

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЖКО НАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЗМІЦНЕНИХ ДЕТОНАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

М. Будьонний, кандидат технічних наук, генеральний директор,
ДП «Харківстандартметрологія»,

Н. Козакова, доктор технічних наук, доцент,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

А. Мовшович, доктор технічних наук, головний інженер,

Г. Здор, старший науковий співробітник,
ДП «ХНДІ технології машинобудування», м. Харків

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЯЖЕЛО НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, УПРОЧНЕННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

М. Буденный, кандидат технических наук, генеральный директор,
ГП «Харьковстандартметрология»,

Н. Козакова, доктор технических наук, доцент,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

А. Мовшович, доктор технических наук, главный инженер,

Г. Здор, старший научный сотрудник,

ГП «ХНИИ технологии машиностроения», г. Харьков

QUALITY MANAGEMENT OF WORK SURFACES OF THE HEAVILY LOADED DETAILS OF MACHINES STRENGTHENED BY DETONATION METHOD

M. Budyonny, Candidate of Technical Sciences, General Director,
«Kharkivstandartmetrologiya» State Enterprise,

N. Kozakova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

A. Movshovich, Doctor of Technical Sciences, Chief Engineer,

G. Zdor, Senior Scientist,

Research Institute for Mechanical Engineering, Kharkiv

Останні роки відзначено безпрецедентним зростанням уваги до проблем якості. Науково-технічний прогрес у Японії, Південній Кореї та Китаї було обумовлено визначним проривом в якості, що дозволило їм різко збільшити свій експорт. Їх експорт, як розвинених країн, складають промислові вироби. Для Японії цей показник дорівнює 97 %, для США — 65 %. Ми ж за цим показником перебуваємо на рівні країн,

У статті продемонстровано можливості застосування методу детонаційного нанесення покриттів у процесі управління якістю робочих поверхонь важко навантажених деталей машин. Описано дію детонаційного комплексу, розробленого фахівцями НАУ «ХАІ». Спростовано думку щодо недоцільності використання згаданої технології.

що розвиваються. Збільшення експорту вітчизняних товарів в умовах вимог зовнішнього ринку, що постійно зростають, неможливе без підвищення їхньої якості.

Сьогодні серед складових конкурентоспроможності товарів ціна вже не домінує. На позиції лідера виходять їхні споживчі властивості та якість, можливість ремонту та швидкість, з якою вироби можуть поставлятися на виробництво.

У сучасному машинобудуванні особливе місце посідають технології, пов'язані з доданням поверхні певних властивостей, що забезпечують підвищені експлуатаційні характеристики виробів. Останнім часом в Україні і за кордоном такі технології виділено в окрему галузь знань, яка називається «інженерія поверхні». Коло питань галузі є настільки широким, що охоплює практично усі технічні науки, пов'язані з властивостями поверхневих шарів і розроблянням устаткування, що застосовується для зміцнення поверхні та ремонту виробів.

Серед безлічі методів додання поверхні особливих властивостей в окрему групу виділяються такі, що дозволяють одержувати на робочій поверхні деталі шар покриття певного функціонального призначення. Одним із методів, що заслуговує на найбільшу увагу, є *детонаційний*, який за загальноприйнятою класифікацією належить до групи газотермічних методів нанесення покриттів. Він відрізняється найвищою міцністю зчеплення, широким діапазоном досяжної пористості та є практично універсальним щодо застосовуваних матеріалів покриттів та оброблюваних деталей.

Однак за усіх наявних переваг детонаційного методу його широке застосування у машинобудуванні стримується відсутністю систематизованих даних щодо властивостей покриттів, які наносяться на робочі поверхні деталей, та їхніх якісних характеристик.

Широке коло конструкторів і технологів-машинобудівників не володіють методами управління якістю робочих поверхонь деталей, зміцнених детонаційним методом.

Пропонована стаття має інформаційний характер і, у першу чергу, присвячена вирішенню згаданих проблем.

Технологія детонаційного нанесення покриттів відома з кінця 1970-х років і вперше була застосована компаніями UNION CARBIDE (США) і METCO (Австрія). У країнах СНД детонаційні покриття почали застосовуватися із середини 80-х років на підприємствах аерокосмічної галузі та спеціального машинобудування.

