

In order to ensure the proper efficiency of agricultural production, there is a need to ensure the quality of the implementation of technological operations on the basis of data of the operational monitoring of the state of agricultural land.

The technical systems of operational monitoring of the condition of agricultural lands give an opportunity to obtain operational data on the agrobiological state of the soil environment and to ensure the proper quality of the implementation of technological operations on the basis of the received data. The executive working bodies of such systems should ensure the proper quality of the implementation of the technological operation at the expense of the speed of executive bodies, due to the mechanical and constructive parameters of agricultural machines that perform technological operations.

Such a model allows to ensure the rational introduction of technological material to take into account the agrobiological state of the soil environment, while it is possible to ensure an increase in the actual yield of agricultural crops at a level of 20%.

**optimal control, limit bistrode, rate of application, technological material**

Одержано 03.07.17

**УДК 621.924.9**

**О.В. Горик, проф., д-р техн. наук, О.М. Брикун, асист.**

*Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна, E-mail: brukyn@ukr.net*

**Р.Є. Черняк, ген. дир.**

*Компанія «АвтоКрАЗ», м.Кременчук, Україна*

## **Оцінка інтенсивності абразивного руйнування металевих поверхонь дією дробоструминного факелу**

Подана експериментально-аналітична методика визначення коефіцієнту руйнування, який характеризує інтенсивність руйнівної дії дробоструминного факелу при очищенні металевих поверхонь. Значення коефіцієнта ударно-абразивного втомного руйнування оцінюється співвідношенням між експериментально визначеним об'ємом видаленого металу та експериментально визначеним або аналітично розрахованим об'ємом деформованого металу поверхні оброблюваного виробу, які (об'єми) визначаються залежно від заданих технологічних режимів процесу очищення. Знайдений коефіцієнт інтенсивності руйнування дає можливість оптимізувати технологічні режими процесу дробоструминного очищення металевих поверхонь.

**дробоструминне очищення, коефіцієнт ударно-втомного руйнування, пружно-пластичне деформування, механізм руйнування, об'єм сліду**

**А.В. Горик, проф., д-р техн. наук, А.Н. Брикун, асист.**

*Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина*

**Р.Е. Черняк, ген. дир.**

*Компания «АвтоКрАЗ», г. Кременчук, Украина*

## **Оценка интенсивности абразивного разрушения металлических поверхностей действием дробеструйного факела**

Представлена экспериментально-аналитическая методика определения коэффициента разрушения, который характеризует интенсивность разрушительного действия дробеструйного факела при очистке металлических поверхностей. Значение коэффициента ударно-абразивного усталостного

разрушения оценивается соотношением между экспериментально определенным объемом удаленного металла и экспериментально определенным или аналитически рассчитанным объемом деформированного металла поверхности обрабатываемого изделия, которые (объемы) определяются в зависимости от заданных технологических режимов процесса очистки. Найденный коэффициент интенсивности разрушения дает возможность оптимизировать технологические режимы процесса дробеструйной очистки металлических поверхностей.

**дробеструйная очистка, коэффициент ударно-усталостного разрушения, упругопластическое деформирование, механизм разрушения, объем следа**

**Постановка проблеми.** Підготовка поверхонь металевих виробів різноманітними способами характеризується руйнуванням поверхневого шару з наданням матеріалу нових надійніших експлуатаційних властивостей. Одним з найбільш поширених і найменш вивчених технологічних процесів абразивної обробки знежирених металевих поверхонь з метою видалення окалини, іржі, пригару, зварювального флюсу, а також формування рівномірної шорсткості на оброблюваній поверхні є дробострумине очищення.

Оптимізація процесів дробострумине очищення охоплює питання продуктивності, економічності обробки, якості поверхневого шару, а також експлуатаційної надійності і довговічності оброблюваних об'єктів. Вона може бути здійснена тільки на основі вивчення фізичної суті явищ, супроводжуваних процесом очищення, і встановлення основних критеріїв оцінки інтенсивності впливу дії повітряно-абразивного факелу на параметри оброблюваної поверхні, що впливають на економічність процесу обробки.

