

**Гнилиця І.Д.,
Криль Я.А.,
Цап І.В.**

Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ
НІТРИДОКРЕМНІЄВИХ
АЕРОАБРАЗИВОСТРУМЕНЕВИХ СОПЕЛ
ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ
ТРУБОПРОВОДІВ МЕТОДОМ
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ДЕФОРМУВАННЯ**

Вступ

Велике значення при ремонті та будівництві нафтогазопроводів, нафтоосховищ і суден має проведення антикорозійних робіт – очищення поверхонь до необхідної якості і нанесення на ці поверхні антикорозійних покриттів. Очищення поверхонь проводиться різними абразивами, починаючи з піску і закінчуючи електрокорундом. Найважливішим елементом обладнання для очищення є аероабразивоструменеві сопла. Сопла призначені для прискорення абразивно-повітряної струмини до надзвукової швидкості. Ресурс роботи аероабразивоструменевих сопел визначає ефективність роботи обладнання.

Постановка задачі

Для абразивоструменевого очищення в Україні в основному застосовують сопла імпортного виробництва (Clemco, Kiess (Німеччина) Boride (США), ESK, Sintec, San), отримані в основному гарячим пресуванням з надтвердих матеріалів, які забезпечують необхідний ресурс роботи, але при цьому є достатньо дорогими.

Згідно даних проведених маркетингових досліджень орієнтовний ринок сопел в Україні, тис. шт.:

з реакційно спеченого карбіду кремнію:	500 - 600;
з твердого сплаву:	1500 - 2000;
з карбіду кремнію та нітриду кремнію:	2000 - 3000;
з карбіду бору:	1500 - 200.

На ринку сопел встановилася цінова градація у залежності від ресурсу роботи. Найнижча ціна сопел з реакційно спеченого карбіду кремнію, найвища – В₄С. Ціни на сопла залежать від матеріалу, типу та розміру. Для одного типорозміру CP-10-170 (діаметр робочого каналу 10 мм, довжина 170 мм, тип “вентурі”) середня ціна за одне сопло у залежності від матеріалу, USD:

- карбід кремнію реакційно спечений:	50;
- твердий сплав:	130;
- карбід кремнію, нітрид кремнію:	140;
- карбід бору:	200.

Вибір матеріалу сопла залежить від робочого абразиву:
шрот сталевий або чавунний:

твердий сплав, карбід кремнію реакційноспечений;	
пісок:	твердий сплав, карбід кремнію реакційноспечений, карбід кремнію, нітрид кремнію;
шлак:	твердий сплав, карбід кремнію нітрид кремнію, карбід бору;
електрокорунд:	карбід кремнію, нітрид кремнію, карбід бору.

Останнім часом у зв'язку з підвищенням вимог до чистоти поверхонь, об'єми обробки активними абразивами (шлак, електрокорунд) зростають, що зумовлює зростання об'ємів споживання сопел на основі нітриду кремнію, карбідів бору та кремнію.

Вітчизняні виробники сопел: СКТС (м. Світловодськ, твердий сплав), НВП “Текском” (м. Київ, карбід бору) на ринку України представлені мало. Тому важливою задачею є розробка вітчизняних сопел, які за ресурсом роботи не поступались би імпортним, але при цьому були дешевшими. Одним з можливих шляхів вирішення даної задачі є структурне зміцнення матеріалів при високотемпературному деформуванні.

Високотемпературне деформування у структурному відношенні вирішує дві задачі: перша – покращення структури матеріалу за рахунок додаткового ущільнення, зниження кількості і підвищення рівномірності розподілу дефектів (пор), друга – формування направленої структури (текстури) під впливом напруженого стану у процесі деформування.

Висока ймовірність заліковування великих пор при високотемпературному деформуванні дозволяє сподіватись на значне підвищення модуля Вейбулла отримуваних матеріалів.

Можливість отримання текстури і відповідної анізотропії властивостей для нітридокремнієвої кераміки розглянуто в роботах [1 - 5]. Розробляються спеціальні методи, які дозволяють отримувати нітридокремнієву кераміку з анізотропною структурою [6].

