

УДК 621. 924.9

Горик О.В., Брикун О.М. (Полтавська державна аграрна академія),

Черняк Р.Є. (Публічне акціонерне товариство «АвтоКрАЗ»)

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ І КУТА АТАКИ НА ТЕХНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДРОБЕСТРУМЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ**

*Анотація.* Подані результати експериментальних досліджень параметрів процесу дробеструменевого очищення металевих поверхонь виробів, які пройшли термічну обробку в режимі нормалізаційного відпалу, при різних технологічних режимах. Наведені експериментальні графічні залежності впливу заданих швидкості і кута атаки, при вибраному типі дробу ДСК та визначеному абсолютному тиску стисненого повітря у корпусі дробеструменевого апарату 0,6МПа, на продуктивність і якість підготовки поверхні під захисне неметалеve покриття, на стійкість дробу, на ступінь шаржування оброблюваної поверхні уламками дробу та на глибину мікрорельєфу оброблюваної поверхні. Виконана оцінка експериментальних даних, на основі яких зроблена спроба встановлення ефективних технологічних режимів процесу дробеструменевого очищення поверхні металевих деталей за умови максимальної продуктивності.

*Ключові слова:* дробеструменеве очищення, швидкість атаки, кут атаки, продуктивність, стійкість дробу, ступінь шаржування, глибина мікрорельєфу.

Горик А.В., Брикун А.Н. (Полтавская государственная аграрная академия),

Черняк Р.Е. (Публичное акционерное общество "АвтоКрАЗ")

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ И УГЛА АТАКИ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ**

*Аннотация.* Представлены результаты экспериментальных исследований параметров процесса дробеструйной очистки металлических поверхностей изделий, прошедших термическую обработку в режиме нормализационного отжига, при различных технологических режимах. Приведены

экспериментальные графические зависимости влияния заданных скорости и угла атаки, при выбранном типе дроби ДСК и определенном абсолютном давлении сжатого воздуха в корпусе дробеструйных аппарата 0,6 МПа, на производительность и качество подготовки поверхности под защитное неметаллическое покрытие, на устойчивость дроби, на степень шаржирования обрабатываемой поверхности обломками дроби и на глубину микрорельефа обрабатываемой поверхности. Выполнена оценка экспериментальных данных, на основе которых сделана попытка установления эффективных технологических режимов процесса дробеструйной очистки поверхности металлических деталей при максимальной производительности.

**Ключевые слова:** дробеструйная очистка, скорость атаки, угол атаки, производительность, устойчивость дроби, степень шаржирования, глубина микрорельефа.

O. Goryk, O. Brykun (*Poltava state agrarian academy*),

R. Chernyak (*Public joint-stock company of «Avtokraz»*)

#### EXPERIMENTAL RESEARCH OF INFLUENCE OF SPEED AND CORNER ATTACK ON TECHNICAL INDEXES DURING SHOT-BLAST CLEANING

**Abstract.** The results of experimental researches of some parameters the process of shotblast of some metallic surfaces wares passing heat treatment in the mode of the normalization annealing are presented, in the different technological modes. Experimental graphic dependences over of influence of the set speed and corner of attack brought, at the chosen type of shot and certain absolute pressure of the compressed air in a corps shot-blast vehicle 0,6 МПа, on the productivity and quality of preparation of surface under the non-metal sheeting, on stability of shot, on the degree of caricaturing of the processed surface the wreckages of shot and on the depth of microrelief of the processed surface. It was made the estimation of some experimental data on the basis of that was given a shoot establishment of the effective technological modes of process of shotblast cleaning of surface of some metallic details at a burst performance is executed.

**Key words:** shot-blast cleaning, attack speed, attack corner, performance,

stability fractions, caricaturing degree, the depth of the microrelief.

