

# РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-4(30)-7-13

УДК 621.923

**Олександр Пилипенко<sup>1</sup>, Володимир Ночвай<sup>2</sup>,  
Роман Симон<sup>3</sup>, Володимир Погорильчук<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації  
Черкаський державний технологічний університет (Черкаси, Україна)

E-mail: [chura.pilipenko255@ukr.net](mailto:chura.pilipenko255@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-0385>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри механічної інженерії

Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)

E-mail: [nochvajvm@ztu.edu.ua](mailto:nochvajvm@ztu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3742-0837>

<sup>3</sup>аспірант кафедри механічної інженерії

Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)

E-mail: [romansymon@ztu.edu.ua](mailto:romansymon@ztu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4965-2603>

<sup>4</sup>аспірант кафедри механічної інженерії

Державний університет «Житомирська політехніка» (Житомир, Україна)

E-mail: [vovan479dd@gmail.com](mailto:vovan479dd@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3559-2814>

## ПІДВИЩЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ПОКРИТТІВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ШЛІФУВАННІ

Газотермічне напилення покриттів є одним з ефективних методів відновлення та зміцнення деталей машин. Однією з причин появи макродефектів при механічній обробці у вигляді мікротріщин і припалів, а при експлуатації деталей – у вигляді відшаруванні покриттів, є недостатня адгезійна міцність та значні залишкові напруження. Взаємодія адгезійної міцності та залишкових внутрішніх напружень визначає працездатність покриття. Ефективним методом зменшення залишкових внутрішніх напружень у покриттях є дія ультразвукових коливань. Заміна статичного шліфування на вібраційне суттєво збільшує (на 15-20 %) адгезійну міцність.

**Ключові слова:** активація; газотермічне покриття; макродефект; мікротріщина; залишкові внутрішні напруження.  
Табл.: 1. Рис.: 2. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** Існує багато різних технологічних методів відновлення спрацьованих деталей. Одним з ефективних методів відновлення та зміцнення деталей машин є газотермічне напилення. Забезпечення достатньої адгезійної міцності газотермічних покриттів та недопущення залишкових напружень, які приводять до появи макродефектів при механічній обробці у вигляді мікротріщин (МТ) і припалів, є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Одним з ефективних методів відновлення та зміцнення деталей машин є газотермічне напилення самофлюсуючих, керамічних та інших порошкових матеріалів. Методи газотермічного напилення мають спільний принцип формування з окремих часток порошку, нагрітих і прискорених за допомогою високотемпературного струменя. Структура покриття має шаруватий вигляд і утворена окремими дискретними частками з чіткими границями розділу. Температурно-кінематична характеристика струменя зумовлює основні експлуатаційні параметри напиленого покриття (див. табл.) [1].

Таблиця – Характеристика методів газотермічного напилення

№ п/п	Тип газотермічного покриття	Температура струменя, °С	Швидкість витікання газу, м/с	Швидкість польоту часток, м/с	Адгезія МПа	Поруваність, %	Коефіцієнт використання порошку, %
1.	Газополуменеве	3000-3200	150-160	20-80	5-25	2-25	2-12
2.	Плазмодугове	5000-5500	1000-1500	50-200	10-50	2-15	0,5-0,7
3.	Детонаційно-газове	2200-5500	2000-4000	600-1000	10-160	0,5-1	1,2-2,8

