

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-282-2-30-36>

УДК 621.9.048

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ АБРАЗИВНИХ ГРАНУЛ

Шумакова Т.О., Ніколаєнко А.П.

WEAR RESISTANCE RESEARCH ABRASIVE GRANULES

Shumakova T.O., Nikolaenko A.P.

У статті були наведені результати аналізу формул, для визначення зносу абразивних гранул для вібраційної обробки деталей у середовищі вільних абразивів. Наведено результати експериментальних досліджень зносу абразивних гранул різних геометричних форм. Проаналізовано, на прикладі обробки плоских та циліндричних сталевих зразків протягом 240 хвилин зв'язок між продуктивністю вібраційної обробки та їх зносом. При виконанні експериментальних досліджень, використовувалися абразивні гранулами в формі конусів, пірамід, які мають в основі квадрат, неопуклий шести- та восьмикутник, а також пірамід, що мають в основі неопуклий шестикутник у формі «мальтійського хреста». Було встановлено, що гранули, які мають різну форму (при однакових складових компонентах та масі), під впливом одних і тих самих коливань зношуються по-різному. Найбільшого зношування з втратою своєї первинної геометричної форми зазнають гранули у формі пірамід, які мають в основі неопуклий восьмикутник і гранули у формі пірамід, які мають в основі неопуклий восьмикутник у формі «мальтійського хреста», в порівнянні з конусами зношування вище на 10 і 24 % відповідно. Гранули у формі конусів, пірамід, які мають в основі квадрат і пірамід, які мають в основі неопуклий шестикутник, в процесі роботи зберігають свою форму і зношуються менш інтенсивно: в порівнянні з конусами – на 2 і 7 % більше відповідно. В результаті проведених спостережень за процесом зношування та зміни форми досліджуваних абразивних гранул встановлено, що для забезпечення високої зносостійкості необхідно, аби кути гранул, що утворюють внутрішні поверхні (грані гранули), були більшими за 47° і меншими за 135° (цей висновок було обумовлено геометрією досліджуваних гранул). Кути, що утворюють ребра гранули, мають бути гостримі й їх величина має бути рівною 60° , оскільки при менших значеннях спостерігатиметься підвищене зношування, а при більших – низька

продуктивність гранул (обумовлено результатами експериментальних досліджень, що проводилися в роботі). При цьому грані, що утворюють ці кути, мають бути доступними і мати достатній площу поверхні для ефективного взаємного контакту з деталями і іншими гранулами.

Ключові слова: вібраційна обробка, інструмент, абразивна гранула, зношування, продуктивність.

Вступ. Технологічні можливості вібраційної обробки в середовищі вільних абразивів є дуже широкими. Вона може використовуватися для очищення відливок від залишків формувальної суміші, для зачищення надлишкових матеріалів на штампованих заготовках, для очищення деталей від нагару та важкознімних забруднень під час ремонту та відновлення деталей машин, а також для обробки поверхонь (віброшліфування та віброполірування) та інших завдань. Оскільки в багатьох випадках віброабразивна обробка застосовується як фінішна, велике значення для забезпечення якості оброблюваних деталей має висока стабільність отриманих результатів.

Особливістю вібраційної обробки є відсутність жорсткого зв'язку між оброблюваною заготовкою та інструментом (робочим середовищем, що складається з одиничних абразивних гранул та хімічного розчину) [1, 2]. У зв'язку з цим вона позбавлена ряду недоліків, характерних для обробки шліфувальними кругами. Навіть при затупленні ріжучих кромки абразивних зерен не відбувається збільшення температури в зоні різання, оскільки відсутність жорстких зв'язків у системі «інструмент – деталь» та постійні

упругі віджаття забезпечують достатньо хорошу стабілізацію сил різання. За цією самою причиною відсутні такі складові зносу, як температурна, дифузійна та адгезійна, навіть при грубій обробці (наприклад, при очищенні відливок).