Основним елементом будь-якого детонаційного комплексу є детонаційна гармата (циліндричний конічний водоохолоджуваний технологічний канал, що періодично заповнюється вибуховою газовою сумішшю із системи газорозподілу). Підпал газової суміші проводиться від свічі в необхідний момент часу, а подача порошкового матеріалу по-

криття у стовбур здійснюється дозувальним пристроєм в інтервалі між пострілами. Формована у стовбурі детонаційна хвиля поширюється у напрямку відкритого стовбура зі швидкістю близько 3000 м/с і вище. Слідом за детонаційною хвилею рухається високотемпературний двофазний потік, що складається з продуктів детонації та часток порошку. Частки порошку мають швидкість до 1500 м/с і температуру до 2500 К. У результаті пострілу формується одинична пляма покриття, яка приблизно дорівнює діаметру стовбура, товщиною від 5 до 50 мкм. Частота пострілів установки зазвичай не перевищує 20 Гц. При цьому переміщення деталі відносно стовбура приводить до формування шару покриття необхідної товщини.

Як горюча суміш традиційно використовувалася суміш ацетилену й кисню, оскільки її енергетичні характеристики є найбільш прийнятними для нанесення покриттів на відміну від інших сумішей. Проте в установках різних конструкцій застосовується суміш пропан-бутану з киснем, суміші кисню і парів бензину, а також метано-кисневі суміші. Їхні собівартості, як і їхні енергетичні характеристики, істотно різняться. Так, за стехіометричного складу суміші за середніми цінами на газу вартість 1 м³ ацетилен-кисневої суміші становить 12,6 грн., а суміші пропан-бутану — лише 2,6 грн., тобто відрізняється у 4,7 рази. При цьому швидкість детонації у першому випадку становить 3090 м/с, у другому — 2600 м/с, отже, відмінність усього в 1,18 рази. Аналогічно відрізняються і температури продуктів детонації цих сумішей.

Продуктивність детонаційних установок різної конструкції істотно відрізняється. Ця характеристика визначається переважно скорострільністю установки, а також діаметром стовбура. Діаметри стовбурів існуючих установок перебувають у межах 20—40 мм і в основному визначають масу одиничного заряду порошку. Для установок з діаметром стовбура близько 25 мм зазвичай маса заряду становить 0,1 г на постріл. Таким чином, продуктивність детонаційної установки в діапазоні частот 10—20 Гц у середньому становить близько 6 кг покриття за годину.

Для нанесення покриттів детонаційним методом можуть бути використані будь-які матеріали: від полімерів до тугоплавкої кераміки, а також будь-які сплави. Розмір часток порошку, що застосовується для нанесення покриттів, лежить у межах 5—100 мкм залежно від матеріалу порошку і необхідних параметрів пористості покриттів. Важливою особливістю всіх газотермічних методів є те, що для нанесення покриттів можуть бути використані порошки, отримані з відходів основного виробництва підприємств: металеві стружки або очищеного шламу шляхом

диспергування на механічних млинах типу кульових чи агриторах, іншими методами.

Під час нанесення покриттів детонаційним методом частки мають надзвичайно високу кінетичну енергію, що визначає рівень міцності, на порядок вищий від міцності зчеплень, отриманих іншими газотермічними газоелектричними методами. Міцність детонаційних покриттів може сягати величин 180 МПа і більше залежно від матеріалу і деталі.

Оскільки процес нанесення детонаційних покриттів є процесом імпульсивним, як правило, під час формування покриття не відбувається нагрівання деталі понад 250 °С, отже, процес виключає структурні жолоблення деталі й фазові перетворення її матеріалу, що не завжди забезпечується іншими методами.

На детонаційних установках без особливих ускладнень можна одержувати покриття з глибокою перехідною зоною та покриття, склад яких плавно змінюється від матеріалу деталі на глибині до матеріалу з особливими властивостями на поверхні, — так звані покриття із градієнтним складом.

Таким чином, детонаційні покриття принципово відрізняються за своїми властивостями від інших типів газотермічних покриттів. Деталі з детонаційними покриттями у більшості випадків можуть розглядатися як монолітні на відміну від деталей з покриттями з адгезійною міцністю 8—20 МПа, отриманих іншими методами.

