются в поверхности зерна, а в поверхности других структурных элементов керамики температура уменьшается по мере увеличения расстояния от поверхности, к которой приложен тепловой поток. Наибольшие температуры T , равные 857, 1252 и 1405 °С, формируются в КТ12 поверхности зерна, а наименьшие T , равные 481, 671 и 741 °С, — в КТ42 поверхности матрицы под действием тепловых потоков $(1,2, 1,5 \text{ и } 1,6) \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$ соответственно. Под влиянием сформировавшегося температурного поля поверхностный слой керамики деформируется по схеме выдавливания зерна из каркаса.

Характер изменения напряжений σ_{11} , σ_{12} и σ_{22} в КТ поверхности элементов структуры керамики системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3$ под действием симметричного теплового потока $Q = 1,5 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$ показан на рис. 2.

Установлено, что в поверхности зерна (см. рис. 2, а) формируются напряжения σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} , которые изменяются в диапазонах 671,2 МПа — от -1017 до -345,8 МПа при их среднем значении $\sigma_{\text{ср}} = -753 \text{ МПа}$, 213,2 МПа — от -107,5 до 105,7 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 39,5 \text{ МПа}$ и 386,8 МПа — от -193,4 до 193,4 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 0 \text{ МПа}$ соответственно. В поверхности межзеренной фазы, примыкающей к зерну (см. рис. 2, б), формируются напряжения σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} , которые изменяются в диапазонах 881,7 МПа — от -1413 до -531,3 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = -1074,5 \text{ МПа}$, 148,6 МПа — от -326,5 до -177,9 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = -272 \text{ МПа}$ и 601,8 МПа — от -300,9 до 300,9 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 0$

МПа соответственно. В поверхности межзеренной фазы, примыкающей к матрице (см. рис. 2, в), формируются напряжения σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} , которые изменяются в диапазонах 958,4 МПа — от -1328 до -369,6 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = -919,8 \text{ МПа}$, 181,6 МПа — от -311,4 до -129,8 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = -212 \text{ МПа}$ и 706,8 МПа — от -353,4 до 353,4 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 0 \text{ МПа}$ соответственно. В поверхности матрицы, примыкающей к межзеренной фазе (см. рис. 2, г), формируются напряжения σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} , которые изменяются в диапазонах 501,3 МПа — от -1076 до -574,7 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = -908 \text{ МПа}$, 443,4 МПа — от -313,7 до 129,7 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 2,38 \text{ МПа}$ и 236 МПа — от -118 до 118 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 0 \text{ МПа}$ соответственно.

Характер изменения интенсивности напряжений σ_i в КТ поверхностей структурных элементов керамики системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3$ под действием разных тепловых потоков представлен на рис. 3. Увеличение теплового потока приводит к повышению σ_i в КТ поверхностей всех структурных элементов керамики.

В поверхности зерна (рис. 3, а) интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазонах 192,6 МПа — от 706,4 до 899 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 853 \text{ МПа}$, 667,3 МПа — от 386,7 до 1054 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 803,3 \text{ МПа}$ и 364 МПа — от 961 до 1325 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 1165,6 \text{ МПа}$ под действием тепловых потоков $(1,2, 1,5 \text{ и } 1,6) \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$ соответственно. В поверхности межзеренной фазы, примыкающей к зерну (рис. 3, б), σ_i изменяется в диапазонах 314,3 МПа — от 841,7 до 1156 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 981,6 \text{ МПа}$, 819,5 МПа — от 507,5 до 1327 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 1039,6 \text{ МПа}$ и 2358 МПа — от 1203 до 3561 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 1742,6 \text{ МПа}$ под действием тепловых потоков $(1,2, 1,5 \text{ и } 1,6) \times 10^9 \text{ Вт/м}^2$ соответственно. В поверхности межзе-