Знос абразивного інструменту є одним з найважливіших параметрів абразивної обробки, оскільки в значній мірі визначає витрати робочого середовища, якість обробленої поверхні виробу та продуктивність процесу.

Продуктивність процесу вібраційної обробки в багатьох відношеннях залежить від ріжучої здатності абразивних гранул, тобто від їх здатності на протязі тривалого часу забезпечувати зняття металу.

З аналізу робіт [1, 3, 4] відомо, що форма використовуваного інструменту – абразивних гранул, впливає на продуктивність процесу обробки. При цьому автор роботи [1] вказував на необхідність зменшення повної бічної поверхні абразивної гранули, спрямовуючись на збільшення силового впливу гранули на деталь в зоні контакту.

У роботі [3] в якості показника ефективності процесу вібраційної обробки була обрана повна бічна поверхня гранули. Автори даної роботи вважають, що більша бічна поверхня абразивних гранул відповідає більшій кількості зерен, що беруть участь в контактній взаємодії при обробці зняття з поверхні оброблюваних деталей, що призводить до підвищення ефективності процесу віброабразивної обробки. Введений ними коефіцієнт абразивної ефективності геометричної форми абразивних гранул представляє відношення бічної поверхні до одиничного об'єму. Однак у роботі [3] враховується лише площа контакту абразивних гранул з деталлю, і не враховується величина тиску робочого середовища на оброблювану поверхню. Це припущення суперечить результатам досліджень, викладеним у [1].

Постановка проблеми. Основною задачею для забезпечення ріжучих властивостей абразивних гранул є дослідження закономірностей зношування робочого середовища з метою прогнозування та управління стабільністю процесу вібраційної обробки, знаходження таких геометричних параметрів гранул, за формою і розміром яких можна було б судити про продуктивність процесу зняття металу.

Поставлену задачу можна вирішити в два етапи:

1. Визначення впливу форми гранул на продуктивність процесу вібраційної обробки з поверхонь досліджуваних зразків;

2. Визначення зносостійкості досліджуваних абразивних гранул, тобто визначення таких геометричних параметрів абразивних гранул, які забезпечують збереження ріжучих властивостей гранули.

Аналіз механізмів зношування робочого середовища при вібраційній обробці. Для оцінки зносу абразивного інструменту зазвичай використовують два показники:

– середню швидкість зносу, тобто кількість (обсягом і масою) видаленого оброблюваного матеріалу за одиницю часу роботи інструмента;

– питомий знос, тобто об'ємна або масова кількість зношеного абразиву, віднесена відповідно до одиниці об'єму або маси відшліфованого металу.

Враховуючи, що характер протікання зносу абразивного середовища з часом при вібраційній обробці має нелінійний характер, перший показник не забезпечить правильності оцінки. Тому найбільш важливим для практики критерієм оцінки зносу абразивного інструменту (середовища, що складається з абразивних гранул) є питомий знос.

Знос призводить до зміни ріжучої здатності абразивних гранул, а отже, до порушення стабільності протікання процесу. Причинами цього може бути наступне:

– затуплення ріжучих кромок абразивних частинок;

– зменшення об'єму завантаження робочої камери;

– зменшення розмірів частинок робочого середовища;

– забруднення робочого середовища продуктами зносу самими гранулами та мікростружкою.

Абразивні зерна, які беруть участь у процесі різання, при контакті з оброблюваною поверхнею періодично сприймають силовий і тепловий впливи, внаслідок чого можливе:

– стирання вершин ріжучих кромок абразивних зерен, поява на них площин зносу і приліплених часточок металу, що призводить до різкого падіння ріжучої здатності інструменту;

– викрошування (відламування) мікрочастинок абразивних зерен через ударний характер навантаження і втомного руйнування, тобто режим часткового самогострення;

– виривання цілих абразивних зерен з зв'язки та видалення самої зв'язки шляхом викрошування або відрізання (в залежності від

характеристик зв'язки) за рахунок контакту з іншими абразивними гранулами, тобто режим самогострення.