**Вступ.** Для більшості видів виробництв очищення поверхонь виробів для нанесення захисного неметалевого покриття є актуальним питанням, так як висока якість підготовки поверхні гарантує високий ресурс і надійність роботи машин і механізмів, а продуктивність визначає собівартість процесу. Очищення в загальному вигляді являє собою не тільки операцію видалення з поверхні забруднень і покриттів різного походження, а й вирішення питань технологічної та експлуатаційної спадковості поверхневого шару, яка може супроводжуватися супутніми ефектами, а саме: поліпшенням трибологічних властивостей поверхні, активацією поверхні, перерозподілом залишкових поверхневих напружень і в наслідок цього, корозійних, фізико-хімічних і інших властивостей матеріалу приповерхневого шару оброблюваних виробів.

Серед різних способів обробки деталей, особливо складної конфігурації (ємнісних апаратів, штампів, прес-форм тощо), дробеструменеве очищення (ДО), знаходить все більш широке застосування в авіаційній, автомобільній, інструментальній, ремонтній галузях машинобудування; прокатному і ливарному виробництві і електротехнічній промисловості [1, 2].

**Постановка проблеми.** Не дивлячись на широке використання у промисловості, ДО металевих поверхонь виробів до теперішнього часу залишається не достатньо вивченим технологічним процесом механічної обробки вільними абразивними гранулами.

Відомі дослідження процесу ДО носять не системний і не рідко суперечливий характер, у силу складності моделей взаємодії дробу з оброблюваною металевою поверхнею. Залишаються не в повній мірі вивченими багато фізичних закономірностей процесу, які торкаються взаємозв'язків технологічних параметрів, зокрема, методика визначення оптимальних технологічних режимів та їх впливу на продуктивність та якість обробленої поверхні, стійкість дробу, шаржування поверхні та інші проблеми процесу, що потребують вирішення як теоретичного, так і експериментального дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якість обробленої поверхні

після ДО та продуктивність процесу головним чином залежать від вихідних швидкості й кута атаки, розміру абразивних частинок, часу обробки та інших показників [3].

В роботах [4, 5] приведені відповідні розрахункові та експериментальні залежності шорсткості поверхні, глибини і ступеню наклепу поверхневого шару від технологічних умов обробки при дробеструменевому зміцненні. А дослідники в роботі [6] приводять результати розрахунків раціональних значень швидкості і діаметру дробу для досягнення максимального ефекту технологічного процесу зміцнення дробом сталевих деталей по критерію втомної міцності, що підтверджені експериментально.

В розглянутих роботах описаний процес дробеструменевого зміцнення поверхневого шару при експериментальних параметрах процесу, які відмінні від режимів очищення.

Автори статей [2, 7] показали як змінюється під час струменевої обробки шорсткість металевих поверхонь залежно від тривалості обробки, кута атаки, абразивом зернистістю не більше 100мкм, що для ДО є не практичним.

На підставі огляду можна зробити висновок про те, що основними технологічними параметрами ДО, які роблять істотний вплив на техніко-економічні показники та якість обробки поверхонь і потребують експериментальних досліджень, при заданому гранулометричному складі, є: швидкість атаки дробинками поверхні та кут атаки.

**Мета дослідження.** Експериментальне дослідження впливу на продуктивність і якість обробки металевих поверхонь основних технологічних параметрів процесу ДО (швидкості і кута атаки) та встановлення при цьому їх оптимальних значень, що забезпечують найбільшу ефективність обробки.

**Результати досліджень.** Експериментальні дослідження проводились на лабораторній установці власної конструкції у лабораторії ПАТ «АвтоКрАЗ».

Для проведення досліджень використовували плоскі прямокутні зразки розміром  $400 \times 500 \times 4$ мм вирізані із сталевого листового прокату (сталь 08), яка є основним матеріалом для виготовлення виробів сільськогосподарського,

машинобудівного, біологічного, хімічного та іншого призначення. Як абразивний матеріал для проведення дослідження використовувався широко застосовуваний сталевий колотий дріб марки ДСК [8], який володіє достатньою стійкістю і найповніше відповідає вимогам економічності і ефективності. В експериментах приймався номер дробу 1,0 і 1,8.