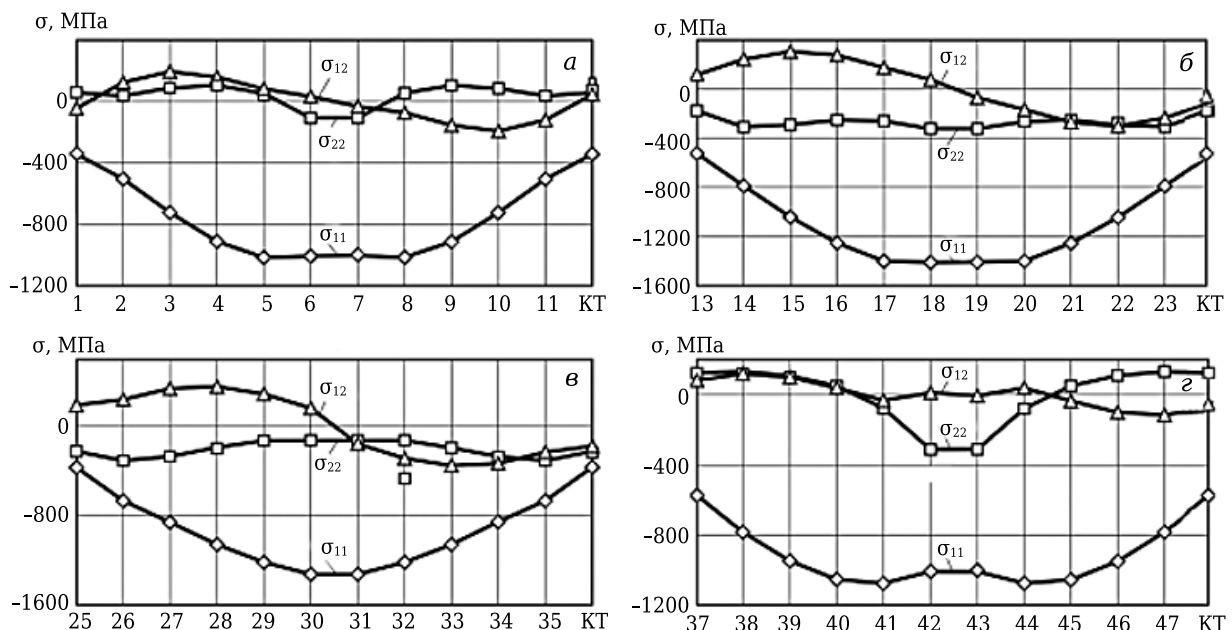


Рис. 2. Напряжения в КТ поверхностях зерна (а), межзеренной фазы, примыкающей к зерну (б), к матрице (в), и матрицы (г) керамики системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3$ под действием теплового потока $Q = 1,5 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$