Враховуючи, що при вібраційній обробці застосовується в значній частині м'який абразивний інструмент, коли міцність закріплення зерен в інструменті нижче міцності самого абразивного зерна, працює в основному останній механізм зносу, тобто переривання зв'язок та виривання цілих абразивних зерен з зв'язки. Ймовірність прояву перших двох механізмів зносу є дуже мала. Це забезпечує самогострення абразивних гранул і збереження стабільності їхньої ріжучої здатності протягом достатньо тривалого періоду часу, що в свою чергу в значній мірі забезпечує стабільність отримання параметрів якості поверхні оброблюваних деталей. Однак такий механізм зносу абразивних гранул призводить до зміни як форми, так і маси і розмірів абразивних гранул, що в свою чергу визначає зміну ріжучої здатності абразивного інструмента.

Метою досліджень даної роботи є встановлення шляхом теоретичних та експериментальних досліджень геометричних параметрів абразивних гранул, що дозволять досягти найбільшої продуктивності вібраційної обробки з забезпеченням зносостійкості форми абразивних гранул.

Результати досліджень. Для вирішення поставлених задач визначення раціональних геометричних параметрів абразивних гранул, які здатні забезпечити збереження ріжучих властивостей гранули було проведено ряд експериментальних досліджень, під час яких використовувалися п'ять видів абразивних гранул. Характеристики гранул, що досліджувалися наведено в таблиці 1.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалися зразки чотирьох груп. Всі групи зразків було виготовлено зі сталі 3 (ДСТУ 2651:2005). Зразки першої групи мали форму пластин з розмірами $50 \times 40 \times 5$ мм. Зразки 2-4 груп були виготовлені у формі порожнистих циліндрів з розмірами: $\varnothing 40 \times 25 \times 5$ мм; $\varnothing 25 \times 25 \times 5$ мм і $\varnothing 17 \times 25 \times 5$ мм. Обробка всіх зразків проводилась на вібраційному верстаті моделі УВИ-25 з U-подібним контейнером з режимами коливань: амплітуда $A=3,5$ мм і частота $\omega = 50$ Гц. Об'єм завантаження контейнеру складав 75%. Дослідження з визначення впливу форми абразивних гранул на зняття металу з поверхонь зразків і оцінка їх зносу в процесі роботи проводилися протягом 120 хв, дослідження зі

зміни радіусів округлення гострих кромek гранул – протягом 240 хв (кожні 30 хв здійснювалося контрольне зважування зразків і гранул, вимірювання радіусів округлення гострих кромek гранул). Отримані результати наведені на рис. 1-8. Всі гранули, що використовувалися під час досліджень, поступили на обробку, після припрацювання протягом 3 годин.

Таблиця 1

Характеристики гранул, що досліджувалися

№	Позначення	Розмір, мм	Кути	Маса, г
1	Конус	$\varnothing 25$ $l = 25$	$\gamma = 60^\circ$	9,9
2	П4	20×20 $l = 25$	$\alpha = 90^\circ$ $\gamma = 60^\circ$	9,8
3	П6	$d = 25$ $l = 25$	$\alpha = 60^\circ$ $\beta = 120^\circ$ $\gamma = 60^\circ$	10,1
4	П8	$d = 30$ $l = 25$	$\alpha = 90^\circ$ $\beta = 135^\circ$ $\gamma = 73^\circ$	10,2
5	П8(МК)	$d = 25$ $l = 25$	$\alpha \approx 70^\circ$ $\beta \approx 47^\circ$ $\gamma = 60^\circ$	10,1

Примітка: П4 – піраміда, яка має основи квадрат; П6 – піраміда, яка має в основі неопуклий шестикутник; П8 – піраміда, яка має в основі неопуклий восьмикутник; П8(МК) – піраміда, яка має в основі неопуклий восьмикутник у формі «мальтійського хреста»; d – діаметр кола, що описує основу гранули; l – довжина твірної гранули; α – внутрішній кут, що утворює грані гранули; β – зовнішній кут між гранями гранули; γ – кут при вершині гранули.

