

УДК 621.924.9

ІНТЕНСИВНІСТЬ РУЙНІВНОЇ ДІЇ ДРОБОСТРУМИННОГО ФАКЕЛУ ПРИ ОЧИЩЕННІ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ.

Повідомлення 1. Експериментальна оцінка

О.В. Горик, д.т.н., професор, завідуючий кафедрою

О.М. Брикун, асистент

Полтавська державна аграрна академія

Дробоструминне очищення металевих виробів характеризується руйнуванням їх поверхневого шару, в результаті чого утворюється нова поверхня, вільна від будь-якого роду окисних і механічних забруднень з необхідними параметрами шорсткості [1, 2]. Оцінювати інтенсивність руйнівної дії дробоструминного абразивного факелу при очищенні металевих поверхонь можна за різними параметрами, наприклад: швидкістю видалення заданого припуску; об'ємом або масою металу, який видаляється у вигляді стружки чи частинок пластичного втомного руйнування за одиницю часу; кількістю витраченої енергії на видалення металу при обробці; технологічної собівартістю очищення 1 м^2 металевої поверхні; технологічною стійкістю дробу та іншими параметрами.

Видалення мікрооб'ємів металу з оброблюваної поверхні при дробоструминному очищенні відбувається як у процесі багаторазового пластичного деформування окремих мікронерівностей, що призводить до втоми матеріалу, так і в результаті мікрорізання. Переважання того чи іншого способу відділення обсягів металу, при інших приблизно рівних умовах, в більшій мірі залежить від швидкості і кута атаки абразивних частинок, гранулометричного складу, твердості і округлості дробу.

На нашу думку, найкращим техніко-економічним і технологічним показником, за допомогою якого можна оцінювати інтенсивність дробоструминного очищення металевих поверхонь, є коефіцієнт руйнування $k_{руйн}$, який дозволяє зв'язати технічну характеристику сопла з продуктивністю дробоструминної очистки при тих чи інших технологічних режимах. По аналогії з прийнятим в технології машинобудування коефіцієнтом стружкоутворення [3], він являє собою відношення об'єму $W_{вид}$ або маси $M_{вид}$ видаленого металу у вигляді частинок руйнування до об'єму $W_{деф}$ або маси $M_{деф}$ металу, що деформується в процесі обробки поверхневого шару, тобто

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

Але обчислення коефіцієнта руйнування викликає певні труднощі, особливо, при встановленні об'єму деформованого металу. Вирішити поставлене завдання можна як чисто експериментальним шляхом на дослідних зразках або пробним очищенням дослідної партії виробів в умовах виробництва, так і експериментально-аналітичним, замінивши

складну частину експерименту на аналітичне прогнозування.

При експериментальному підході до визначення коефіцієнту інтенсивності руйнування дробоструминному очищенню протягом деякого фіксованого часу t піддавалися звичайні плоскі зразки зі сталі 08сп, що пройшли нормалізаційний відпал. Зразки зважуються до та після очистки і, таким чином, встановлювали втрачену (видалену) масу металу $M_{\text{вид}}$ зразка за час t при заданих технологічних режимах.

У якості абразивних частинок використовували сталевий колений дріб марки ДСК-17 різного гранулометричного складу (фракції 0.8 ... 2.0), який розганяли до швидкості $v=120\text{ м/с}$ за допомогою стиснутого повітря через циліндричне сопло з діаметром матеріального отвору 10мм. Відстань від сопла до оброблюваної поверхні (довжина факела) витримували в межах 300мм, кут атаки змінювали в межах від 40° до 65° . При цьому факел дробу мав форму конуса з кутом розкриття близько 30° і утворював на оброблюваної поверхні зразка відбиток діаметром приблизно 140мм, який охоплював одночасно площу близько $0,016\text{ м}^2$.

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 $W_{\text{деф}}$. Множенням об'єму $W_{\text{деф}}$ на щільність ρ_m металу, можна перейти до маси $M_{\text{деф}}$ деформованого металу.