Нестабільність структури та фізико-механічних властивостей покриттів, а також недостатня адгезійна міцність (у 8-10 разів менша міцності гомогенних матеріалів аналогічного хімічного складу) та значні залишкові напруження приводять до появи макродефектів при механічній обробці у вигляді мікротріщин і припалів, а при експлуатації деталей – у вигляді відшаруванні покриттів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перед нанесенням покриття на деталь виконують активацію і формують шорсткість поверхні [2]. Для активації використовуються різні методи: дробо- або піскоструменеву обробку, напилення підшару, формування «рваної» різи. Всі вони мають різну результативність. Так, основним недоліком дробо- або піскоструменевої обробки є залишки в порах частинок металу, окислів, піску. Профіль мікрорельєфу поверхні має вершини з закругленою формою і невеликою (40-50 мкм) висотою. Максимальна адгезійна міцність покриття після піско- або дробоструменевої обробки становить 20 - 30 МПа. Напилення підшару матеріалу, наприклад молібдену, що має достатній кут змочування основного матеріалу, дозволяє не проводити попередню механічну підготовку. Хороші результати як підшар показали нікельалюмінієві сплави ПН70Ю30, ПН85Ю15 [1] та інші, що забезпечують адгезійну міцність 35-50 МПа. Для керамічних покриттів доцільно використовувати як підшар нікельтитановий сплав ПН55Т45. Суттєвим недоліком цього методу є зменшення втомної міцності покриття на 20-30 %.

Нанесення на поверхню основного матеріалу «рваної» різи дозволяє отримати високу активацію поверхні з висотою мікрорельєфу 120-250 мкм. Адгезійна міцність при такій активації поверхні досягає 100-120 МПа, але нерівності «рваної» різи підвищують радіальне биття деталі з покриттям.

Висока результативність активації поверхні основного матеріалу забезпечується, розробленим в Українській академії друкарства, принципово новим методом [3]. Сутність методу полягає у формуванні мікрорельєфу поверхні голкофрезою з накладанням вібрацій. Виступи і кратери різної висоти, що утворюються таким методом, дозволяють забезпечити високу активацію поверхні й адгезійну міцність покриття після напилення 90-120 МПа.

Аналіз методів активації поверхні деталі перед напиленням показує, що основними чинниками, які впливають на адгезійну й когезійну міцність, є:

- неповне з'єднання частинок, що формують покриття між собою та підвищений вміст оксидів у вигляді оболонок частинок, пор та домішок, що не проплавились;
- структура покриття, що обумовлюється фазовими перетвореннями з великою часткою аморфної фази, як результат взаємодії струменя транспортуючого газу з перегрітим розплавом часток;
- залишкові внутрішні напруження (ЗН) покриття.

З відомих теорій, що пояснюють адгезію плівок та покриттів [4], найбільше заслуговує увагу, щодо газотермічних покриттів, мікрореологічна теорія. Адже формування цього типу покриттів здійснюється при нанесенні розплавлених частинок, які при охолодженні перетворюються у тверду фазу з попереднім заповненням виїмок шорсткої поверхні, що збільшує фактичну площу контакту.

Взаємодія адгезійної міцності та залишкових внутрішніх напружень визначає, в кінцевому підсумку, працездатність покриття. ЗН виникають через зіступання при охолодженні напилених частинок. Коефіцієнт зіступання визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{(V_1 - V_2)}{V_2} \cdot 100,$$

- де  $V_1$  – об'єм розплавленої частинки в момент її контакту з поверхнею деталі;  
 $V_2$  – об'єм частинки після охолодження.

Зіступання самофлюсуючих покриттів на основі Ni-Cr-B-Si (ПГ-CP2, ПГ-CP3, ПГ-CP4, СНГН) становить -2,1 %, а керамічних покриттів на основі  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$  та ін. – 0,9 % [5]. Цей параметр має декілька компонентів: зіступання, що визначається термічним процесом –  $K_3^T$ ; зіступання що визначається кристалізацією та фрагментацією часток –  $K_3^\Phi$ ; від’ємне зіступання, що визначається релаксаційними процесами –  $K_3^P$ . Таким чином, формула для визначення ЗН буде мати такий вигляд:

$$\sigma_{\text{вн.}} = \frac{E_y(K_3^T + K_3^\Phi - K_3^P)}{(1 - \mu)}, \quad (1)$$

де  $E_y$  – уніфікований модуль Юнга для гетерогенної системи покриття, Па;  
 $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Енергію, що обумовлює появу ЗН можна визначити за формулою:

$$W_{\text{вн.}} = \left( \frac{\sigma_{\text{вн.}}^2}{2E_y} \right) Sh,$$

де  $S$  – площа контакту з урахуванням виїмок поверхні,  $m^2$ ;  $h$  – товщина покриття, м.