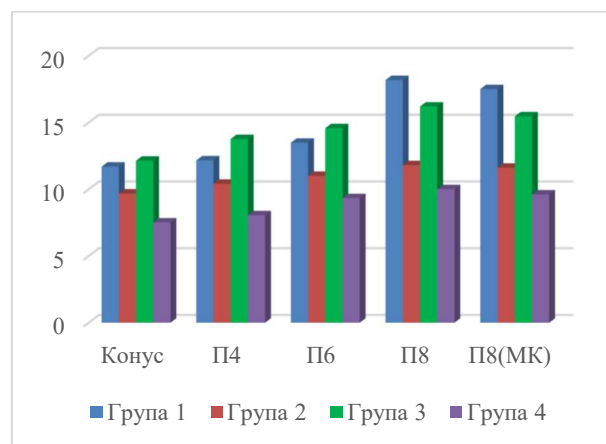


Рис. 1. Результати експериментальних досліджень щодо визначення зняття металу в різних абразивних гранулах (середньоарифметичне значення за 30 хв), $г/мм^2 \cdot 10^{-6}$

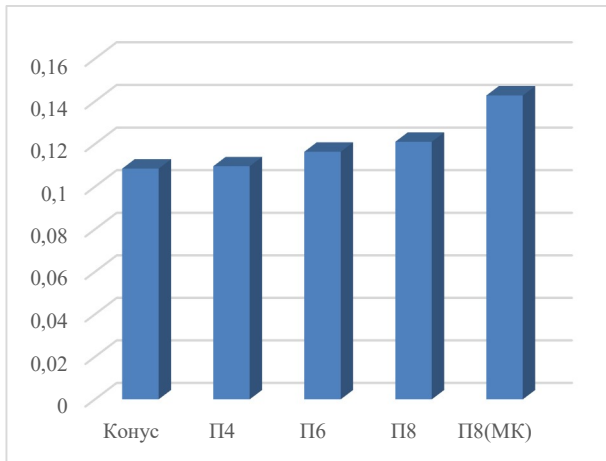


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень щодо визначення зношування абразивних гранулах різних форм (середньоарифметичне значення за 30 хв), г

Із результатів досліджень, наведених на рис. 1, 2, випливає, що на продуктивність процесу вібраційної обробки за інших однакових умов (обладнання і режими його роботи, використаного робочого розчину, зернистості, зв'язки, маси гранул) найбільший вплив має форма гранул (а саме кількість ребер і поверхонь певного розміру). Зі збільшенням кількості ребер відбувається знімання металу з поверхонь оброблюваних зразків як циліндричної, так і плоскої форми.

Таблиця 2

Результати досліджень щодо визначення радіусу округлення ребер і вершин гранул різних форм, мм

Форма гранул	Час обробки, хв											
	60			120			180			240		
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₁	R ₂	R ₃
Конус	1,5	–	–	1,8	–	–	2,0	–	–	2,0	–	–
П4	1,5	1,0	–	1,8	2,0	–	2,0	2,0	–	2,0	2,0	–
П6	1,5	1,5	1,5	1,8	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5
П8	1,8	1,5	2,0	2,0	3,0	5,0	2,2	6,0	32	2,2	–	–
П8(МК)	1,5	1,8	0,5	1,8	3,0	1,4	2,0	6	1,6	2,0	–	–

Примітка: R₁ – радіус округлення вершини абразивної гранули, мм; R₂ – радіус округлення зовнішнього кута, утворюючи ребро абразивної гранули, мм; R₃ – радіус округлення внутрішнього кута, утворюючи ребро абразивної гранули, мм.

Найбільш стійкими до зносу є гранули у формі конусів, а найменш – П8 і П8(МК), що є логічним, оскільки саме ці гранули демонструють максимальний відбір металу, а саме на 35-44 % більше порівняно з конусами. Знос цих гранул був значним, що відобразилося на їх формі (див. табл. 4). Гранули у формі П4 і П6 також показали більший відбір, ніж конуси,

а саме на 5 і 20% відповідно. При цьому знос цих гранул був лише на 2 і 7 % вищий, ніж у конусів.

