

УДК 621.9

О. Б. Згалат-Лозинський, Л. В. Соляник, А. В. Рагуля

НАНОКЕРАМІКА НА ОСНОВІ НІТРИДУ КРЕМНІЮ: РОЗРОБКА НОВОГО ПОКОЛІННЯ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

На прикладі наноматеріалів на основі нітридів кремнію та титану досліджено процес отримання нанокомпозитів в формі ріжучих пластин в малих партіях використовуючи традиційне напівпромислове обладнання. Тестуванням в процесі обробки різанням різних матеріалів для визначення області використання нанокомпозитів визначено, що найбільшу стійкість у випробовуваннях по різанню латуні та сталей виявили зразки нанокераміки складу 60% (мас.) TiN–40% (мас.) Si₃N₄, 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ та 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ (Y₂O₃, Al₂O₃). Для даних матеріалів досягнуто глибини різання до 1 мм при швидкості подачі 0,32 мм/об.

Ключові слова: наноматеріали на основі нітридів кремнію і титану, ріжучі пластини.

В світі постійно зростає кількість досліджень по отриманню і застосуванню наноматеріалів в різних галузях науки і техніки [1, 2]. За останні десятиліття виготовлення нанопорошків різних матеріалів вийшло на промисловий рівень та досягло декількох тон на рік. Також були розроблені технології, що дозволяють консолідувати нанопорошки та отримувати нанокомпозиційні матеріали різного призначення. Проте широке промислове використання таких матеріалів спостерігається лише в електронній, хімічній і фармакологічній промисловості, в інших галузях, таких як обробна промисловість та машинобудування очікуваного широкого впровадження наноматеріалів не досягнуто [2]. Основними проблемами в даному випадку є вартість нанопорошків та складність роботи з ними, а також слабкий взаємозв'язок в ланцюжку виробник нанопорошків — виробник наноматеріалів — кінцевий споживач.

В нашому дослідженні на прикладі наноматеріалів на основі нітридів кремнію та титану досліджено процес отримання нанокомпозиту в формі ріжучих пластин в малих партіях. Використовували традиційне напівпромислове обладнання з тестуванням в процесі обробки різанням різних матеріалів для визначення області його використання.

Об'єктами дослідження були нанопорошки нітриду титану та нітриду кремнію, а також суміші нанопорошків 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ та 50% (мас.) TiN–40% (мас.) Si₃N₄ отримані одночасним синтезом в плазмі (виробник PCT LTD, Латвія). Характеристика первинних порошків наведена в табл. 1.

Суміші нанопорошків в системі TiN–Si₃N₄ були приготовлені механічним змішуванням в планетарному млині Pulverizette 6 (Fritsch GmbH, Німеччина) при 600 об./хв. Барабан для змішування та кулі були виготовлені з нітриду кремнію.

Під час змішування в суміш було додано оксиди ітрію та алюмінію (4% (мас.) Al₂O₃–6% (мас.) Y₂O₃) для формування рідкої фази під час спікання. Характеристика композитів, що досліджувались до та після термообробки, представлені в табл. 1.

© Остап Броніславович Згалат-Лозинський, Леонід Васильович Соляник, наукові співробітники Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Андрій Володимирович Рагуля, заступник директора цього ж інституту, член-кореспондент НАН України.

Таблиця 1

Нанопорошки та суміші нанопорошків

Нанопорошок, % (мас.)	Питома поверхня, г/см ³	Размір частинок, нм	[O], ваг.%
TiN	25,7	~70	1,81
80 TiN–20 Si ₃ N ₄	107 ± 10	50–70	3,2
60 TiN–40 Si ₃ N ₄	122 ± 10	50–70	2,8
Si ₃ N ₄	70	30–50	2,1

Сушіння готової суміші нанопорошків було проведено на ротаційному вакуумному випаровувачі. Суміші нанопорошків було сформовано в пресовки — пластини 15 × 15 × 7 мм. Активіацію поверхні та видалення небажаних домішок проводили в трубчастій печі в потоці водню при температурах до 500–600 °С зі швидкістю 150–200 °С/год та витримкою до 4 г.