Для розгону дробу до необхідної швидкості атаки використовувався дробеструменевий апарат нагнітальної дії з надлишковим тиском стиснутого повітря  $0,6\text{МПа}$ . Циліндричні сопла з високовуглецевої сталі У7 дозволяли отримувати швидкості вильоту дробинок до  $200\text{м/с}$ . Кут атаки дробеструменевим факелом оброблюваної поверхні зразків змінювався в межах від  $15^\circ$  до  $90^\circ$ .

Для знежирення поверхні зразків з низьковуглецевої сталі 08 застосовували термічну обробку в режимі нормалізаційного відпалу, який дозволив не тільки випалити продукти органічного походження, але і обезвуглеродити поверхневий шар оброблюваної поверхні і зняти в ній внутрішню напругу.

На основі результатів експериментів, отриманих за методикою [9], побудовано графічні залежності, які характеризують вплив швидкості атаки та кута атаки поверхні зразків дробинками факелу на такі технічні показники процесу ДО як: продуктивність обробки; стійкість металевих гранул (дробу); ступінь шаржування оброблюваної поверхні уламками дробу; глибина мікрорельєфу обробленої поверхні.

Зупинимося спочатку на результатах дослідження впливу швидкості атаки  $v$ , яка змінювалася у межах від  $40\text{м/с}$  до  $160\text{м/с}$ . При цьому кут атаки поверхні приймався однаковим і рівним оптимальному  $\alpha = 60^\circ$ , виходячи з наших попередніх досліджень.

Вивчаючи вплив швидкості атаки  $v$  на продуктивність дробеструменевого очищення  $Q$  за знятим об'ємом металу (рис. 1), встановлено, що із збільшенням швидкості атаки до певного значення продуктивність збільшується. При подальшому підвищенні швидкості атаки

процес стабілізується і навіть трохи сповільнюється, що можна пояснити більш інтенсивнішим розколюванням дроби при ударі. В межах зміни швидкості від  $80\text{ м/с}$  до  $160\text{ м/с}$  продуктивність змінювалася мало, що дає можливість в більш широких межах варіювати швидкістю.

Таким чином, у прийнятих межах зміни швидкості атаки отримано максимум за продуктивністю ДО, що дало змогу визначитися з оптимальною продуктивністю при заданих параметрах процесу. Дріб меншого фракційного складу дає більшу продуктивність, ніж крупніший дріб, що можна пояснити значно кращим покриттям дрібним дробом поверхні, яка очищається. Ці результати узгоджуються з даними машинобудівних заводів, де з цієї причини віддають перевагу технічному дробу номер 1,0. Поряд з цим спостерігається тенденція отримання максимальної продуктивності при менших швидкостях для меншої фракції дроби.

Швидкість атаки  $v$  є визначальною для стійкості дроби, яка (стійкість) вимірюється числом  $n$  циклів використання, протягом яких 50% дробинок втрачають свій гранулометричний склад, тобто зменшуються у геометричних розмірах. Як бачимо (рис. 2), із збільшенням швидкості атаки стійкість дроби інтенсивно зменшується. При цьому крупніший дріб зношується швидше.

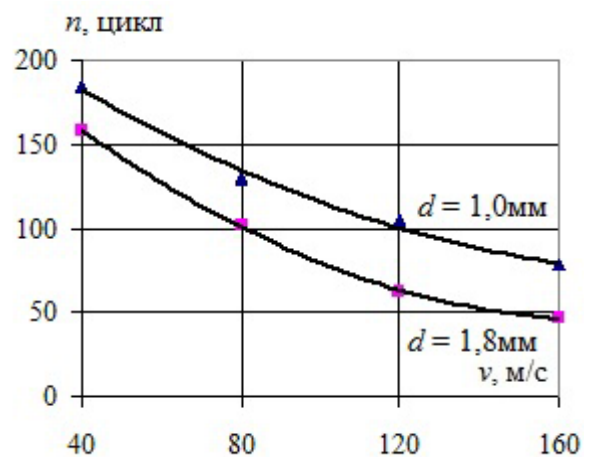
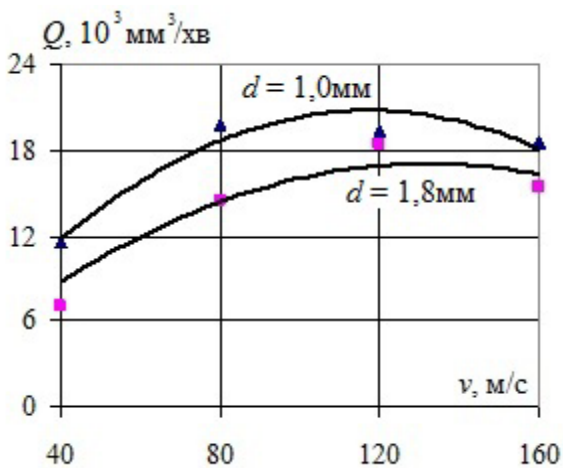