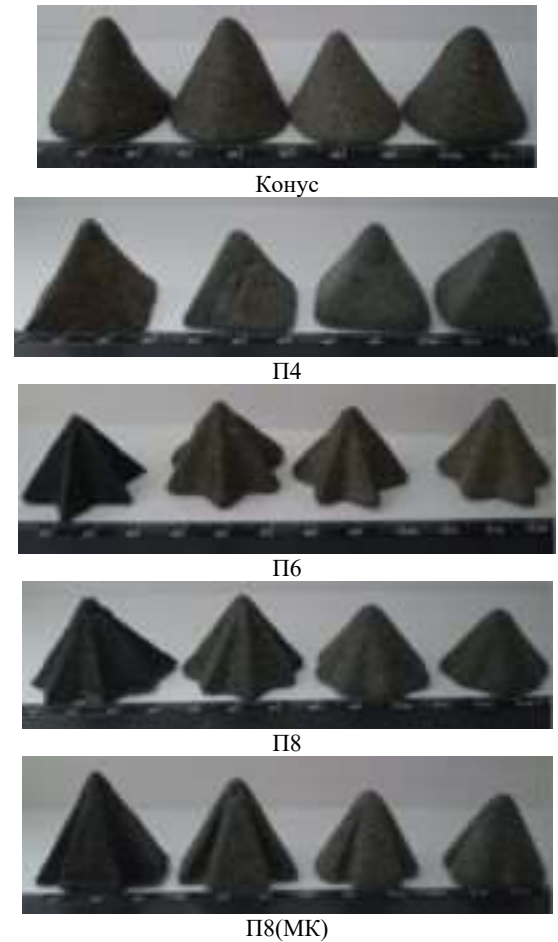


Рис. 3. Зовнішній вигляд вершин гранул різних форм до обробки та після кожної години роботи

На підставі візуального спостереження і вимірювань радіусів округлень гострих кромek гранул (рис. 3, 4), а саме ребер і вершин, можна відзначити, що не всі гранули, демонструючи високу продуктивність, зберігають при цьому форму. Так, П8 і П8(МК) дуже швидко її втрачали і перетворювались в малопродуктивний конус. Ймовірно, це пов'язано з тим, що у абразивних гранул у формі П8 недостатньо розвинені поверхні, які утворюють внутрішні кути восьмикутника, що лежить в основі гранули.

Здавалось би, що деталі у своєму взаємно-відносинному руху повинні контактувати по поверхнях (гранях), які утворюють кут 135°, оскільки їхній розмір повинен дозволити елементу деталі або малому за розміром зразку легко контактувати з гранями гранули. Однак, наявність, окрім осцилюючого циркуляційного руху (при якому, як стверджується в [5, 6], 75 % ударів гранул о поверхню деталей є косими) і

пошарового руху, а також обертання гранули навколо своєї осі не дозволяє оброблюваному елементу чи всьому виробу залишитися на слабозвинених поверхнях – гранях гранули. Тобто контакт гранули з оброблюваною деталлю або її елементом, в основному, відбувається лише між її найближчими ребрами, і, отже, саме вони і зношуються. У цьому випадку спостерігається поступове закруглення гострих ребер гранули (за 3 години до радіуса 6 мм), перехід до конусоподібних поверхонь і, в кінці кінців, після 4 годин роботи, перетворення в малопродуктивний конус.

