

В.І. Бурлаков, Маріуполь, Україна

ЗМІНА НАПРУЖЕНЬ В НАДТВЕРДІЙ КЕРАМІЦІ ПРИ ВІБРО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

Анотація. У статті розглянутий вплив віброабразивної обробки на зміну залишкових напружень в надтвердій кераміці. Приведені і оцінені дифрактограми поверхонь під різними кутами відображення до і після вібро-абразивної обробки. Приведена і оцінена залежність величини залишкових напружень від часу обробки, розрахунок величин залишкових напружень до і після вібро-абразивної обробки. Експериментально показано зниження залишкових напружень в надтвердій кераміці залежно від часу обробки. Надані результати стійкісних випробувань інструменту і показана можливість підвищення стійкості за рахунок управління залишковими напруженнями в інструментальному композиті.

Ключові слова: дифрактограма; залишкові напруження; міцність конструкцій; бреггівські кути; вібраційна обробка.

Вступ

Процес керування внутрішніми напруженнями був і зараз є актуальною науково-технічною задачею, тим більше, внутрішніх напружень в різальному інструменті з надтвердої кераміки. Рішення даної проблеми сприяє підвищенню продуктивності, якості обробки, стійкості різального інструменту. Одне тільки підвищення стійкості інструменту дозволяє економити ресурсну базу і підвищувати конкурентоздатність продукції.

Проблему керування напруженим станом вирішували багато вчених. Прикладом можуть служити роботи Бакунова В.С. [1], який дав оцінку структурній неоднорідності керамічних матеріалів, вироблених в різних країнах, в різний час. В його роботі був визначений розмір і форма пір, що забезпечують найбільші міцнісні характеристики кераміки, Кузін В.В. [2], праця якого присвячена встановленню основних закономірностей напруженого стану між шарами на кераміці під дією зосередженої і розподіленої сили. Ним був визначений вплив різних структурних складових кераміки на дію силових навантажень. Григор'єв С.Н. [3] навів результати комплексного вивчення неоднорідності напружень в поверхневому шарі кераміки. Був досліджений напружено-деформований стан поверхневого шару кераміки під дією розподіленого силового навантаження. Виявлена висока неоднорідність напружень в структурних елементах кераміки. Відмічена необхідність обліку неоднорідності напружень при описі механізму зношування і руйнування, а також при проектуванні виробів з цієї кераміки для заданих умов експлуатації.

Питання зміни залишкових напружень у надтвердій кераміці вчені намагалися вирішити різними шляхами, наприклад, їх ультразвуковою стабілізацією [1], але такий спосіб виявився не дуже якісним внаслідок того, що ультразвук, перш за все, негативно впливає на людину.

Ще одним шляхом вирішення поставленої проблеми є термоциклічна обробка матеріалів, але змінні режими нагріву й охолодження деталей негативно впливають на стан поверхневого шару виробів з кераміки, і вони потребують подальшої обробки. Необхідно визначити, що проблема керування напруженнями в керамічних виробках відрізняється від напружень у сталях та чавунах. Таку проблему потрібно виділяти як особливу. При виходах з ладу різальних інструментів виникає ситуація, при якій виявляються винними залишкові напруження, і вони мають досить значну величину. Технологічні умови виготовлення деталей створили в них значні попередні напруження, які зазвичай не вряховуються [2].

Віброобробка теж є засобом керування напруженнями. Сутність способу віброобробки полягає у тому, що в деталях створюють змінні напруження 10–50 Н/мм² за допомогою механічних вібраторів. При наданні до керамічного зразка напружень, що перебільшують межу пружності, кераміка пластично деформується. Зі збільшенням ступеня пластичної деформації підвищується внутрішня енергія в складових кераміки, спотворюється її кристалічна структура, змінюються фізико-механічні властивості: кераміка зміцнюється, знижується опір до розтріскування, збільшується швидкість дифузії і фазових перетворень, знижується щільність, з'являється анізотропія властивостей, що пов'язана з кращою орієнтацією кристалітів (текстурою), але все це потребує додаткових досліджень [3].

Для того, щоб вивчити вплив вібрації, а також поєднати процес зміни залишкових напружень та процес обробки зразків, і була зроблена спроба обробити надтверду кераміку за допомогою вібро-абразивного способу.

Метою даного дослідження є вивчення можливості керування залишковими напруженнями в пластинах з надтвердої кераміки за допомогою вібро-абразивної обробки. Це дуже важливо у світі того, що надтверді матеріали стають все більш важливою складовою інструментального виробництва, і зменшення залишкових напружень зможе підвищити стійкість різального інструменту.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Під час експерименту оброблялися зразки циліндричної форми з полікристалічного надтвердого матеріалу (ПНТМ) на основі кубічного

нітриду бору (КНБ) «композит 05 IT», (НК18–20 ГПа) з розмірами: Ø 7,0 мм, висота 3,2 мм.