До одного із визначальних чинників слід віднести інтенсивність руйнівної дії дробострумине факелу, який можна оцінити за різними показниками, зокрема, відношенням об'єму (маси) металу, який видаляється при очищенні у вигляді стружки та частинок пластичного руйнування металу за одиницю часу до об'єму (маси) металу, що деформується в процесі очищення.

Числове визначення показників інтенсивності руйнування поверхневого шару потребує повного або часткового експериментального дослідження в умовах виробництва, що призводить до стримування чи ігнорування оптимізації режимів очищення, особливо, при незначних об'ємах партій окремих виробів. Постає проблема побудови аналітичних (експериментально-аналітичних) методик визначення продуктивності процесу очищення за заданими критеріями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість сучасних досліджень і публікацій стосовно інтенсивності руйнування поверхневих шарів металевих деталей та виробів присвячено процесу шліфування [1-3], коли оцінка продуктивності обробки визначається коефіцієнтом стружкоутворення, що характерно для жорстко закріпленого абразивного зерна. У цьому випадку механізм руйнування однозначно відомий. Процес дробострумине очищення складніший багатofакторністю впливу на механізм руйнування поверхневого шару, що стало причиною різних підходів до його описання і, як наслідок, різних методик оцінки інтенсивності руйнівної дії дробострумине факелу. Надання переваги мікрорізанню [4], втомному механізму руйнування [5-6], ударно-абразивному впливу [7] чи іншому потребує подальшого вивчення. Результати проведених нами досліджень, започаткованих у [8, 9], дають підстави зробити висновок, що при оптимальних режимах дробострумине очищення переважаючим є швидкісне ударно-втомне руйнування поверхневого шару металевих поверхонь. При цьому залишаються не достатньо висвітленими питання оцінки інтенсивності ударно-втомного руйнування поверхневого шару.

**Постановка завдання.** Дати експериментально-аналітичну кількісну оцінку

інтенсивності ударно-абразивного втомного руйнування поверхневого металевго шару при дробоструминній очистці деталей і виробів машинобудівної техніки, для оптимізації технологічних режимів.

**Виклад основного матеріалу.** Оцінювати інтенсивність руйнівної дії дробоструминного очищення можна за різними критеріями: швидкістю видалення припуску при обробці; об'ємом або масою металу, який видаляється при очищенні у вигляді стружки та частинок пластичного руйнування металу за одиницю часу; кількістю витраченої енергії на видалення поверхневого шару виробу (зразка); технологічною собівартістю очищення  $1\text{ м}^2$  металевго поверхні; стійкістю технологічного дробу та іншими параметрами.

З перерахованих техніко-економічних і технологічних показників, за допомогою яких можна оцінювати інтенсивність дробоструминого очищення, на нашу думку, більш достовірним є коефіцієнт руйнування  $k_{руйн}$ , який дозволяє зв'язати технічну характеристику сопла з продуктивністю дробоструминної очистки. По аналогії з прийнятим в технології машинобудування коефіцієнтом стружкоутворення [2], він являє собою відношення об'єму  $W_{вид}$  або маси  $M_{вид}$  видаленого при очищенні металу до об'єму  $W_{деф}$  або маси  $M_{деф}$  металу, що деформується в процесі руйнування поверхневого шару

$$k_{руйн} = W_{вид} / W_{деф} = M_{вид} / M_{деф} . \quad (1)$$

Але обчислення коефіцієнта руйнування викликає певні труднощі, особливо, при встановленні об'єму деформованого металу. Вирішити поставлене завдання можна як експериментальним шляхом на дослідних зразках, так і експериментально-аналітичним.