Прирівняння роботи адгезії і енергії, що чинить опір адгезійній взаємодії, дає можливість визначити мінімальну товщину працездатного шару покриття.

$$h_{\text{min}} = \left( \frac{4\sigma_{\text{пн}}}{\sigma_{\text{вн}}^2} \right) E_y,$$

де  $\sigma_{\text{пн}}$  – напруження поверхневого натягіння покриття, Па.

Зі збільшенням ЗН спостерігається зменшення адгезійної міцності. Одним з ефективних методів зменшення ЗН у покриттях є дія УЗ-коливань [6], Застосування інших методів зменшення ЗН є неефективним або недоцільним. Так, введення в склад порошку для напилення різних пластифікаторів погіршує фізико-механічні властивості покриття, або пластифікатор взагалі вигорає у високотемпературному струмені. Використання багат шарових покриттів з метою взаємокомпенсації ЗН не завжди є економічно доцільним. Релаксація ЗН, з відповідним збільшенням  $K_3^P$  під дією УЗ-коливань, здійснюється під впливом декількох механізмів загальної схеми ультразвукового шліфування. Розглянемо деякі з них.

Робота різання одиночним абразивним зерном витрачається на пластичну деформацію зрізаної мікроструктури й на зовнішнє тертя на його гранях. УЗ-коливання впливають на обидві складові роботи різання:

- прискорюється швидкість руху дислокацій та їх утворення (ефект Франка-Ріда);
- здійснюється періодичний поворот векторів сил тертя на гранях абразивного зерна.

Періодична зміна напружень та інтенсифікація кінетики дислокацій забезпечують умови пластичної деформації при більш низьких напруженнях та зменшують абсолютне значення ЗН. Фізична природа цього явища може пояснюватись одним з таких механізмів дислокаційного поглинання: резонансним, амплітудозалежним гістерезом, дислокаційною релаксацією. Детальний аналіз впливу механізмів дислокаційного поглинання на напружено деформований стан покриттів розглядається в попередніх роботах автора.

Ультразвукове шліфування дозволяє також зменшити крихкість покриттів (особливо керамічних) через зміни їх фізико-механічних властивостей. Специфічність структури, гетерогенність і обмеженість товщини покриттів обумовлюють імовірність появи мікротріщин (МТ) на границі розділу з основним матеріалом. Поступове підростання технологічно спадкоємних МТ до критичної довжини  $l_{\text{кр}}$  може здійснюватися, як на етапі механічної

обробки під дією імпульсних сил різання, так і на етапі експлуатації під дією періодичного силового навантаження. Необхідно визначити ресурс експлуатації деталі до моменту досягнення МТ параметра  $l_{кр}$ , при якому відбудеться її стрибкоподібне зростання зі швидкістю 0,2-0,5 швидкості звуку й подільше відшарування покриття. Згідно з концепцією енергетичного балансу А. Гріффітса можна визначити критичне напруження  $\sigma_{кр}$ , при якому відбудеться часткове або повне руйнування без додаткової роботи зовнішніх сил

$$\sigma_{кр} = \left[ \frac{2E_y v}{\pi \cdot l_{кр} (1 - \mu^2)} \right], \quad (2)$$

де  $v$  – густина поверхневої енергії, яка визначається експериментально для різних матеріалів.