Високотемпературне деформування може бути потужним інструментом при вирішенні основних проблем, які треба вирішувати при впровадженні нітридокремнієвих матеріалів, а саме: підвищення надійності деталей і вузлів, повторюваність технології, зменшення розсіювання фізико-механічних властивостей.

Метою даної роботи є визначення можливості підвищення ресурсу роботи аероабразивоструменевих сопел за рахунок структурного зміцнення нітридокремнієвих матеріалів при високотемпературному деформуванні.

Зміст і результати досліджень

У результаті проведення конструкторського аналізу розроблені 10 типорозмірів сопел двох типів: СР (для різьбового приєднання) та СН (для прямого приєднання), які найбільш часто застосовуються у світовій практиці бластирування (рис. 1). Корпус розроблених сопел – алюмінієвий або сталевий.

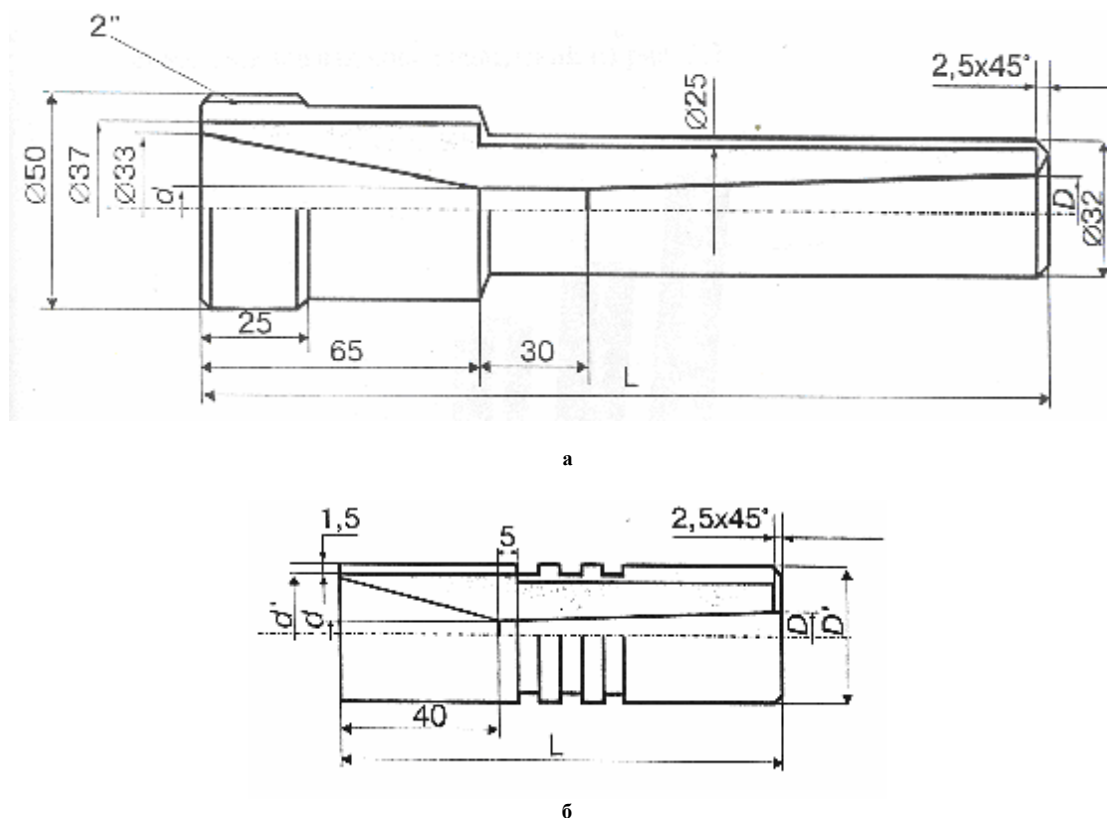


Рис. 1 – Аероабразивоструменеві сопла:
а – для різьбового приєднання (тип СР);
б – для прямого приєднання (тип СН)

Типорозміри розроблених аероабразивоструменевих сопел наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Типорозміри аероабразивоструменевих сопел