*Експериментальний підхід* до визначення  $k_{руйн}$  базувався на натурному дробоструминному очищенню плоских сталевих зразків на заданих технологічних режимах протягом деякого часу  $t$ . Проводились дослідження на лабораторній установці власної розробки, що має дробоструминний апарат нагнітального типу з абсолютним тиском  $0,6\text{ МПа}$ . Вивчали інтенсивність руйнування плоских дискових металевих зразків зі сталі 08сп, які піддавались нормалізаційному відпалу. В якості абразивних частинок використовували сталевий колений дріб марки ДСК-17 різного гранулометричного складу (фракції  $0.8 \dots 2.0$ ), яку розганяли до швидкості  $v = 120\text{ м/с}$  за допомогою стиснутого повітря через циліндричне сопло з діаметром матеріального отвору  $10\text{ мм}$ . Відстань від сопла до оброблюваної поверхні (довжина факела) витримували в межах  $300\text{ мм}$ , чим регулювали швидкість атаки, кут атаки змінювали в межах від  $40^\circ$  до  $65^\circ$ .

Факел дробу мав форму конуса з кутом розкриття близько  $30^\circ$  і утворював на оброблюваній поверхні зразка відбиток діаметром приблизно  $140\text{ мм}$ , який охоплював одночасно площу близько  $0,016\text{ м}^2$ .

Інтенсивність руйнування поверхневого шару (маса видаленого металу за одиницю часу) оброблюваної поверхні, яка на початку покрита тонким шаром окалини товщиною  $\delta = 0,2 \dots 0,3\text{ мм}$ , була різною для різних фракцій дробу. При цьому, в перші ( $2 \dots 4$ ) секунди обробки динаміка зміни інтенсивності була більшою, ніж в наступний період часу, особливо при обробці дробом більшої фракції. Це можна пояснити тим, що сила удару більших дробинок помітно більше сили, з якою впливають на оброблювану поверхню дрібніші дробинки з приблизно однаковою швидкістю атаки.

По закінченню часу  $t = 2 \dots 4c$ , коли крихка окалина видалена, інтенсивність руйнування істотно сповільнюється і набуває стабільного характеру. Починається руйнування не окисленого металу, що володіє значно більшими механічними властивостями, ніж окалина. Було встановлено, що коефіцієнт руйнування  $k_{руйн}$  знаходиться в межах від 0,1 для не окисленої поверхні до 0,2 для окисленої.

Зразки зважували до та після обробки і, таким чином, встановлювали втрачену (видалену) масу металу зразка за час  $t$ . За відомими методиками побудови профілограм вимірювали параметри шорсткості  $R_z$  і  $S_m$  очищеної поверхні в поздовжньому і поперечному напрямках, що дало можливість визначити розміри сліду дробинки й об'єм деформованого металу.

Сліди дробинки на обробленій поверхні, як свідчать проведені дослідження, подібні сферичним дещо подовженим лункам з діаметром (шириною) відбитка  $d_{від} \approx S_m$  і глибиною  $h_{сл} = R_z$ . Розрахувавши середній об'єм лунки сліду  $w_{сл}$  визначали об'єм деформованого металу в процесі очищення за формулою:

$$W_{деф} = Ntw_{сл} = (Q_c / m_{др})tw_{сл}, \quad (2)$$

де  $N$  – подача дробинки через сопло  $шт/хв$ ;

$t$  – час очистки,  $хв$ ;

$Q_c$  – масова подача дробу через сопло,  $кг/хв$ ;

$m_{др}$  – маса однієї дробинки,  $кг$ .

При необхідності множенням об'єму  $W$  металу на щільність  $\rho_m$  металу, можна оперувати масою  $M$  видаленого і деформованого матеріалу.

Однак, при розробці технологічних процесів дробоструминного очищення в виробничих умовах не завжди є можливість проводити повні експериментальні дослідження, пов'язані з визначенням об'єму деформованого металу. У зв'язку з цим запропоновано методику аналітичного підходу до розв'язання технологіями цієї задачі в умовах заводської лабораторії.