В якості робочого середовища використовувалася суспензія на основі порошку монокорунду зернистістю по ФЕПА F100 (по ДСТУ 12 зерно – 150–125 мкм) в кількості 90% від загального обсягу, допирована порошком ультрадисперсного алмазу (УДА) в концентрації 10% від загального обсягу абразиву.

Схема лабораторної установки представлена на рис. 1. Установка зібрана на круглому каркасі на п'яти пружинних опорах (2). На опорах встановлена робоча камера (1), під центральною частиною якої розташований дисбалансний мотор-вібратор (3).

Дослідження проводилися при 10, 20 і 40 хвилинах обробки. Амплітуда вібрації – 5 мм, частота вібрації – 25-30 Гц. За еталонний зразок була прийнята керамічна пластина у вхідному стані.

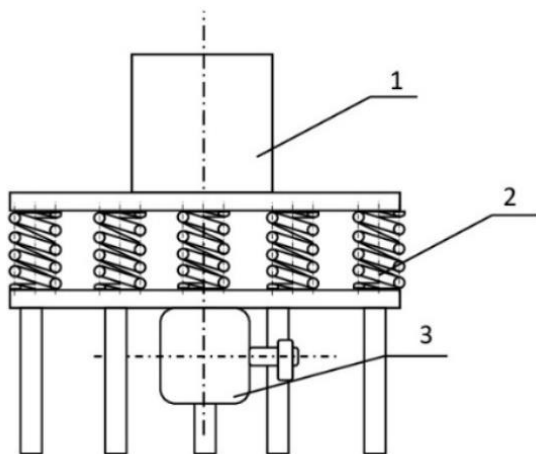


Рисунок 1 – Схема лабораторної вібро-абразивної установки

Для визначення зміни величини внутрішніх напружень, пов'язаних із силовим та тепловим впливами, були досліджені керамічні зразки без обробки та після обробки з різними часовими межами (після 10, 20, і 40 хвилин), виконувався рентгеноструктурний аналіз із використанням дифрактометра ДРОН-4-3.

Результати рентгеноструктурного аналізу оброблялися за допомогою програми Mathcad, розраховані параметри представлені в таблиці 1.

Розмір блоків визначається за формулою (1):

$$D_{HKL} = 0,94 \cdot \lambda / m_1 \cdot \cos(\theta(110)\alpha), \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання $\lambda = (2 \cdot \lambda_{\alpha 1} + \lambda_{\alpha 2})/3$; θ – кут розсіювання.

Величина мікродеформації розраховувалася за формулою:

$$\frac{\Delta a}{a} = n_2/4 \cdot \operatorname{tg}\theta(220), \quad (2)$$

де n – коефіцієнт, що залежить від форми частинки і близький до 1.

Величина мікронапруг визначалася за формулою:

$$\sigma_{II} = \frac{\Delta a}{a} \cdot E, \quad (3)$$

де $E = 700\text{--}800$ КПа – модуль пружності досліджуваного матеріалу.

Як видно, величина залишкових напружень другого роду в зразках зменшується від 697 МПа при необробленому стані до 409 МПа при сорокахвилинній обробці. Величина блоків мозаїки відповідно зростає від 0,065 до 0,7069 мкм. Розрахунок проводився для ліній (110) α і (220) α , для кутів θ , відповідно $\theta_{\alpha 1} = 97^\circ$; $\theta_{\alpha 2} = 53^\circ$; $\theta_{\alpha 3} = 63^\circ$ $\theta_{\alpha 4} = 123^\circ$.

Розраховані дані наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати рентгеноструктурного аналізу для визначення розміру блоків і напружень другого роду

Час обробки τ , хв.	Мікродеформація, $(\Delta a/a) \cdot 10^4$	Напруження σ_{II} , МПа	Величина блоків мозаїки D , мкм
0	1,20	697	0,439
20	1,11	615	0,459
30	1,01	520	0,589
40	9,09	409	0,849

Для визначення впливу віброобробки на стійкість інструменту використані різці, оснащені різальними пластинами у вхідному стані та пластинами після обробки протягом різного часу. Проводилось точіння заготовки зі сталі 45 (45–50 HRC).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати експериментів графічно відображено на дифрактограмах, на яких у вигляді чітких екстремумів показані піки, що обумовлюються

спотворенням кристалічної решітки за рахунок залишкових напружень. Дифрактограми, які зроблені під різними подвійними кутами віддзеркалення для тих самих зразків з надтвердої кераміки, представлені на рис. 2.