Сліди дробинки на обробленій поверхні, як свідчать проведені дослідження, при кутах атаки $\alpha > 40^\circ$ подібні сферичним дещо подовженим лункам з діаметром (шириною) відбитка $d_{\text{від}} \approx S_m$ і глибиною $h_{\text{сл}} = R_z$. Розрахувавши середній об'єм лунки (сліду) $w_{\text{сл}}$ визначали об'єм деформованого металу в процесі очищення за формулою:

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

де N – подача дробинки через сопло, шт/хв ; t – час очистки, хв ; Q_c – масова подача дробу через сопло, кг/хв ; $m_{\text{др}}$ – маса однієї дробинки, кг .

Інтенсивність руйнування поверхневого шару (маса вилученого металу за одиницю часу) оброблюваної поверхні, яка покрита тонким шаром окалини товщиною $\delta = 0,2 \dots 0,3\text{ мм}$, була різною для різних фракцій дробу, залежності якої представлені на рис. 1 у вигляді апроксимованих прямих. При цьому в перші (2...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 дробинки помітно більше сили, з якою впливають на оброблювану поверхню дрібніші дробинки з приблизно однаковою швидкістю атаки.

По закінченні часу $t = (2 \dots 4)\text{ с}$, 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.

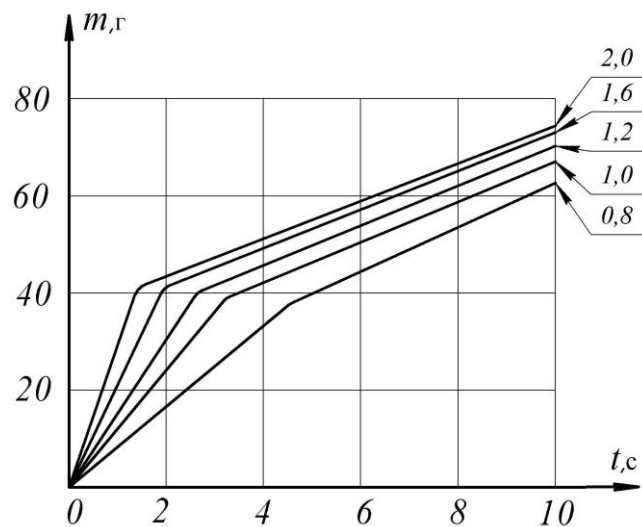


Рис. 1 – Залежність маси видаленого металу від тривалості обробки дробом різних фракцій

В ході проведення експериментальних досліджень при обраних варіативних технологічних режимах було встановлено, що вільні абразивні дробинки (гранули) роблять різну ударну дію на оброблювану поверхню, а між обсягом видаленого металу і обсягом деформованого існує пропорційна залежність, яка характеризує механізм пружного деформування і руйнування поверхневого шару. Значення коефіцієнту інтенсивності руйнування $k_{руйн}$ коливалося від 0,2 для окисленої поверхні (з окалиною) до 0,1 для не окисленої (кінцевий етап очистки).

Викладена методика дає можливість технологічним службам машинобудівних заводів з достатньою для практичних цілей точністю розраховувати експериментальним методом величину коефіцієнту інтенсивності руйнування поверхневого шару металевих виробів при їх дробоструминному очищенні, що дозволяє оптимізувати технологічні режими процесу очищення металевих поверхонь в умовах виробництва

Список використаних джерел

1. Gorik A. V. Elastoplastic deformation of the surface layer of machinery constructions on shot blasting / A. V. Gorik, A. P. Zinkovskii, R. E. Chernyak, A. N. Brikun // Strength of Materials. – 2016. – Vol. 48, №. 5. – PP. 650–657.
2. Новіков Ф.В. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія / Ф.В. Новіков, О.О. Анділахай. – Х.: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 348 с.
3. Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – Л.: Наука, 1977. – 224 с.

УДК 621.924.9

ІНТЕНСИВНІСТЬ РУЙНІВНОЇ ДІЇ ДРОБОСТРУМИННОГО ФАКЕЛУ ПРИ ОЧИЩЕННІ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ.