Типорозмір	d , мм	d' , мм	D , мм	D' , мм	L , мм
<i>l</i>	2	3	4	5	6
СР-11-200	11	-	17	-	200
СР-12-200	12	-	18	-	200
СР-8-170	8	-	14	-	170

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
CP-10-170	10	-	16	-	170
CP-11-170	11	-	17	-	170
CH-8/32-110	8	28	12	32	110
CH-10/32-110	10	28	14	32	110
CH-6/25-100	6	21	10	25	100
CH-8/25-100	8	21	12	25	100
CH-10/25-100	10	21	14	25	100

На основі одержаних результатів досліджень розроблена технологічна схема одержання нітридокремнієвих матеріалів для сопел у відповідності з якою розроблені технічні та методичні рекомендації до серійного випуску керамічних сопел для аероабразивоструменевої обробки.

Як вихідні порошки застосовували плазмохімічний порошок нітриду кремнію складу Si_3N_4 -5мас.% Y_2O_3 -2мас.% Al_2O_3 виробництва СКТБ Інституту неорганічної хімії (м. Рига, Латвія). Шихту завантажували в карбідокремнієвий тигель і поміщали у піч СШВ для відпалу. Відпал проводили у дві стадії: I – у вакуумі при температурі 1000 °С. На цій стадії відбувається повне видалення присутніх в порошок побічних продуктів. II – під тиском азоту 0,03 МПа при температурі 1400 - 1450 °С. На цій стадії відбувається азотування вільного кремнію, який є у порошок нітриду кремнію, і формування монодисперсних частинок. Ці частинки після відпалу вже сформовані, однак припечені одна до одної і потребують розмолу.

Для одержання монодисперсного порошку (руйнування зв'язку між частинками) з кулеподібною формою частинок після відпалу проводили розмол у середовищі ацетону. Після 12 годин розмолу порошок висушували у сушильній шафі при температурі 250 °С.

Гранулометричний контроль проводили на лазерному гранулометрі ZILAZ. Гранулометричний склад вихідного порошку повинен відповідати гранулометричному складу наведеному на рис. 2.

Вміст фракцій, %

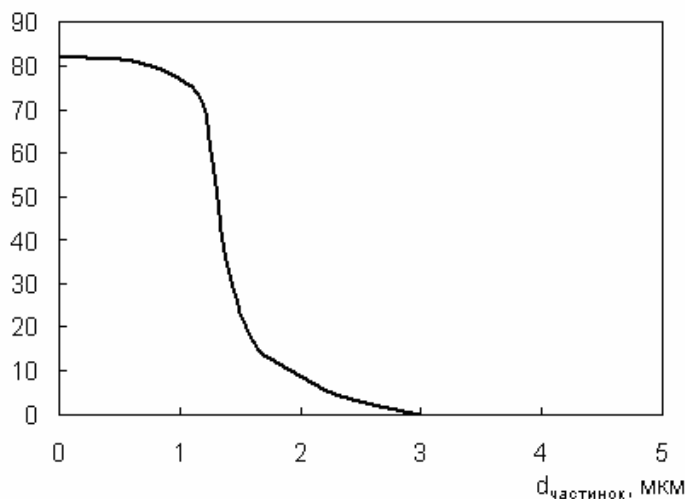


Рис. 2 – Гранулометричний склад вихідного порошку

Формування заготовок проводили у сталевих прес-формах на гідравлічному пресі при двосторонній схемі пресування. Для запобігання браку (розшарування) внаслідок пружної післядії застосовували роз'ємні прес-форми. Пресування проводили при тиску 150 МПа. При пресуванні застосовували пластифікатор (1 % розчин каучуку в бензині). Після пресування в сталевих прес-формах заготовки мали щільність 55 % від теоретичної.

Для спікання заготовки поміщали у тигель з карбиду кремнію, засипали активною нітридокремнієвою засипкою, закривали кришкою і поміщали у робочу камеру печі СШВ. Після одержання вакууму 10^{-4} мм. рт. ст. піднімали температуру до 1000 °С, підтримуючи вакуум. При 1000 °С вакуум повинен відповідати початковому. Після досягнення температури 1000 °С без падіння вакууму запускали азот і здійснювали нагрівання до 1750 °С зі швидкістю 10 °С/хв. При досягненні температури 1750 °С здійсню-

вали ізотермічну витримку на протязі 1 години при тиску азоту 0,03 МПа. Після охолодження печі заготовки очищали від засипки і проводили вибірковий контроль щільності методом гідростатичного зважування.