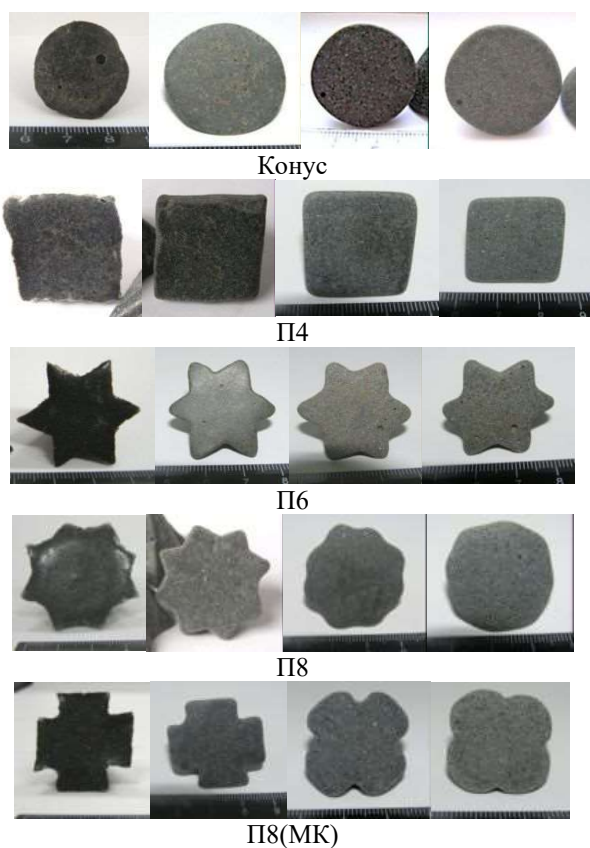


Рис. 4. Зовнішній вигляд основ гранул різних форм до обробки та після кожної години роботи

Дослідження зі зміни форми гранули П8(МК) показали, що ці гранули також не зберігають свою форму протягом роботи. Гранули цієї форми мали, порівняно з іншими, ряд особливостей, а саме: гострі кути, утворюючи ребра гранули ($\approx 70^\circ$); одна з граней, утворюючи ребро гранули, представляє собою розгорнуту відкриту площину достатньо великого розміру. Протягом роботи гранул в формі П8(МК) вони ведуть себе наступним чином: гострі ребра гранули інтенсивно закруглюються протягом всього часу їх роботи,

плоскі грані гранули перетворюються в округлені конусоподібні поверхні з радіусом закруглення гострої кромки до 6 мм за 3 години роботи і надалі продовжують закруглюватися до форми конуса. Це пов'язано з тим, що при обробці зразки майже не мають можливості контактувати з гранями гранули, які утворюють внутрішній кут восьмикутника ($\approx 47^\circ$), оскільки ці поверхні є затемненими і малодоступними. Весь контакт припадає на гострі ребра, які стираються в процесі роботи.

В результаті аналізу досліджень зносу описаних вище гранул можна відзначити, що для забезпечення високої стійкості до зносу, а отже, ефективності використовуваного інструменту, необхідно, щоб кути абразивних гранул, що утворюють внутрішні поверхні (грані гранули), були більше 47° і менше 135° . При цьому ці грані, що утворюють ці кути, повинні бути доступними та достатньо розвинутими для ефективного контакту з деталями та гранулами. У цій роботі не деталізувалися гранули у формі конусів та П4, оскільки вони вже досить відомі та вивчені. Дослідження їх працездатності розглядалися в інших роботах [8, 9]. Знос обох типів гранул рівномірний, що можна відзначити за зміною радіуса закруглення найгостріших виступаючих частин гранули. Так, досягнувши розміру 2 мм, він залишається незмінним протягом всього часу роботи цих гранул, при цьому відбувається лише загальна зміна об'єму тіла гранули до практично повного зношування. Окремо зупинимося на гранулах у формі П6 [7], оскільки на сьогодні вони менш поширені в практичному застосуванні, але мають достатньо високі показники стійкості до зносу та працездатності. Отже, ці гранули є найбільш продуктивними, і саме їх рекомендується для подальшого використання. Зняття металу цими абразивними гранулами порівняно з конусами та П4, як вже зазначалося вище, більше на 20% при практично такому самому зносі. Подібна перевага забезпечується вдалими співвідношенням геометричних параметрів цієї гранули (внутрішній кут, утворюючи ребро гранули, дорівнює 60° ; зовнішній, – утворюючи грані гранули, – 120° ; кут при вершині гранули 60°), що дозволяє оброблюваним деталям та гранулам вільно контактувати як з ребрами гранули, так і з її гранями (доступними та розвинутими), що підтверджується візуальним контролем зміни форми гранул.