Повідомлення 2. Експериментально-аналітична оцінка

*О.В. Горик, д.т.н., професор, завідуючий кафедрою
О.М. Брикун, асистент (Полтавська державна аграрна академія)
Черняк Р.Є, генеральний директор (Компанія «АвтоКрАЗ»)*

Короткі відомості стосовно руйнівної дії дробоструминного факелу при очищенні металевих поверхонь наведені у повідомленні 1. «Експериментальна оцінка», де подано експериментальний метод встановлення в умовах виробництва коефіцієнту інтенсивності руйнування поверхневого шару оброблюваних виробів.

Однак при оптимізації технологічних процесів дробоструминного очищення в умовах виробництва, не завжди доцільно і можливо проводити експериментальні дослідження, особливо які пов'язані з визначенням об'єму деформованого металу. У зв'язку з цим, пропонуємо методику експериментально-аналітичної оцінки інтенсивності руйнування, коли об'єм $W_{вид}$ видаленого металу визначається експериментальним шляхом, а об'єм $W_{деф}$ металу, що деформується, аналітичним шляхом. У запропонованій методиці об'єм деформованого металу пов'язується з аналітично визначеним об'ємом лунки сліду, який залишає атакуюча дробинка на металевій поверхні. Для цього необхідно встановити його параметри: глибину $h_{сл}$, ширину b та довжину l .

Поставивши силу дії дробинки в залежність від динамічної твердості, на підставі теорії динамічного удару, отримана формула максимального значення глибини $h_{сл}$ проникнення абразивної частинки діаметром $d_{оп}$ в оброблювану поверхню у вигляді

$$h_{сл} = v_n \sqrt{m_{оп}(1 - k_e^2)(1 - \eta) / H_\delta \pi d_{оп}}, \quad (1)$$

де $v_n = v \sin \alpha$ – нормальна складова швидкості атаки v під кутом α ; k_e – коефіцієнт відновлення швидкості; η – коефіцієнт, що враховує втрати кінетичної енергії атакуючої дробинки на внутрішнє тертя в металі; H_δ – динамічна твердість оброблюваного металу.

При незмінному гранулометричному складі технічного дроби, глибина заглиблення дробинки буде пропорційна нормальній складовій швидкості атаки. У зоні контактування проходить зміна фізико-механічного стану металу, що відображається на значеннях k_e і η , а також на динамічній твердості H_δ оброблюваного металу.

Установлено [1], що для металів за деяких умов коефіцієнт відновлення швидкості змінюється за такою залежністю: $k_e = 1 - \alpha v$

($\alpha = 0,08 \dots 0,32 \text{ c/m}$ – коефіцієнт пропорційності) при вихідній швидкості атаки $v_0 \leq 3,5 \text{ м/с}$. Однак така формула не може бути застосована для швидкостей атаки $v \geq 80 \text{ м/с}$, які є звичайними для дробоструминного очищення сталевих виробів. Для таких швидкостей атаки коефіцієнт відновлення можна визначити за такою залежністю:

$$k_e = k_{e0} (v_{zp} - v) / (v_{zp} - v_0), \quad (2)$$

де k_{e0} – коефіцієнт відновлення при швидкості удару v_0 , який наводять у технічних довідниках; v_{zp} – деяка гранична швидкість атакуючого тіла, при якій коефіцієнт відновлення приймає нульове значення; k_e – коефіцієнт відновлення при поточній швидкості удару v .

Беручи функціональну залежність $\eta = f(v)$ пропорційною, поточні значення коефіцієнта втрат η на внутрішнє тертя при дробоструминному очищенні, що входить до (1), можна визначити за такою формулою:

$$\eta = \eta_0 + (v - v_{вих}) (1 - \eta_0) / (v_{zp} - v_{вих}), \quad (3)$$

де $\eta_0 \approx 0,8$ – коефіцієнт втрат при початковій швидкості атаки $v_{вих} = (80 \dots 100) \text{ м/с}$; v_{zp} – деяка гранична швидкість атаки, при якій вся кінетична енергія атакуючої дробинки йде на нагрівання місця контакту з оброблюваною поверхнею.