Рис. 1. Залежність продуктивності  $Q$  від швидкості атаки  $v$  для фракцій діаметра  $d$  Рис. 2. Залежності стійкості дроби  $n$  від швидкості атаки  $v$  для фракцій діаметра  $d$

Показник ступеня шаржування оброблюваної поверхні уламками дроби

$a$ , який також характеризує якість обробленої поверхні, оскільки хімічний склад матеріалу технічного дробу, як правило, відрізняється від хімічного складу оброблюваного матеріалу, що в процесі експлуатації призводить до появи точкової корозії.

Цей показник шаржування поверхні в наших експериментах зростає із збільшенням швидкості атаки  $v$  (рис. 3). Після певної швидкості атаки ( $\approx 120 \text{ м/с}$ ) ріст шаржування стабілізувався, а при діаметрі дробу  $1,8 \text{ мм}$  навіть намітився спад. Для меншої фракції дробу показник шаржування менший і межа стабілізації росту за швидкістю вища. Звичайно, що із збільшенням швидкості атаки число дробинок, що розколюються, збільшується і росте число застряглих в поверхні уламків. Але, враховуючи масову дію великої кількості дробинок на оброблювану поверхню, процес шаржування і видалення уламків стає постійним.

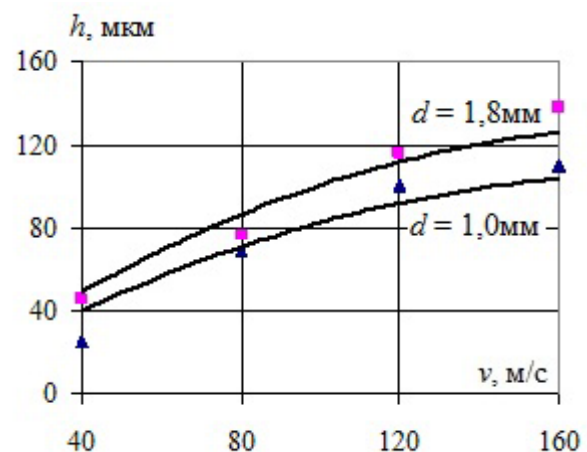
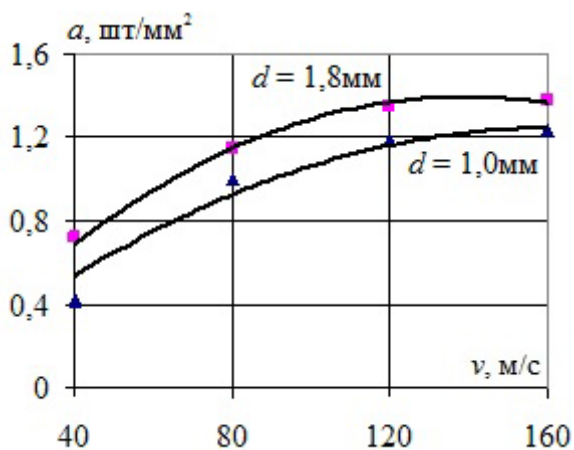


Рис. 3. Залежності ступеня шаржування  $a$  від швидкості атаки  $v$  для фракцій діаметра  $d$

Рис. 4. Залежності глибини рельєфу  $h$  від швидкості атаки  $v$  для фракцій діаметра  $d$

Одним із головних показників якості обробленої поверхні є нормована величина шорсткості, яка в експерименті може попередньо оцінюватися глибиною мікрорельєфу, тобто, середнім заглибленням  $h$  дробинок в поверхню, що обробляється. Досліджуваний характер впливу швидкості атаки  $v$  на цей параметр передбачуваний (рис. 4). Із збільшенням швидкості атаки до певної величини збільшується практично пропорційно і глибина мікрорельєфу.