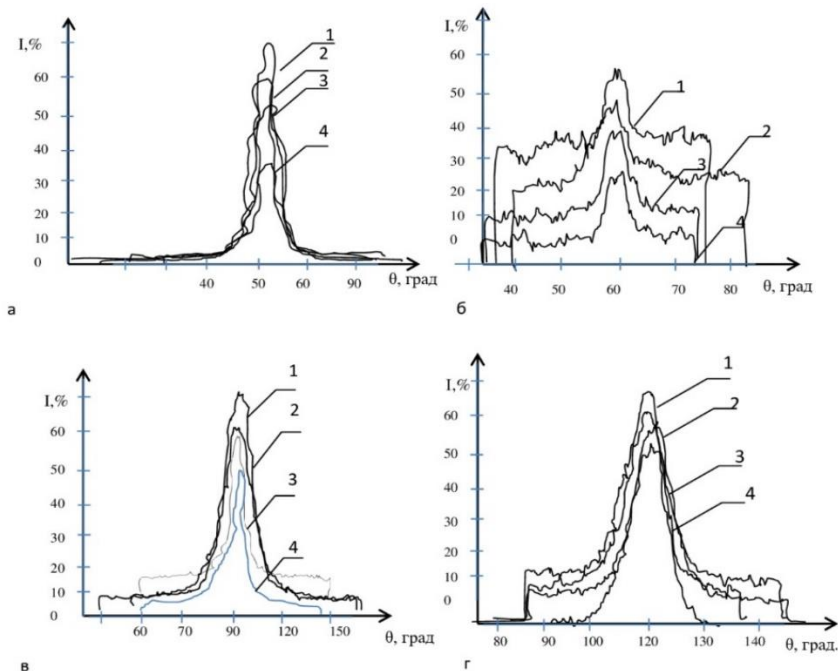


Рисунок 2 – Дифрактограми зразків з кераміки «композит 05IT» (1 – без обробки; 2 – обробкою 20 хв.; 3 – обробкою 30 хв.; 4 – обробкою 40 хв.): при куті віддзеркалення $a - 53^{\circ}$; $б - 63^{\circ}$; $в - 97^{\circ}$; $г - 124^{\circ}$

Аналізуючи дифрактограми поверхні різальних пластин з надтвердої кераміки, можна зробити висновок про те, що максимальний показник, який характеризує величину залишкових напружень, що спостерігаються на необробленій пластині, у міру збільшення часу вібраційної обробки значно зменшується. Ідентична картина спостерігається при аналізі дифрактограм, виконаних під різними подвійними кутами віддзеркалення. На підставі отриманих результатів можна побудувати графік залежності величини залишкових напружень від часу обробки.

Характер дифрактограм свідчить, що, використовуючи віброабразивну обробку, можна суттєво зменшити внутрішні напруження в матеріалі.

На рис. 3 показані залежності величини залишкових напружень від часу обробки. Графіки будувалися з використанням даних вимірювань, проведених при різних подвійних кутах віддзеркалення. Час обробки і початкове значення величини напружень були однаковими.

Виниклі в матеріалі залишкові напруження суттєво змінюються протягом часу обробки – величина залишкових напружень істотно змінюється протягом сорока хвилин обробки.

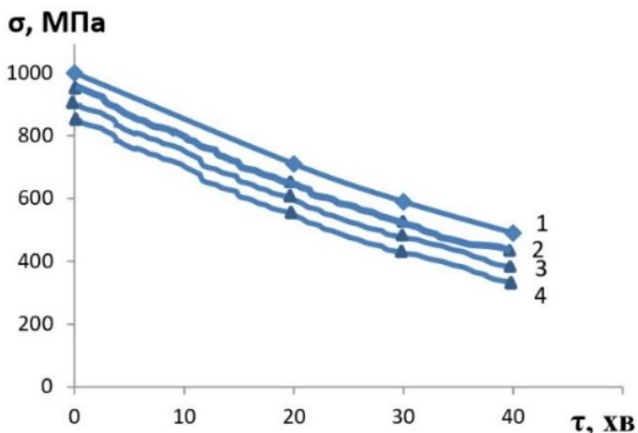


Рисунок 3 – Залежність величини залишкових напружень в зразках кераміки «композит 05ІТ» від часу обробки при подвійному куті віддзеркалення: 1 – 97°; 2 – 53°; 3 – 123°; 4 – 63°

Незалежно від значення подвійного кута віддзеркалення графіки виявились ідентичними, що говорить про те, що зниження величини внутрішніх напружень має ідентичний характер. Подальша обробка керамічних зразків має вплив тільки на кількість видаленого матеріалу. Що стосується залишкових навантажень, то їх величина майже не зміниться, тому подальша їх обробка може використовуватися лише для зміну розміру зразків, а не як засіб релаксації напружень.