*Аналітичний підхід* до визначення об'єму деформованого металу при встановленні коефіцієнта  $k_{руйн}$  базувався на теоретичному визначенні об'єму сліду (лунки), яку залишала атакуюча дробинка на металевій поверхні й яка пов'язувалася з об'ємом деформованого металу.

В основу такої методики покладено пружно-пластичну модель взаємодії атакуючої дробинки з металевим півпростором [9]. За цією моделлю максимальна глибина проникнення  $h_{сл}$ , дробинки діаметром  $d_{др}$  в пружно-пластичний півпростір пропорційна нормальній складовій швидкості атаки  $v_{0n}$  і визначається за формулою:

$$h_{сл} = v_{0n} / \sqrt{k/m_{др}}. \quad (3)$$

Пружно-пластичний коефіцієнт  $k$  у (3) залежить від фізико-механічних властивостей півпростору і характеризує інтенсивність його опору пружно-пластичній деформації при нормальному динамічному проникненні дробинки як жорсткого сферичного тіла.

На підставі експериментально-аналітичних досліджень для коефіцієнта  $k$  було отримано такий вираз:

$$k \approx \frac{\pi \eta_o HD_{nl}}{d_{op}} \left( d - \sqrt{2T_0 / (\pi d \eta_o HD_{nl})} \right)^2, \quad (4)$$

де  $\eta_o = 2,0 \dots 2,4$  – динамічний коефіцієнт, який залежить від швидкості зіткнення тіл;

$HD_{nl}$  – пластична твердість;

$T_0 = m_{op} v_{0n}^2 / 2$  – кінетична енергія дробинки масою  $m_{op}$  і швидкістю атаки  $v_{0n}$  в початковий момент часу.

Об'єм сліду, зважаючи на його форму, при відомій глибині  $h_{cl}$  визначали як суму об'єму сферичного сегмента  $w_{c.c} = \pi h_{cl}^2 (1,5d_{op} - h_{cl}) / 3 \approx 0,5\pi d_{op} h_{cl}^2$  (нормальне) та циліндричного (тангенціальне переміщення)  $w_{u.c} = 1,33h_{cl} x \sqrt{d_{op} h_{cl} - h_{cl}^2} \approx 1,33x \sqrt{d_{op} h_{cl}^3}$ .

Довжина  $x$  умовного циліндричного сегменту сліду, що входить до останньої формули, визначається значенням тангенціального переміщення атакуючої дробинки тільки на першій активній фазі за формулою:

$$x = \sqrt{m_{op} / k} (0,5\pi v_{0\tau} + \mu_s v_{0n} (1 - 0,5\pi)), \quad (5)$$

де  $v_{0n}$  і  $v_{0\tau}$  – нормальна і тангенціальна складові швидкості атаки;

$\mu_s$  – приведений коефіцієнт тертя при пластичному деформуванні поверхні, що обробляється.

Таким чином, об'єм залишеного дробинкою на оброблюваній поверхні сліду у вигляді подовженого сферичного сегмента, визначали так:

$$w_{cl} = w_{c.c} + w_{u.c} = \pi h_{cl}^2 (1,5d_{op} - h_{cl}) / 3 + 1,33h_{cl} x \sqrt{d_{op} h_{cl} - h_{cl}^2}. \quad (6)$$

Від усередненого об'єму сліду (6) переходили до об'єму деформованого металу й далі до шуканого коефіцієнту інтенсивності руйнування (1) при експериментально встановленому об'єму видаленого металу.

Об'єм сліду, залишеного дробинкою на оброблюваній металевій поверхні, визначений за (6) гарно погоджується з експериментальними значеннями і об'ємами, визначеними за іншими методиками, зокрема, [10].