За даними авторів [7]  $\sigma_{кр}$  виникають не при народженні МТ, а при досягненні нею величини  $l_{кр}$ . Перехід МТ з безпечного стану, коли її повільне зростання може продовжуватись 90 % терміну експлуатації деталі, до небезпечного, коли її збільшення є миттєвим, можливий під дією зовнішнього фактора (збільшення крихкості або ін.). Отже, змінюючи технологічними методами фізико-механічні властивості матеріалу можна зменшити  $\sigma_{кр}$  і забезпечити відповідний допуск на  $l_{кр}$ , здійснивши запас втомної міцності при змінному навантаженні. Зовнішній вплив на матеріал покриття при шліфуванні призведе до порушення енергетичного балансу

$$\delta(\Gamma + W) = 0,$$

де  $\Gamma$  – поверхнева енергія покриття;  $W$  – потенційна енергія деформації покриття після виникнення МТ.

**Метою статті** є підвищення адгезійної міцності покриттів при ультразвуковому шліфуванні.

**Виклад основного матеріалу.** Експериментальні дослідження впливу амплітуди УЗ-коливань при постійній частоті 18 кГц на адгезійну міцність проводились на плоских зразках розміром 60×40×8 мм із сталі 45 з плазмовими покриттями оптимальною товщиною 450-500 мкм, визначеною по формулі (4). Напилення зразків здійснювалось двома типами порошоків: керамічним порошком М28 ( $Al_2O_3 + 3\% TiO_2$ ) і самофлюсуючим ПГ-СР4. Загальмувати накопичення потенційної енергії деформації для утворення одиниці нової поверхні і тим самим зменшити імовірність приросту довжини МТ можна методом введення в технологічну систему примусових УЗ-коливань. Періодичне, імпульсивне навантаження на покриття з частотою 18-20 кГц і амплітудою 8-15 мкм приводить до зменшення концентрації напружень в околі пор та МТ. При цьому збільшується пластичність покриття. Механізм цього явища пояснюється збільшенням швидкості руху дислокацій (ефект Блага-Лангенеккера).

Плоске шліфування здійснювалось алмазним кругом АС-20-100/80-М1-01-100 % т на таких постійних режимах різання:  $V_{кр} = 24$  м/с;  $S_{поп} = 1,2$  мм/дв.хід;  $S_{поз.} = 5,5$  м/хв  $t = 0,02$  мм. Використовувалась мастильно-охолоджувальна рідина типу ОСМ-1. УЗ-коливання здійснювались електрострикційним приводом, на якому встановлювались зразки. Адгезійна міцність визначалась методом відриву конічного штифта, а розрахунки проводились за формулою:

$$\sigma_{ад} = \frac{P_{max}}{\pi R^2 \left[ 1 - \pi h / R \sqrt{E_y h \pi / 6(1 - \mu^2) \cos \phi} \right]},$$

де  $P_{max}$  – максимальна сила відриву;

$R$  – радіус штифта;  $\phi$  – кут змочування.

Графічна залежність  $\sigma_{ад} = 1(P)$  при різних значеннях амплітуди коливань представлена на рис. 2 (шліфування керамічного покриття).

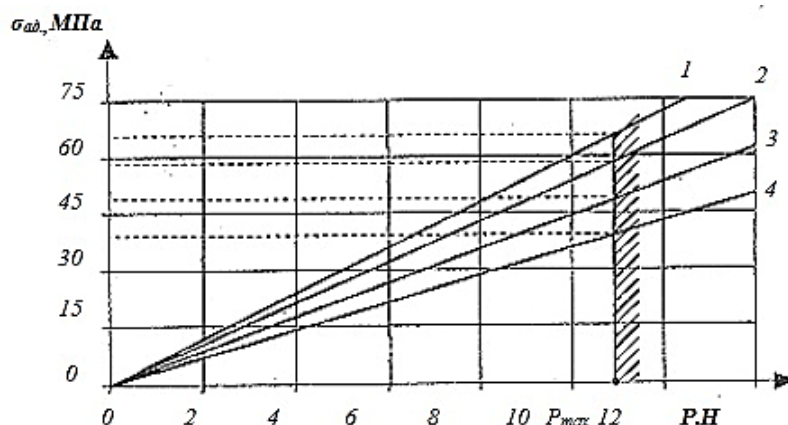


Рис. 2. Залежність адгезійної міцності від навантаження:

1 – без УЗ-коливань; 2 – амплітуда 8 мкм; 3 – амплітуда 10 мкм; 4 – амплітуда 14 мкм  
Джерело: розроблено авторами.