Після термообробки пресовки евакуювали в герметичний рукавичний бокс заповнений азотом для захисту їх від окислення впродовж періоду зберігання до консолідації. Зміна пористості після операцій термообробки та консолідації представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики композитів на основі нітридів кремнію та титану

Склад композиту, % (мас.)	Поруватість пресовки до термообробки, %	Поруватість пресовки після термообробки, %	Поруватість спеченого зразка, %
80 TiN–20 Si ₃ N ₄	51	52	09
60 TiN–40 Si ₃ N ₄	54	55	1,6
20 TiN–80 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	52	57	0,5
40 TiN–60 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	56	57	0,7
60 TiN–40 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	51	56	0,7
80 TiN–20 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	51	56	0,9

Спикання нанокомпозитів було проведено в напівпромисловій вакуумно-газовій високотемпературній печі ВНВЕ-1.3.1 (рис. 1). Метою даної операції було визначення можливостей трансферу лабораторних технологій в промислових масштабах та визначення гомогенності спечених зразків в формі ріжучих пластин.

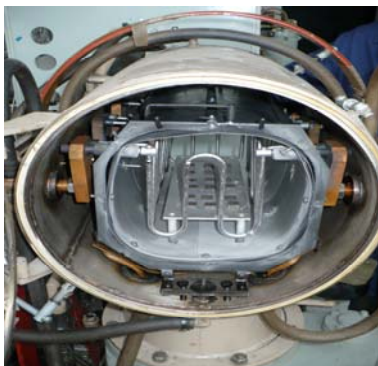


Рис. 1. Напівпромислова вакуумно-газова високотемпературна піч ВНВЕ-1.3.1 зі спеченими зразками

Після спікання партію зразків поділили на дві частини. Перша частина зразків наноккомпозитів TiN–Si₃N₄, консолідованих в напівпромисловій вакуумно-газовій високотемпературній печі була поріzana впоперек та відполірована. Після шліфування проводили тести на мікро- та нанотвердість, тріщиностійкість на мікротвердомірах ПМТ-3 та Мікромет 2103 при навантаженні 50 гр. та 2 кг, а також виконано дослідження їх структури. Типові структури досліджуваних наноккомпозитів представлені на рис. 2.

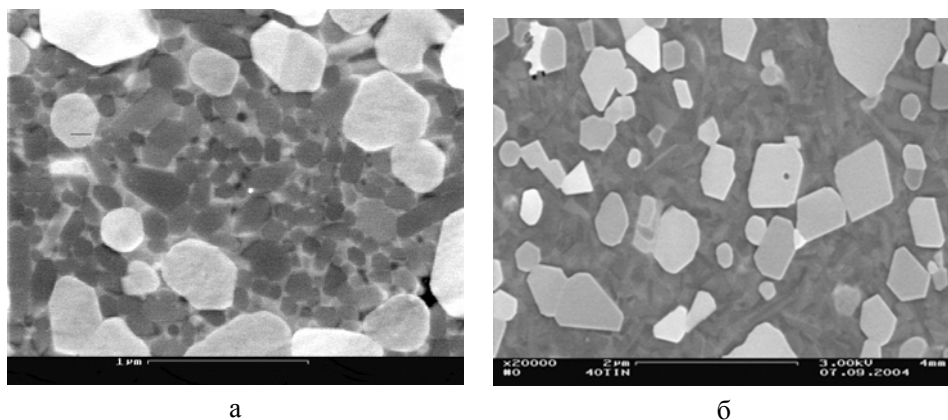


Рис. 2. Спечені наноккомпозиційні порошки: *a* — 40% (мас.) TiN–60% (мас.) Si₃N₄ (Y₂O₃, Al₂O₃), *б* — наноккомпозиційна суміш 60% (мас.) TiN–40% (мас.) Si₃N₄

Другу частину зразків підготували для проведення серії випробовувань стійкості наноккомпозиційних матеріалів в системі “нітрид титану — нітрид кремнію”, шляхом токарної обробки конструкційних вуглецевих легованих сталей марок 30, 45 та 65Г і латуні марки Л62. Після підготовки (поліровка та заточка) досліджувані зразки мали форму пластин розміром 10 × 10 × 6 мм. Дослідження проведено в системі класифікації, що є прийнятою в машинобудуванні. Такі випробування носять назву вибіркового, їх метою є знаходження для інструменту з дослідного матеріалу раціональних областей застосування.