Безумовно, динамічна твердість H_δ є основним технічним показником, який характеризує поведінку поверхневого шару металевого виробу в процесі ударного навантаження атакуючими дробинками оброблюваної поверхні. Під динамічною твердістю металу слід розуміти здатність чинити опір проникненню в нього стороннього тіла (дробинки). Обґрунтування динамічної твердості металу поверхневого шару залежно від режимів дробоструминної дії задача не проста і потребує окремого розгляду. Тут зупинимося на спрощеному підході до визначення динамічної твердості H_δ в умовах заводських досліджень. Так, формула (1) передбачає рівність

$$H_\delta \approx 0,5 c_n \sigma_s / \sqrt{1 + \mu^2}, \quad (4)$$

де $c_n \leq 8$ – коефіцієнт, що враховує підвищення несучої здатності оброблюваної поверхні за рахунок наявності наклепу залежно від енергії атакуючих дробин, який за певних умов може досягати й більшого значення; σ_s – межа текучості оброблюваного металу при динамічній дії; μ – коефіцієнт тертя ковзання контактуючих поверхонь.

Зважаючи на малість величини $\sqrt{1 + \mu^2}$ порівняно з одиницею прогнозувати динамічну твердість поверхневого шару при визначенні глибини лунки сліду (1) можна за виразом $H_\delta \approx 0,5 c_n \sigma_s$, звернувши увагу на обґрунтування можливих меж зміни значень коефіцієнта c_n та межі текучості σ_s .

Ширина сліду дорівнює діаметру сферичної лунки глибиною h_{cl} . А ось для визначення довжини сліду необхідно дослідити процес утворення лунки. Тут слід відмітити, що тангенціальне переміщення центру дробинки при оптимальних кутах атаки $\alpha > 40^\circ$ і швидкостях атаки $v > 100 \text{ м/с}$ [2] незначне в порівнянні з умовним діаметром (повною довжиною відбитку сліду). Окрім цього, відповідно до пружно-пластичної моделі [3], для даних технологічних режимів дробоструминної очистки, утворення сліду у вигляді лунки переміщенням дробу в тангенціальному напрямку поглинається утворенням сферичної форми лунки нормальним переміщенням. Це дає можливість при визначенні об'єму сферичної лунки сліду оперувати тільки глибиною проникнення дробинки по нормалі

$$w_{cl} = \pi h_{cl}^2 (1,5d_{op} - h_{cl}) / 3, \quad (5)$$

сконцентрувавши увагу на параметрі шорсткості поверхні $R_z \approx h_{cl}$, що легко зробити в заводських умовах.

Від усередненого об'єму сліду (5), переходимо до об'єму деформованого металу $W_{оef}$ [формула 2, повідомлення 1] й далі до шуканого коефіцієнту інтенсивності руйнування $k_{руйн} = W_{вид} / W_{оef}$ при експериментально встановленому об'єму видаленого металу $W_{вид}$.

Геометрія сліду, залишеного дробинкою на оброблюваній металевій поверхні, визначені аналітично гарно погоджуються з експериментальними значеннями [повідомлення 1].

Викладена методика дає можливість технологічним службам машинобудівних заводів з достатньою для практики точністю розраховувати експериментально-аналітичним методом коефіцієнт інтенсивності руйнування поверхневого шару металевих виробів при їх дробоструминному очищенні, скоротивши експериментальні дослідження по визначенню об'єму деформованого металу.

Список використаних джерел

1. Гольдсмит В. Теоретические и физические свойства соударяемых тел. – М.: Стройиздат, 1965. – 448 с.
2. Горик А.В. Оптимизация угла атаки дробеструйного факела при очистке металлических поверхностей / А.В. Горик, С.Б. Ковальчук, С.В. Яхин // Динаміка та міцність енергетичних і сільськогосподарських машин та біотехнічних систем. – Полтава: Сімон. – 2015. – С. 77-84.
3. Gorik A. V. Elastoplastic deformation of the surface layer of machinery constructions on shot blasting / A. V. Gorik, A. P. Zinkovskii, R. E. Chernyak, A. N. Brikun // Strength of Materials. – 2016. – Vol. 48, №. 5. – PP. 650–657.