Висновки.

1. Для підвищення продуктивності вібраційної обробки деталей, незалежно від їх матеріалу і початкової шорсткості, найбільш раціональним є використання абразивних гранул у формі пірамід, що мають в перерізі неопуклий шестикутник, оскільки продуктивність цих гранул у порівнянні з конусом є вищою на 20 %, а зношування – всього на 4 %.

2. Аналіз результатів експериментів з вивчення стійкості до зносу абразивних гранул різних форм показав, що найвищий рівень зносу та втрати первинної геометричної форми спостерігається у гранул у формі пірамід, що мають в основі неопуклий восьмикутник, та гранул у формі пірамід з основою у вигляді «мальтійського хреста». Порівняно з конусами, знос цих гранул перевищує відповідно на 10 % та 24 %. З іншого боку, гранули у формі конусів, пірамід з квадратною основою та пірамід з неопуклою шестикутною основою зберігають свою форму та зношуються менш інтенсивно, у порівнянні з конусами всього на 2 % та 7 % більше відповідно.

3. Внаслідок проведених спостережень за процесом зношування та зміни форми гранул було встановлено, що для досягнення високої стійкості до зносу необхідно, щоб кути абразивних гранул, які формують внутрішні поверхні (грані гранули), були більшими за 47° і меншими за 135° (це зумовлено геометрією досліджуваних гранул). Кути, що формують ребра гранули, мають бути гострими, і їх розмір повинен відповідати 60°, оскільки при менших значеннях спостерігається збільшене зношування, а при більших – низька продуктивність гранул. При цьому грані, що формують ці кути, повинні бути доступними і достатньо розвиненими для ефективного контакту з деталями і гранулами.

Література

1. Абразивные гранулы для галтовки: А.с. № 319454 СССР / Ю.Г. Сергиев, А.Г. Варыгин. – Оупбл. 1971, Бюл. № 33.
2. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Ostroverkh Y.V. Purpose and technological properties of granular media for vibration finishing and grinding processing. Cutting & Tools in Technological System. Kharkiv, NTU «KhPI». 2023. № 99. P. 85-93. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2023.99.10>
3. Marciniak M., Stefko A. Charakteristyka cech uzytkowych nowej grupy narsedzi sciernych // Prace

4. Kalmazov M.O., Шумакова Т.О., Струтинський В.Б., Лубенська Л.М. Інструмент для обробки деталей вільними абразивами: Монографія. Луганськ: вид-во «Ноулідж», 2010. 214 с.
5. Kundrák J., Morgan M., Mitsyk A.V., Fedorovich V.A. The effect of the shock wave of the oscillating working medium in a vibrating machine's reservoir during a multi-energi finishing-grinding vibration processing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 106, P. 4339-4353 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04844-2>
6. Romanchenko O. Principles of design of specialized technological equipment. Diagnostyka. 2022; 23(1): 2022109. <https://doi.org/10.29354/diag/146784>
7. Абразивні гранули для вібраційної обробки деталей: Патент № 31109 МПК В24В 31/14 / Калмиков М.О., Шумакова Т.О., Романченко О.В. – Заявл. 28.11.2007; Оупбл. 25.03.2008, Бюл. №6.
8. Венцкевич Г.ж. Влияние некоторых параметров абразивного наполнителя на эффективность процесса шлифования в вибрирующих резервуарах: дис... канд. техн. наук. Одесса, 1986. 175 с.
9. Бойко М.А. Повышение технологических характеристик абразивных гранул для виброабразивной обработки: дис. ... докт. техн. наук. – Ростов н/Д, 2000. 167 с.