Процес різання проводився на швидкості ~70 м/хв. при глибині різання 0,5–0,8 мм і подачі інструменту 0,125 м/хв. Випробування проводилися до повної відмови ріжучого інструменту.

Механічні властивості наноккомпозитів представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Наноккомпозити в системі нітрид титану — нітрид кремнію

№ зразка	Склад наноккомпозиту, % (мас.)	Твердість, ГПа	Тріщиностійкість, МПа · м ^{1/2}
1	60 TiN–40 Si ₃ N ₄	21 ± 1,3	5,7
2	80 TiN–20 Si ₃ N ₄	23 ± 1,1	5,4
3	20 TiN–80 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	19,8 ± 0,8	4,1
4	40 TiN–60 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	19 ± 0,8	4
5	60 TiN–40 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	18,9 ± 1,3	5
6	80 TiN–20 Si ₃ N ₄ (Y ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃)	18,3 ± 1,5	4,7

Робота складалась з декількох етапів. На першому етапі було проведено налагоджування токарного верстату марки 16УО4П та виготовлення відповідної оправки для закріплення випробуваного зразка (рис. 3).



Рис. 3. Загальний вигляд різця з нанокерамічною вставкою

На другому етапі були проведені дослідження обробки різанням сталей різних марок, використовуючи нанокерамічні різці. На цьому етапі було визначено такі параметри, як швидкість різання, глибина різання, швидкість подачі різця. Характеристики матеріалів (сталі), що були оброблені в експерименті, представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Сталеві матеріали, що були оброблені в експерименті

Марка сталі	Параметри обробки			
	Швидкість різання, м/хв	Глибина різання, мм	Швидкість подачі, мм/об.	Охолодження
Сталь 30	70	0,5; 1,0	0,16; 0,32	Відсутнє
Сталь 45	20; 70; 140	0,5; 1,0	0,16; 0,32	“ “
Сталь 65Г	20	0,5	0,16	“ “

Було проведено попередню чорнову обробку заготовок зі сталі марки 45 (конструкційна вуглецева) і марки 65Г (легована марганцовиста) до діаметру заготовок в 30 мм. Випробування стійкості ріжучих нанокерамічних пластин проводили до моменту повної відмови зразка, якою вважали стирання ріжучої кромки різця до стану, який виключав можливість повторного загострення, або до повного руйнування зразка через розколювання (табл. 5).

Оскільки випробування зразків проводились до повної їх відмови, то стійкість зразка визначалась як сумарний час роботи окремих інтервалів між переточуванням робочої кромки зразка. Кількість можливих переточувань зразків при обробці сталей обмежувалась кінцевим зменшенням габаритів зразка до таких меж, що унеможливило закріплення ріжучого інструменту в різцетримачі.

При обробці латуні Л62 затуплення і вщерблення робочої кромки ріжучої пластини не спостерігалось (рис. 3). Відмова в цьому випадку відбулася

внаслідок налипання на ріжучій кромці матеріалу, що обробляється, з наступним відколюванням частини зразка.

Таблиця 5

Результати випробувань нанокерамічних ріжучих пластин

Зразок	Марка матеріалу, що обробляли	Швидкість різання, м/хв	Глибина різання, мм	Швидкість подачі, мм/об.	Час роботи зразка, хв. та кількість проходів, пр.	Причина відмови
1	Латунь Л62	70	1,0	0,32	6, (3)	Розколювання
	Сталь5	70	0,75	0,16	7,5, (5)	“ “
	Сталь 65Г	70	0,5	0,16	6, (3)	“ “
2	Сталь45	70	0,5	0,16	6, (3)	Затуплення
	Сталь 45	70	0,5	0,32	4, (2)	Розколювання
	Сталь 65Г	70	0,5	0,16	3, (2)	Затуплення
3	Сталь30	70	1,0	0,16	2, (2)	Затуплення
	Сталь 45	70	0,8	0,16	2, (2)	“ “
	Сталь 65Г	70	0,5	0,16	1, (1)	Вищерблення
4	Сталь 45	70	0,5	0,16	1, (1)	Вищерблення
	Сталь 65Г	70	0,5	0,16	2, (2)	“ “
5	Сталь 45	70	0,5	0,16	2, (2)	Затуплення
	Сталь 65Г	70	0,5	0,16	2, (2)	Руйнування
6	Сталь30	70	0,8	0,16	6, (3)	Затуплення
	Сталь 45	70	0,8	0,16	6, (3)	“ “
	Сталь 65Г	70	0,5	0,16	4, (4)	“ “
	Сталь 65Г	70	0,5	0,32	3, (3)	“ “

В даному випадку необхідно провести додаткові дослідження з вибору кута загострення інструменту та стружколому для запобігання утворення “наросту” на ріжучій кромці ріжучого інструменту.