Потім процес збільшення сповільнюється, що можна пояснити зростанням твердості наклепаного поверхневого шару. При зменшенні діаметру дробу глибина мікрорельєфу також зменшується.

Тепер перейдемо до оцінки впливу кута атаки на досліджуванні параметри процесу ДО, але при постійній найбільш використовуваний у ДО швидкості атаки  $v = 100 \text{ м/с}$ .

Вивчаючи вплив кута атаки  $\alpha$  на продуктивність дробеструменевого очищення  $Q$  (рис. 5), прийшли до висновку, що для експериментальних номерів технічного дробу 1,0 і 1,8 і швидкості  $v = 100 \text{ м/с}$  є явний максимум продуктивності при  $\alpha \approx 50^\circ$ , який практично не залежить від фракційного складу абразиву. Нами також експериментально встановлено і теоретично обґрунтовано, що із збільшенням швидкості атаки значення оптимального кута для досягнення максимальної продуктивності при збереженні необхідної шорсткості зменшується і навпаки.

Таким чином, оптимальний кут атаки оброблюваної поверхні змінюється у діапазоні від  $40^\circ$  до  $60^\circ$ . Зниження продуктивності обробки при кутах за встановленими межами можна пояснити значним ковзанням дробинок по оброблюваній поверхні при менших кутах і значнішим розколюванням дробинок при більших кутах.

Стійкість дробу  $n$  із збільшенням кута атаки  $\alpha$  від  $15^\circ$  до  $90^\circ$  поступово зменшується (рис. 6), оскільки зростає сила нормальної дії дробинок на оброблювану поверхню, що приводить до збільшення числа дробинок, що розколюються. В обох випадках фракційного складу дробу на графічних залежностях  $n = f(\alpha)$  спостерігається мінімум стійкості дробу  $n$  при куті атаки рівному  $\alpha \approx 75^\circ$ .

Сталевий колений дріб після термічної обробки в режимі гартування пронизаний дрібними і великими тріщинами, що, природно, збільшує ріжучу здатність дробу, але знижує її довговічність. Тому в процесі визначення оптимальних технологічних режимів, необхідно знайти збалансовану



відповідність між продуктивністю ДО, що досягається, і економічною стійкістю дробу, що визначається як швидкістю атаки, так і кутом атаки.

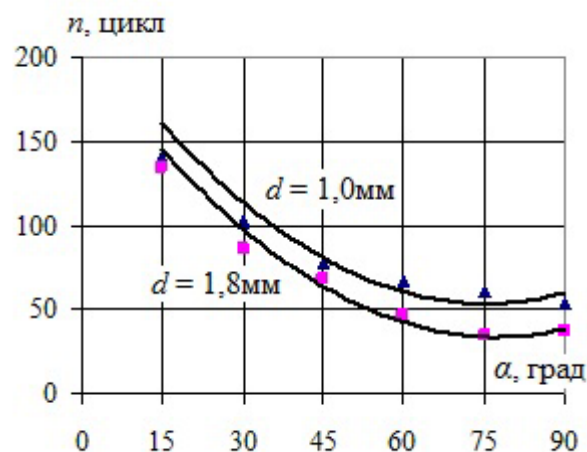
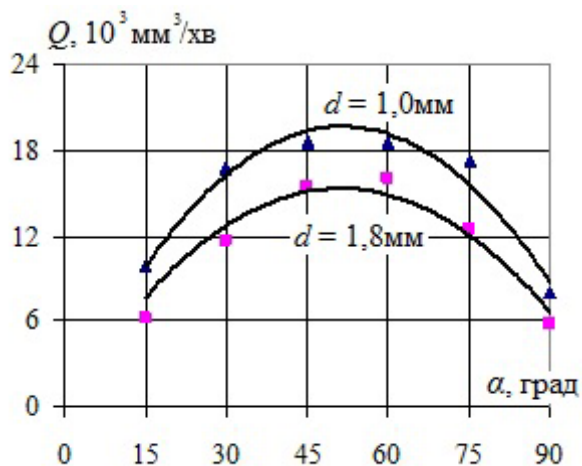