Аналіз результатів експерименту показав, що заміна статичного шліфування на вібраційне суттєво збільшує (на 15-20 %) адгезійну міцність. Механізм цього явища обумовлюється головним чином дією двох факторів: 1 – зниженням рівня пошкоджуваності покриття; 2 – зменшення межі текучості гетерогенного матеріалу покриття і відповідно перехід матеріалу з крихкого в квазікрихкий стан. Щодо останнього фактору, то необхідно зауважити, що можливість такого переходу обумовлена зменшенням критерію крихкості [8]  $t_k$  до значень менше 1. Це пояснюється зменшенням опору зсуву під дією УЗ-коливань. Визначення  $t_k$  для крихких та квазікрихких покриттів можна здійснювати за формулою:

$$t_k = \frac{\tau_p}{\sigma_p} = 0,61 \left( 4 + \frac{l^2}{d_p} \right) \left( \frac{1-2\mu}{1+2\mu} \right),$$

де  $\tau_p$  – опір зсуву;

$\sigma_p$  – опір відриву;

$l$  – довжина МТ;

$d$  – довжина діагоналі відбитка алмазної піраміди з кутом при вершині  $136^\circ$  на мікротвердомірі ПМТ-3.

На рис. 3 представлена залежність адгезійної міцності від критерію крихкості, яка має нелінійний характер. Під впливом УЗ-коливань обидва типи покриттів набувають властивостей пластичності з відповідним збільшенням адгезійної міцності. Причому для керамічного покриття крива має більш пологий вигляд і перетинає межу крихкості ( $t_k=1$ ) при більшій адгезійній міцності. Це пояснюється, на наш погляд, переходом кераміки у квазікрихкий стан. Внутрішні залишкові напруження при оптимальній товщині покриттів можуть спричинити миттєве зростання МТ і відшарування при умові рівності критичному напруженню.

З умови рівності (1) і (2) можна визначити довжину критичної МТ за формулою:

$$l_{кр} = \frac{2\nu}{\pi K_3^2} \frac{(1-2\mu)^2}{(1+2\mu)}.$$

Знаючи  $l_{кр}$ , є можливість здійснювати діагностику покриттів, наприклад методом акустичної емісії, на предмет їхньої працездатності.

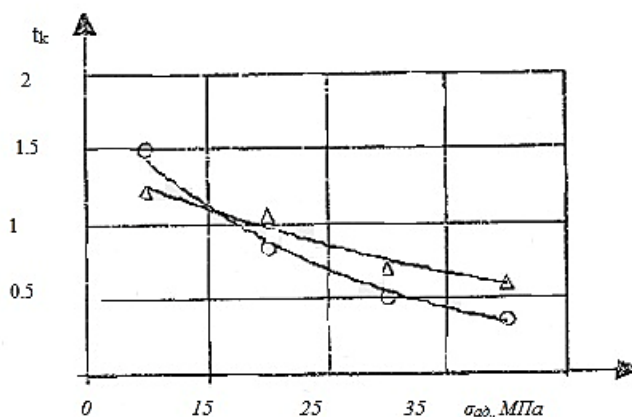


Рис. 3 Залежність адгезійної міцності від зміни крихкості:

○ - самофлюсуюче покриття ППСР-4; △ - керамічне покриття  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{TiO}_2$ .

Джерело: розроблено авторами.