Рис. 3. Різання бронзи нанокерамічним різцем

При обробці вуглецевої сталі бажано в процесі різання використовувати охолодження зразка змащувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР), що сприяло б відведенню виділеного тепла від ріжучої кромки зразка і збільшувало б його стійкість. В випробуваннях ЗОР не використовували.

При обробці сталей марок 5, 30, 45, та 65Г найбільшу стійкість виявили зразки № 1, 2 та 6. При однакових швидкостях різання і подачі відмова зразка через руйнування відбулась при збільшенні глибини різання більш, як 0,5 мм.

При обробці латуні марки Л62 ріжучим інструментом № 1 було можливо збільшити глибину різання (до 1,0 мм) та подачу (до 0,32 мм/об) зі збереженням стійкості інструменту в порівнянні з обробкою сталі 65Г.

Зразок № 1 виявив більшу стійкість при різанні сталі 5 по відношенню до сталі 65Г, що дозволило збільшити глибину різання до 0,75 мм.

Зразки № 1 та № 4 виявили схильність до швидкого вищерблювання ріжучої кромки при різанні сталі 65Г зі швидкістю подачі 0,32 мм/об. і глибини різання 0,5 мм.

Зразок № 3 показав зниження стійкості в процесі експлуатації через швидке зношування (стирання) ріжучої кромки протягом 0,5 хв.

Висновки

За результатами проведених вибіркових досліджень було визначено, що найбільшу стійкість у випробуваннях по різанню латуні та сталей виявили зразки нанокераміки № 1 складу 60% (мас.) TiN–40% (мас.) Si₃N₄, № 2 складу 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ та № 6 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ (Y₂O₃, Al₂O₃). Для даних матеріалів досягнуто глибина різання до 1 мм при швидкості подачі 0,32 мм/об. Ці наноккомпозити є найбільш перспективними для розробки ріжучого інструменту, що здатен працювати на операціях напівчистої і чистої обробки загартованих сталей.

На примере наноматериалов на основе нитрида кремния и титана исследовано процесс формирования наноккомпозитов в форме режущих пластин в малых партиях используя традиционное полупромышленное оборудование. Тестированием в процессе резанья различных материалов для определения области использования наноккомпозитов определено, что наибольшую стойкость в испытаниях по резанью латуни и сталей показали образцы нанокерамики состава 60% (мас.) TiN–40% (мас.) Si₃N₄, 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ и 80% (мас.) TiN–20% (мас.) Si₃N₄ (Y₂O₃, Al₂O₃). Для данных материалов достигнута глубина резания до 1 мм при скорости подачи 0,32 мм/об.

Ключевые слова: наноматериалы на основе нитрида кремния и титана, режущие пластины.

On the example of nanomaterials based on silicon and titanium nitrides the process of nanocomposites formation in the form of cutting tools in small parties using traditional semiindustrial equipment has been investigated. Tests on machining of brass and steels demonstrate that nanoceramic samples with content 60 wt.% TiN–40 wt.% Si₃N₄ and with content 80 wt.% TiN–20 wt.% Si₃N₄ and 80 wt.% TiN–20 wt.% Si₃N₄ (Y₂O₃, Al₂O₃). For these materials has been achieved cutting depth up to 1 mm with tool advance up to 0.32 mm/r.

Keywords: nanomaterials on the base of Si₃N₄ and TiN, out plates.

1. *Wolfgang Luther.* Industrial application of nanomaterials chances and risks / Future technology division of VDI, Dusseldorf, Germany, 2009.
2. *Andrew McWilliams.* Global Markets for Nanocomposites, Nanoparticles, Nanoclays and Nanotubes – Focus on the U.S // BCC Report, January, 2012.