Рис. 5. Залежність продуктивності  $Q$  від кута атаки  $\alpha$  для фракцій діаметра  $d$   
 Рис. 6. Залежності стійкості дробу  $n$  від кута атаки  $\alpha$  для фракцій діаметра  $d$

На рис. 7 приведені графіки залежності показника ступеня шаржування  $a$  від кута атаки  $\alpha$  оброблюваної поверхні. Як бачимо, шаржування поверхні уламками дробу поступово збільшується із збільшенням кута атаки. Максимальне значення цього показника незалежно від діаметру дробу при заданій швидкості атаки  $100 \text{ м/с}$  досягає при  $\alpha \approx 75^\circ$  і далі при збільшенні кута атаки ступінь шаржування дещо зменшується. При зменшенні діаметру дробу максимальне значення показника шаржування дещо зменшується. Так, якщо для  $d = 1,8 \text{ мм}$  показник шаржування становить  $a \approx 1,6 \text{ шт/мм}^2$ , то для  $d = 1,0 \text{ мм}$  –  $a \approx 1,2 \text{ шт/мм}^2$ .

Шорсткість обробленої поверхні, яка в експериментах визначалася середньою глибиною  $h$  мікрорельєфу обробленої поверхні, із збільшенням кута атаки при постійній швидкості атаки  $v = 100 \text{ м/с}$  збільшується і досягає максимального значення при  $\alpha \approx 75^\circ$  (рис. 8), незалежно від діаметру дробу. Подальше збільшення кута атаки до  $90^\circ$  не сприяє зростанню глибини рельєфу. Слід відмітити відчутний вплив на параметр шорсткості поверхні діаметра атакуючого дробу. Якщо вести мову про максимальне значення глибини

рельєфу, то дріб діаметром 1,8мм створює її (глибину) рівною близько 150мкм, а дріб діаметром 1,0мм – 100мкм.

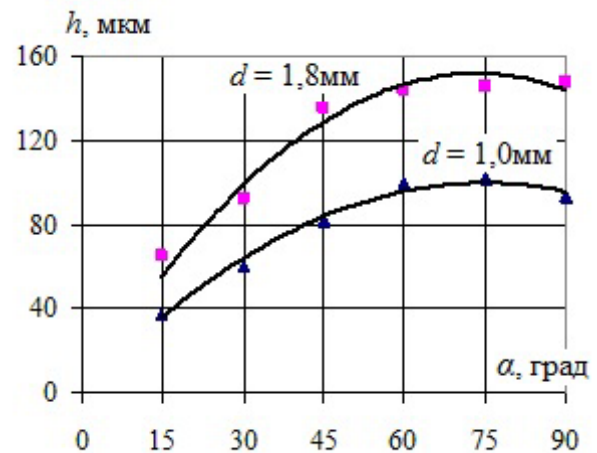
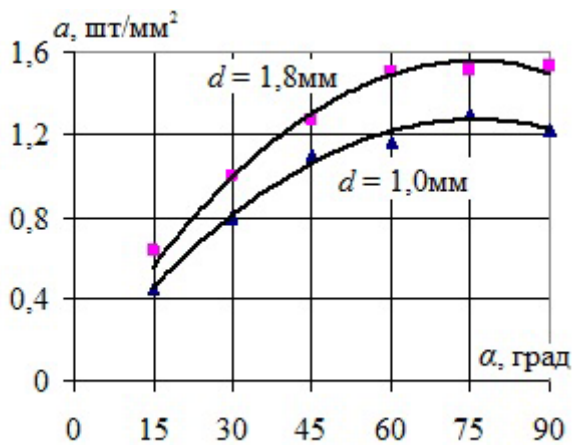