Тут слід відмітити, що тангенціальне переміщення центру дробинки (5) при оптимальних кутах атаки  $\alpha > 40^\circ$  і швидкостях атаки  $v > 100 \text{ м/с}$  [11] незначне в порівнянні з умовним діаметром (повною довжиною відбитку сліду). Окрім цього, відповідно до пружно-пластичної моделі [9], для даних технологічних режимів дробоструминної очистки, утворення сліду у вигляді лунки переміщенням дробу в тангенціальному напрямку поглинається утворенням сферичної форми лунки нормальним переміщенням (рис. 1).

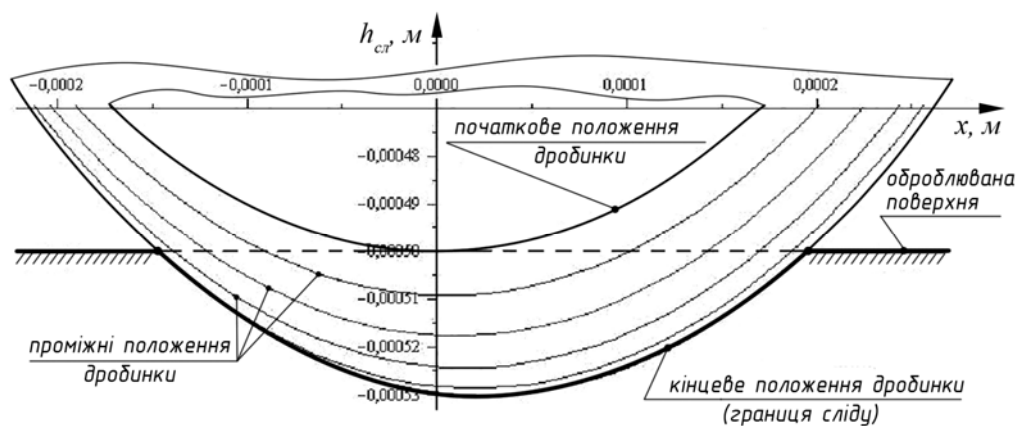


Рисунок 1 – Зміна форми лунки сліду, що залишає дробинка на оброблюваній поверхні

Із рисунка видно, що кінцеве положення дробинки діаметром 1мм, атакуючу поверхню зі швидкістю 120м/с під кутом 60°, перекидає всі попередні, що спостерігається й при менших кутах атаки. Тому при визначенні об'єму сліду тангенціальним зміщенням дробинки при атаці нею поверхні під кутом  $\alpha > 40^\circ$ , фактично, можна нехтувати, використовуючи у (6) тільки перший доданок. Це дає можливість при визначенні об'єму сферичної лунки сліду оперувати тільки глибиною проникнення дробинки по нормалі (3), сконцентрувавши увагу на параметрі шорсткості поверхні  $R_z \approx h_{сл}$ , що легко зробити в заводських умовах.

**Висновки.** Викладена методика дає можливість технологічним службам машинобудівних заводів з достатньою для практичних цілей точністю розраховувати експериментально-аналітичним методом величину коефіцієнта інтенсивності ударно-абразивного втомного руйнування поверхневого шару металевих виробів при їх дробоструминному очищенні. Експериментальні значення коефіцієнта руйнування при швидкості атаки дробинками поверхні  $v = 100 \dots 120 \text{ м/с}$  і куті атаки  $\alpha = 55^\circ \dots 65^\circ$  змінювалися від 0,2 для окисленої поверхні (з окалиною) до 0,1 для не окисленої (кінцевий етап очистки).

Отримані результати дозволяють оптимізувати технологічні режими дробоструминного очищення металевих поверхонь при нескладних аналітичних розрахунках і необ'ємних експериментальних дослідженнях в умовах виробництва.