References

1. Abrazivnye granuly dlya galtovki: A.s. № 319454 SSSR / Yu.G. Sergiev, A.G. Varygin. – Oupbl. 1971, Byul. № 33.
2. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Ostroverkh Y.V. Purpose and technological properties of granular media for vibration finishing and grinding processing. Cutting & Tools in Technological System. Kharkiv, NTU «KhPI». 2023. № 99. P. 85-93. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2023.99.10>
3. Marciniak M., Stefko A. Charakteristyka cech uzytkowych nowej grupy narsedzi sciernych // Prace Naukowe Politechniki. Warszawskiej.: Mechanika. 1976. № 36.
4. Kalmazov M.O., Shumakova T.O., Strutinskij V.B., Lubenska L.M. Instrument dlya obrobki detalej vilnimi abrazivami: Monografiya. Lugansk: vid-vo «Noulidzh», 2010. 214 s.
5. Kundrák J., Morgan M., Mitsyk A.V., Fedorovich V.A. The effect of the shock wave of the oscillating working medium in a vibrating machine's reservoir during a multi-energi finishing-grinding vibration processing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 106, P. 4339-4353 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04844-2>

6. Romanchenko O. Principles of design of specialized technological equipment. *Diagnostyka*. 2022; 23(1): 2022109. <https://doi.org/10.29354/diag/146784>
7. Abrazivni granul dlya vibracijnoyi obrobki detalej: Patent № 31109 МРК V24V 31/14 / Kalmikov M.O., Shumakova T.O., Romanchenko O.V. – Zayavl. 28.11.2007; Opubl. 25.03.2008, Byul. № 6.
8. Venkevich Gzh. Vliyanie nekotoryh parametrov abrazivnogo napolnitelya na effektivnost processa shlifovaniya v vibriuyushih rezervuarah: dis... kand. tehn. nauk. Odessa, 1986. 175 s.
9. Bojko M.A. Povyshenie tehnologicheskikh harakteristik abrazivnyh granul dlya vibroabrazivnoj obrabotki: dis. ... dokt. tehn. nauk. – Rostov n/D, 2000. – 167 s.

Shumakova T.O., Nikolaenko A.P. Wear resistance research abrasive granules

The article provides an in-depth analysis of formulas used to determine the wear of abrasive granules during vibrational processing of parts in a free abrasive environment. The results from experimental studies examining the wear of granules of different shapes over a 240-minute period are presented. The shapes tested were cones, pyramids with a square base, non-convex hexagons, non-convex octagons, and pyramids with a non-convex hexagon base resembling a "Maltese cross." The study carefully analyzed the wear patterns and rates of these granules to understand their performance under vibrational stress. It was found that abrasive granules of different shapes (with the same components and mass) wear differently under the influence of the same vibrations. Pyramidal granules with a non-convex octagon base and those in the form of a "Maltese cross" exhibited the highest wear rates, being 10% and 24% higher, respectively, compared to cones. These specific shapes are less durable under identical processing

conditions. Cones, pyramids with a square base, and pyramids with a non-convex hexagon base showed less intensive wear, with wear rates being 2% and 7% higher than cones, respectively. These shapes were more effective at retaining their structural integrity and geometric shape over the duration of the processing period. To achieve higher wear resistance, the internal angles of the granules' edges should be between 47° and 135°, based on the studied granules' geometry. This range of angles appears to provide the best balance between durability and effectiveness in the vibrational processing environment. Acute angles of 60° are found to be optimal, as smaller angles result in increased wear, whereas larger angles lead to lower granule productivity. The precise angle of 60° helps in maintaining the structural integrity of the granules while allowing them to function effectively without wearing out too quickly. This comprehensive study underscores the critical role of granule shape and geometric properties in determining wear rates and processing efficiency during vibrational processing applications.

Key words: vibrational processing, tool, abrasive granule, wear, productivity.

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), shumakovatania@snu.edu.ua

Ніколаснко Анна Павлівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ), apnikolaienko@snu.edu.ua

Стаття подана 07.03.2024.