**Висновки.** Існує кореляція рівня активації поверхні деталі перед напиленням та адгезійної міцності. Вибір метода активації визначається залежно від температурно-кінематичної характеристики високотемпературного струменя.

Залишкові внутрішні напруження є функцією коефіцієнта зіступання і їх рівень необхідно зменшувати технологічними методами (релаксаційний відпуск, ультразвукове шліфування, оптимальна товщина покриттів).

Ультразвукове шліфування є ефективним методом не тільки забезпечення геометричної точності і шорсткості поверхні, але й переводу нестійких мікротріщин у безпечний стійкий стан із гарантованим запасом тріщиностійкості.

Експериментальне підтвердження ефективності ультразвукового шліфування газотермічних покриттів дозволяє використовувати основні теоретичні положення роботи у виробничій практиці.

Розрахунок величини  $l_{кр}$  дозволяє методами діагностики покриттів прогнозувати їхню працездатність.

### Список використаних джерел

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Б. И. Ардатовская. – К. : Наукова думка, 1987. – 544 с.
2. Ночвай В. М. Рішення задачі надійності в процесі ремонту пластин коробок преса силікатної цегли / В. М. Ночвай // Вісник ЖДТУ. Серія: технічні науки. – 2017. – № 1 (79). – С. 36–40.
3. Гриньов В. Ф. Надійність отримання газотермічних покриттів при вібраційному методі підготовки поверхонь деталей під напилення / В. Ф. Гриньов // Машинознавство. – 1998. – № 2. – С. 20–22.
4. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий / А. Д. Зимон. – М. : Химия, 1977. – 352 с.
5. Пилипенко А. М. Остаточные напряжения в плазменных покрытиях после шлифования / А. М. Пилипенко, В. В. Мироненко, Ю. Д. Юрченко // Сверхтвердые материалы. – 1993. – № 4. – С. 40–42.
6. Петров Ю. Н. Влияние ультразвуковых колебаний на внутренние напряжения хромовых покрытий / Ю. Н. Петров, В. Н. Нудага // Вестник машиностроения. – 1966. – № 8. – С. 50–52.
7. Стащук М. Г. Застосування теорії катастроф у дослідженні стійкості тріщини у пружному тілі / М. Г. Стащук, В. Г. Горопацький, В. М. Стащук // Машинознавство. – 1998. – № 3. – С. 2–7.
8. Ужик Г. В. Сопротивление отрыву и прочность материалов / Г. В. Ужик. – М. : Машиностроение, 1954. – 240 с.

### References

1. Borisov, Ju.S., Harlamov, Ju.A., Sidorenko, S.L., & Ardatovskaja, B.I. (1987). *Gazotermicheskie pokrytiia iz poroshkovyh materialov [Gas-thermal coatings from powder materials]*. Naukova dumka.
2. Nochvai V.M. (2017). Rishennia zadachi nadiinosti v protsesi remontu plastyn korobok presa sylikatnoi tsehly [The solution to the problem of reliability in the process of repairing plates of silicate brick press boxes]. *Visnyk ZhDTU, Seria «tekhichni nauky» – Bulletin of ZHTU. Series: technical sciences, 1(79)*, 36–40.



3. Hrynov, V.F. (1998). Nadiinist otrymannia hazotermichnykh pokryttiv pry vibratsiinomu metodi pidhotovky poverkhon detalei pid napylennia [Reliability of obtaining gas-thermal coatings with the vibration method of preparing the surfaces of parts for spraying]. *Mashynoznavstvo – Mechanical engineering*, 2, 20-22.

4. Zimon, A.D. (1977). *Adgeziia plenok i pokrytij [Adhesion of films and coatings]*. Khimiia.

5. Pilipenko, A.M., Mironenko, V.V., Jurchenko, Ju.D. (1993). Ostatochnye napriazheniia v plazmennykh pokryttiakh posle shlifovaniia [Residual stresses in plasma coatings after grinding]. *Sverhtverdye materialy – Superhard Materials*, 4, 40-42.