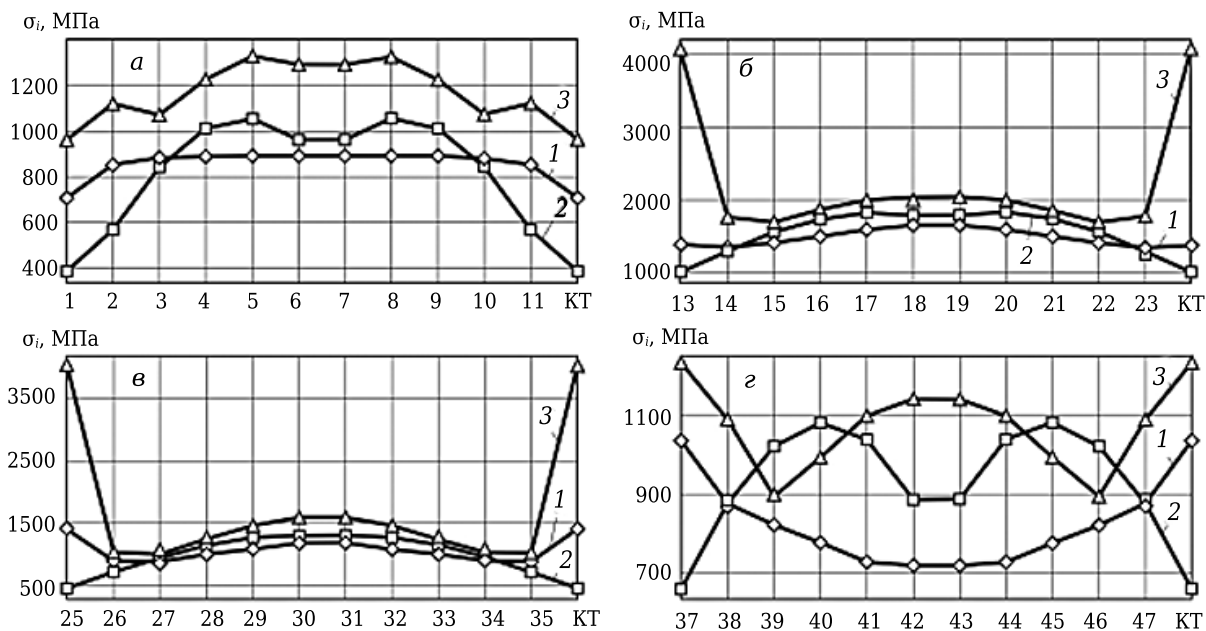


Рис. 3. Интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностей зерна (а), межзеренной фазы, примыкающей к зерну (б), к матрице (в), и матрицы (г) керамики системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3$ под действием теплового потока Q , 10^9 Вт/м^2 : 1 — 1,2; 2 — 1,5; 3 — 1,6

ренной фазы, примыкающей к матрице (рис. 3, в), σ_i изменяется в диапазонах 521,6 МПа — от 878,4 до 1400 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 1072,4$ МПа, 846,1 МПа — от 450,9 до 1297 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 973,2$ МПа и 3022 МПа — от 1006 до 4028 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 1719,8$ МПа под действием тепловых потоков (1,2, 1,5 и 1,6) $\times 10^9 \text{ Вт/м}^2$ соответственно. В КТ поверхности матрицы, примыкающей к межзеренной фазе (рис. 3, г), σ_i изменяется под действием тепловых потоков в диапазонах 317,5 МПа — от 719,5 до 1037 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 827,7$ МПа, 423 МПа — от 659 до 1082 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 930$ МПа и 341 МПа — от 894 до 1235 МПа при $\sigma_{\text{ср}} = 1075,6$ МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты численных экспериментов, можно отметить, что напряженно-деформированное состояние поверхностей

структурных элементов оксидной керамики при открытой заделке сферического зерна под влиянием симметричного теплового потока характеризуется высокой неоднородностью. Наибольшая интенсивность напряжений σ_i зафиксирована в поверхности межзеренной фазы, примыкающей к зерну, наименьшая — в поверхности зерна. Наибольший диапазон изменения σ_i зафиксирован в поверхности межзеренной фазы, примыкающей к матрице, наименьший — в поверхности межзеренной фазы, примыкающей к матрице.

Данные прикладные научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Уникальный идентификатор проекта — RFMEFI57414X0003).

Библиографический список

1. **Grigor'ev, S. N.** Influence of thermal loads on the stress-strain state of aluminum-oxide ceramic cutting plates / S. N. Grigor'ev, V. V. Kuzin, M. N. Morgan [et al.] // Russian Engineering Research. — 2012. — Vol. 32, № 5. — P. 473–477.
2. **Kuzin, V. V.** Role of the thermal factor in the wear mechanism of ceramic tools. Part 2: Microlevel / V. V. Kuzin, S. N. Grigor'ev, M. Yu. Fedorov // Journal of Friction and Wear. — 2015. — Vol. 36, № 1. — P. 40–44.
3. **Кузин, В. В.** Неоднородность напряжений в поверхности элементов структуры оксидной керамики под действием симметричного теплового потока при глухой заделке сферического зерна / В. В. Кузин, М. Р. Портной, М. Ю. Федоров // Вестник МГТУ «Станкин». — 2015. — Т. 32, № 1. — С. 27–33.

4. **Grigor'ev, S. N.** Automated thermal-strength calculations of ceramic cutting plates / S. N. Grigor'ev, V. I. Myachenkov, V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2011. — Vol. 31, № 11. — P. 1060–1066.
5. **Kuzin, V.** Method of investigation of the stress-strain state of surface layer of machine elements from a sintered nonuniform material / V. Kuzin, S. Grigor'ev // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 486. — P. 32–35. ■

Получено 20.04.15
© В. В. Кузин, С. Н. Григорьев,
М. Р. Портной, 2015 г.