## Список літератури

1. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов [Текст] / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
2. Вульф, А.М. Резание металлов [Текст] / А.М. Вульф. – Л.: Наука, 1973. – 496 с.
3. Лурье, Г.Б. Шлифование металлов [Текст] / Г.Б. Лурье. – Л.: Наука, 1977. – 224 с.
4. Богомолов, Н.И. Исследование деформации металла при абразивных процессах под действием единичного зерна [Текст] / Н.И. Богомолов // Труды ВНИИАШ. –Л.: Машиностроение. –1968. – №7. – С.74–88.
5. Клейс, И.А. О некоторых закономерностях ударного износа [Текст] / И.А. Клейс // «Вестник машиностроения». – 1967. – №8. – С.52–54.
6. Непомнящий, Е.Ф. Трение и износ под воздействием струн твердых сферических частиц [Текст] / Е.Ф. Непомнящий // Сб. Контактное взаимодействие твердых тел и расчет сил трения и износа. –М.: Наука, 1971. – С.190–200.
7. Виноградов, В.Н. Изнашивание при ударе [Текст] / В.Н.Виноградов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.

8. Горик, А.В. Механизм разрушения поверхностного слоя металлических изделий при дробеструйной очистке [Текст] / А.В. Горик, А.Н. Чернявский, А.А. Ландарь, Г.А. Шулянский // Сб. докладов «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов». – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2012. – С. 17-22.
9. Gorik, A. V. Elastoplastic deformation of the surface layer of machinery constructions on shot blasting [Text]/ A. V. Gorik, A. P. Zinkovskii, R. E. Chernyak, A. N. Brikun // Strength of Materials. – 2016. – Vol. 48, №. 5. – PP. 650–657.
10. Новіков, Ф.В. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія [Текст] / Ф.В. Новіков, О.О. Анділахай. – Х.: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 348 с.
11. Горик, А.В. Оптимизация угла атаки дробеструйного факела при очистке металлических поверхностей [Текст] / А.В. Горик, С.Б. Ковальчук, С.В. Яхин // Динаміка та міцність енергетичних і сільськогосподарських машин та біотехнічних систем (колективна монографія). – Полтава: Сімон, 2015. – С. 77-84.

**Alexiy Goryk, Olexander Brykun**

*Poltava state agrarian academy, Poltava, Ukraine*

**Roman Chernyak**

*The company «AvtoKrAZ», Kremenchuk, Ukraine*

### **Estimation of the intensity metal surfaces destruction by the shot blasting torch action**

The article deals with experimental-analytical quantitative estimate of the intensity shock-abrasive fatigue fracture on a surface metal layer during drain-flow cleaning of machine-building equipment products and their parts, for optimization of technological regimes.

It shown that the fracture coefficient characterizes the destructive effect intensity of a shot blasting torch during the cleaning of metal surfaces The value of the shock-abrasive fatigue fracture coefficient is estimated by the ratio between the experimentally determined volume of the removed metal and the experimentally determined or analytically calculated volume of the deformed metal on the workpiece surface, which (volumes) are determined depending on the specified technological regimes of the purification process.

The presented methodology described allows the technological services of machine-building plants to calculate the value of the fracture intensity coefficient of the surface layer on the tested samples by the experimental-analytical method. The coefficient varied from 0,1 to 0,2.

**shot blasting, coefficient of impact fatigue failure, elasto-plastic deformation, fracture mechanism, trace volume**

Одержано 10.11.17.

**УДК 631.316**

**А.А. Дудніков, проф., канд. техн. наук, І.А. Дудніков, доц., канд. техн. наук, В.В. Дудник, канд. техн. наук, О.В. Горбенко, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Лапенко, доц., канд. техн. наук**

*Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна,*

*E-mail: anat\_dudnikov@ukr.net*

## **Підвищення довговічності ґрунтообробних робочих органів**

Проаналізована математична модель прогнозування довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з метою вибору ефективного методу їх відновлення.

**наплавлення, відновлення, сила тертя, технологічний процес, довговічність, ріжучий елемент, математична модель**

© А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, В.В. Дудник, О.В. Горбенко, Т.Г. Лапенко, 2017