Зниження рівня залишкових напружень в робочих елементах різальних інструментів сприяє підвищенню їх стійкості.

З рисунку видно, що збільшення терміну служби інструмента майже удвічі обумовлюється зниженням залишкових напружень приблизно на 200 МПа.

Отримані результати підтверджують наведену вище гіпотезу про те, що вібраційна обробка може служити не тільки як метод обробки надтвердої кераміки, але і як засіб зменшення в ній залишкових навантажень.

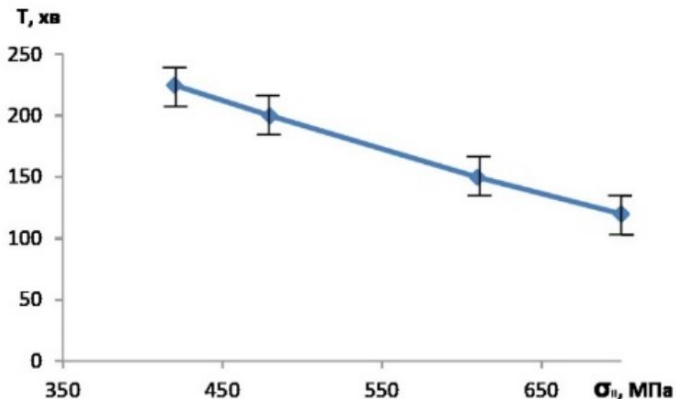


Рисунок 4 – Залежність стійкості різального інструмента від величини залишкових напружень в різальних пластинах з кераміки «композит 051Т»

Висновки

Вібро-абразивна обробка протягом 40 хв. знижує величину внутрішніх навантажень в зразках з кераміки «композит 051Т» з 697 МПа до 409 МПа. Характер зниження залишкових навантажень однаковий при розгляданні дифрактограм під різними подвійними кутами віддзеркалення, що свідчить про стабільність процесу. Подальша обробка керамічних зразків не призводить до значного суттєвого зниження залишкових навантажень – обробка проводиться лише для необхідного видалення матеріалу.

Таким чином, вібро-абразивна обробка є перспективним засобом щодо керування залишковими навантаженнями у надтвердій кераміці.

Перелік використаних джерел: 1. Бакунов, В.С. Прочность и структура керамики / В.С. Бакунов, А.В. Беляков // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – № 3. – С. 11–15.
2. Кузин, В.В. Эффективное применение высокоплотной керамики для изготовления режущих

и деформирующих инструментов / В.В. Кузин // Новые огнеупоры. – 2010. – № 12. – С. 13–19. 3. Григорьев, С.Н. Влияние силовых нагрузок на напряженно-деформированное состояние режущих пластин из оксидной керамики / С.Н. Григорьев, В.В. Кузин, Д. Бертон [и др.] // Вестник машиностроения. – 2012. – № 1. – С. 67–71.

V. Burlakov, Mariupol, Ukraine

CHANGE OF STRESS IN SUPER-SOLID CERAMIC AT VIBRO-ABRASIVE PROCESSING

Annotation. *Residual stress arises in a material during its heat treatment, transition from a liquid to a solid state, during mechanical processing, welding, etc. Residual stresses are always present in plastic, metal, and glass. The cause of the residual stresses is the heterogeneity of the deformed state of the solid due to various changes in different places of its length or volume. In some cases, it becomes necessary to reduce or completely relieve residual stresses in the product. For this, various methods can be used with respect to the part having residual stresses. Scientists tried to solve the question of changing the residual stresses in superhard ceramics in different ways. To determine the change in the magnitude of the internal stresses associated with power and thermal effects, ceramic samples were examined without treatment and after processing with different time limits, an X-ray diffraction analysis was performed using a diffractometer DRON-4-3. Due to the fact that the known methods for removing residual stresses are not effective enough for parts made of superhard ceramics, it is necessary to propose some new method of dealing with these phenomena. One of the methods for relieving internal stresses of superhard ceramics is vibration processing. There are various methods of vibration processing. For each specific case, you can choose a certain type of processing, which will provide the necessary reduction of residual stresses and deformations. The article considers the influence of vibration-abrasive processing on the change in residual stresses in superhard ceramics. The diffractograms of surfaces at various angles of reflection are presented and analyzed before and after vibro-abrasive treatment. The dependence of the value of the residual stresses on the processing time, the calculation of the values of the residual stresses before and after vibration processing are given and evaluated. Experimentally shown is a decrease in residual stresses in superhard ceramics depending on the processing time. The results of resistance tests of the tool are presented and the possibility of increasing resistance by controlling residual stresses in the tool composite is shown.*

Keywords: *diffractogram; remaining tensions; durability of constructions; bragg angles; oscillation treatment.*