Деформування проводять по схемі прямої екструзії з використанням спечених заготовок діаметром 30 мм. Для одержання сопел з зовнішнім діаметром 21 мм ступінь обтиску складає 51 %. Кут перехідного конуса – 40°. Температура деформування 1800 °С при тиску на пуансоні 30 МПа.

Механічну обробку проводили на круглошліфувальному (зовнішня циліндрична обробка) і плоскошліфувальному (обробка торців) верстатах з застосуванням алмазного інструменту. Для шліфування використовували алмазні круги прямого профілю 1А1 на металевій (чорнове шліфування) і керамічній (чистове шліфування) зв'язці. При шліфуванні алмазними кругами на металевій зв'язці застосовували змащувально-охолоджувальну рідину.

Технологічний процес виготовлення партії з 5 шт. сопел для аероабразивоструменевої обробки з врахуванням технологічних переходів і допоміжного часу триває близько 50 годин. Затрати електроенергії при цьому становлять близько 200 кВт/год.

Виготовлена згідно розробленої дослідно-промислової технології дослідна партія сопел випробувана на установці фірми "Kiess" на АТ "Херсонський суднобудівний завод". Тиск повітря при випробуваннях становив 0,7 МПа. Робочий абразив – металургійний шлак. Через кожні 20 годин випробувань проводились вимірювання величини відносної зміни діаметру. Випробування проводились до повного зношування сопла. Відносна зміна діаметру $\Delta d/d$ за 120 годин роботи становила 0,09. Така відносна зміна діаметру знаходиться на рівні аналогічних нітридокремнієвих сопел німецького виробництва ("Kiess", "Clemco"). Орієнтовна вартість виготовлених сопел з нітриду кремнію, одержаних методом високотемпературної екструзії, є на 20 - 30 % нижчою ціни аналогічних сопел німецького виробництва.

Висновки

Розглянуто існуючий стан вітчизняних та імпортованих матеріалів для виготовлення аероабразивоструменевих сопел.

Представлено технологічну схему одержання нітридокремнієвих аероабразивоструменевих сопел шляхом високотемпературного деформування методом прямої екструзії.

Показано можливість підвищення ресурсу роботи нітридокремнієвих аероабразивоструменевих сопел за рахунок структурного зміцнення при високотемпературному деформуванні з досягненням 20 - 30 % економії порівняно з імпортованими аналогами.

Література

1. Takenaka T., Sakata K. Grain Orientation and Electrical Properties of Hot-Forged $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Ceramics // Jpn. J. Appl. Phys. – 1980. – 19. – P. 31-39.
2. Chen I-W., Wu X., Keating S., Keating C. Y., Johnson P., Tien T. G. Texture Development in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ by Hot Extrusion and Hot-Pressing // J. Amer. Ceram. Soc. – 1987. – 70, № 12. – P. 382-388.
3. Bowman K. J., Chen I-W. Transformation textures in Zirconia, submitted to J. Amer. Ceram. Soc.
4. Lee F., Bowman K. J. Texture and Anisotropy in Silicon Nitride // J. Amer. Ceram. Soc. – 1992. – 75, № 7. – P. 1748-1755.
5. Goto Y., Ohta H., Komatsu M. Preferred Orientation and Mechanical Properties of Pressureless Sintered Silicon Nitride // Yogyo Kyokaiishi. – 1986. – 94, № 1. – P. 167-171.
6. Yusuke Okamoto, Naoto Hirosaki, Motohide Ando, Fumio Munakata and Yoshio Akimune. Thermal Conductivity of Self-Reinforced Silicon Nitride Containing Large Grains Aligned by Extrusion Pressing // Journal of Ceramic Society of Japan, Int. Edition. – 1997. – 105. – P. 684-687.

Надійшла 23.05.2012