Рис. 7. Залежності ступеня зарядування  $a$  від кута атаки  $\alpha$  для фракцій діаметра  $d$

Рис. 8. Залежності глибини рельєфу  $h$  від кута атаки  $\alpha$  для фракцій діаметра  $d$

Виявилось, що найменша стійкість дробу, найбільший показник шаржування поверхні і найбільша глибина мікрорельєфу виникають при одному і тому ж куті атаки  $\alpha \approx 75^\circ$ , що цілком логічно з точки зору механіки процесу ДО і є певним критерієм достовірності експериментальних результатів.

Отримані експериментальні дані про вплив швидкості і кута атаки на технічні показники дробеструменевого очищення є підставою для призначення оптимальних технологічних режимів, підвищення керованості і автоматизації ДО і впровадження процесу у виробництво.

**Висновки.** За умови ефективної продуктивності ДО встановлено межі зміни швидкості атаки, які практично не залежать від діаметру дробу. Що стосується кута атаки оброблюваної поверхні, то оптимальне його значення для досягнення максимальної продуктивності змінюється у діапазоні від  $40^\circ$  до  $60^\circ$  залежно від швидкості атаки.

Незалежно від фракційного складу дробу характерні показники стійкості дробу (мінімум), шаржування поверхні (максимум) і глибини мікрорельєфу (максимум) виникають при однаковому куті атаки  $\alpha \approx 75^\circ$ , що цілком логічно з точки зору механіки і фізики ударної взаємодії твердої частинки з пружно-

пластичним півпростором.

Результати експериментальних досліджень щодо взаємозв'язків параметрів процесу ДО можуть бути використані при виборі оптимальних режимів процесу, а також, при апробації теоретичних моделей ударної взаємодії дробинки з пружно-пластичним півпростором.

### **Список використаних джерел**

1. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А. А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.

2. Стоцько З.А. Загальні аспекти технології обробки поверхонь струменем незв'язаних твердих тіл / З.А.Стоцько, Т.О. Стефанович // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2004. – № 515. – С. 95-100.

3. Сергеев С.В. Анализ способов отделочно-упрочняющей обработки поверхности деталей ГТД свободным абразивом / С.В. Сергеев, Т.В. Лоза, А.П. Петренко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2013. - Вып. 4. – С. 80-88.

4. Бардинова С.Н. Повышение эффективности ремонта лопаток ротора КВД/ С.Н. Бардинова // Сборник трудов XV международной научно-технической конференции, Фундаментальные проблемы техники и технологии – Технология - 2012. – Москва – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2012, С. 40 - 42.

5. Тамаркин М.А. Исследование параметров качества поверхностного слоя при обработке дробью / М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, В.Г. Лебедеенко // Вестник машиностроения. – № 2. – 2010. – С. 54-59.

6. Определение оптимальных скорости и диаметра дроби при упрочняющей дробеобработке стальных деталей / [М.М. Матлин, А.И. Мозгунова, В.О. Мосейко и др.] // Вестник машиностроения. – 2014. – № 11. – С. 62-64.

7. Шманев В.А. Струйная гидроабразивная обработка деталей ГТД / В.А.

Шманев, А.П. Шулепов, А.В. Мещеряков. – М.: Машиностроение, 1995. – 144 с.

8. Дріб сталевий та чавунний технічний. Загальні технічні умови: ДСТУ 3184-95. – [Чинний від 01.07.96]. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 34с. – (Національні стандарти України).

9. Методика визначення параметрів дробеструменевого очищення металевих поверхонь деталей машин [Електронний ресурс] / О.В. Горик, С.Б. Ковальчук, О.М. Брикун, Р.Є. Черняк // XIV-ой Международной научно-практической Интернет-конференции «Состояние современной строительной науки-2016». – Режим доступу: <http://www.beton.sytes.net>. – Назва з екрану.