6. Petrov, Ju.N., Nudaga, V.N. (1966). Vliianie ultrazvukovykh kolebani na vnutrennie napriazheniia khromovykh pokrytii [Influence of ultrasonic vibrations on internal stresses of chrome coatings]. *Vestnik mashinostroeniia – Bulletin of mechanical engineering*, 8, 50-52.

7. Stashchuk, M. H., Horopatskyi, V. H., Stashchuk, V. M. (1998). Zastosuvannia teorii katastrof u doslidzhenni stiikosti trishchyny u pruzhnomu tili [The application of the theory of catastrophes in the study of the stability of a crack in an elastic body]. *Mashynoznavstvo – Machine Science*, 3, 2-7.

8. Uzhik, G.V. (1954). *Soprotivlenie otryvu i prochnost materialov [Tear resistance and strength of materials]*. Mashinostroenie.

Отримано 21.10.2022

UDC 621.923

**Oleksandr Pylypenko<sup>1</sup>, Volodymyr Nochvai<sup>2</sup>, Roman Symon<sup>3</sup>, Volodymyr Pohorilchuk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobiles and Technologies of their Operation  
Cherkasy State Technological University (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: [chura.pilipenko255@ukr.net](mailto:chura.pilipenko255@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-0385>

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering  
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: [nochvajvm@ztu.edu.ua](mailto:nochvajvm@ztu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3742-0837>

<sup>3</sup>PhD in student of the department of mechanical engineering  
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: [romansymon@ztu.edu.ua](mailto:romansymon@ztu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4965-2603>

<sup>4</sup>PhD in student of the department of mechanical engineering  
State University «Zhytomyr Polytechnic» (Zhytomyr, Ukraine)

E-mail: [vovan479dd@gmail.com](mailto:vovan479dd@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3559-2814>

## INCREASING THE ADHESION STRENGTH OF COATINGS DURING ULTRASONIC GRINDING

*Gas-thermal spraying of self-fluxing, ceramic and other powder materials is one of the effective methods of restoring and strengthening machine parts. The paper describes the gas-thermal spraying methods. The reason for the appearance of macrodefects during mechanical processing in the form of microcracks and burns, and during the operation of parts - in the form of delamination of coatings, is the instability of the structure and physical and mechanical properties of coatings, as well as insufficient adhesive strength and significant residual stresses. In turn, the adhesion strength of coatings depends on the level of surface activation of the base material. The analysis of methods of activation of the surface of the part was performed. Different methods are used: shot blasting or sandblasting, spraying the sublayer, forming a "torn" cut. They all have different performance. The main factors that affect the adhesive and cohesive strength are the incomplete connection of the particles forming the coating, the structure of the coating and the residual internal stresses of the coating. The interaction of adhesion strength and residual internal stresses determines the workability of the coating. As the residual internal stresses increase, the adhesive strength decreases. One of the effective methods of reducing residual internal stresses in coatings is the action of ultrasonic vibrations. The paper presents the results of experimental studies of the influence of the amplitude of ultrasonic vibrations on the adhesion strength of coatings. Adhesive strength was determined by the method of breaking off a conical pin. The authors gave a formula for calculating the adhesion strength of coatings. The analysis of the results of the experiment showed that the replacement of static grinding with vibration significantly increases (by 15-20%) the adhesive strength. This phenomenon is determined by the action of two factors: a decrease in the level of damage to the coating; reducing the yield point of the coating material. It should be noted that the possibility of such a transition is due to the reduction of the fragility criterion to values less than 1. The paper provides a formula for calculating the value of the fragility criterion of coatings, as well as a formula for calculating the length of a critical microcrack. Knowing the length of the critical microcrack makes it possible to diagnose coatings for their performance.*

**Keywords:** activation; gas thermal coating; macro defect; microcrack; residual internal stresses.

Table: 1. Fig.: 2. References: 8.