Умови формування детонаційного покриття на поверхні зміцненої деталі й, у результаті, його якість залежать від безлічі факторів, які по суті є параметрами технологічного процесу детонаційно-газового зміцнення. Найважливішими параметрами режиму напильювання є такі: склад горючої газової суміші, ступінь заповнення нею стовбура детонаційно-газової установки, глибина завантаження порошкового матеріалу в стовбур, його дисперсність, довжина стовбура. Експериментальний пошук оптимальних значень цих параметрів є вкрай трудомісткою роботою. Для різкого скорочення області пошуку оптимальних режимів розроблено математичну модель фізичних процесів, що відбуваються у стовбурі детонаційної установки, і відповідну програму розрахунку на ЕОМ, що дозволяє розрахувати швидкість і температуру напильюваних часток і продуктів детонації, а також динаміку зміни цих параметрів. Математична модель ураховує кінетику детонації, склад газової суміші, ступінь заповнення стовбура газовою сумішшю, місце уведення порошку в стовбур, його дисперсність та фізичні й теплові характеристики.

Управління процесом нанесення зміцнюючих покриттів на робочі поверхні направляючих елементів

штампів проводилося для порошку марки ПТ-19Н-01 (ТУ 48-19-383—84). Деталі працюють у складних умовах за навантаження робітником зусиллям до 250 тс за температури до 120—150 °С. Хімічний склад порошку ПТ-19Н-01 (%): Ni — основа; Cr — 7,9—14,0; Si—1,2—3,2; В—1,7—2,5; Fe—1,2—3,2; Al—0,8—1,2; С—0,3—0,6. Розрахунки виконано для стовбура довжиною 1,4 м і діаметром 20 мм. Горюча газова суміш, використовувана під час розрахунків, має вигляд суміші ацетилену (C_2H_2) й кисню (O_2) — складу, близького до еквімолярного, $C_2H_2 + 1,1 O_2$.

Горюча газова суміш зазначеного складу має найбільший динамічний напір, що дозволяє розганяти частки порошку до максимальних швидкостей [2]. Окрім того, така суміш має найменшу окисну здатність, що дозволяє уникнути утворення під час напильювання оксидів у неприпустимих кількостях. Як флегматизуючий газ використано повітря.

Порошок було завантажено на глибину 0,4; 0,6; 0,8 м від зрізу стовбура. Початкове положення контактної границі «горюча суміш — повітря» — 0,7 та 1,2 м.

У процесі управління якістю покриття, що наносилося, досліджувалася динаміка зміни швидкості й температури часток порошку ПТ-19Н-01 уздовж стовбура під час його заповнення горючою сумішшю на різну довжину (0,7—1,2 м). Розглядалися такі показники якості, як міцність зчеплення покриття з основою, товщина покриття, що наноситься за один постріл, і коефіцієнт використання порошку (рис. 1, 2).

На рис. 1а й 2а показано графіки швидкості часток порошку і швидкості продуктів детонації (ПД), що розганяють відповідні частки. На рис. 1б і 2б — графіки температури часток і температури ПД, що нагрівають відповідні частки у стовбурі.

На графіках видно, що частки порошку мають дві стадії розгону: перша — потоком продуктів детонації за фронтом детонаційної хвилі, друга — під час витікання ПД зі стовбура. Немонотонний характер зміни температури часток у стовбурі обумовлений зменшенням температури ударно-стисненого газу й ПД у процесі їхнього витікання, а також процесами плавлення та кипіння (випарювання) матеріалу часток.

Аналіз графіків енергетичного стану часток порошку ПТ-19Н-01 дозволяє зробити висновки:

- зменшення ступеня заповнення стовбура горючою сумішшю з $RK = 1,2$ м до $RK = 0,7$ м майже не знижує швидкості часток;

- швидкість на зрізі стовбура часток, завантажених на невелику глибину (0,4 м), має більші значення й тенденцію до подальшого збільшення, ніж часток, завантажених на більшу глибину (0,8 м); цей ефект більше помітний за ступеня заповнення

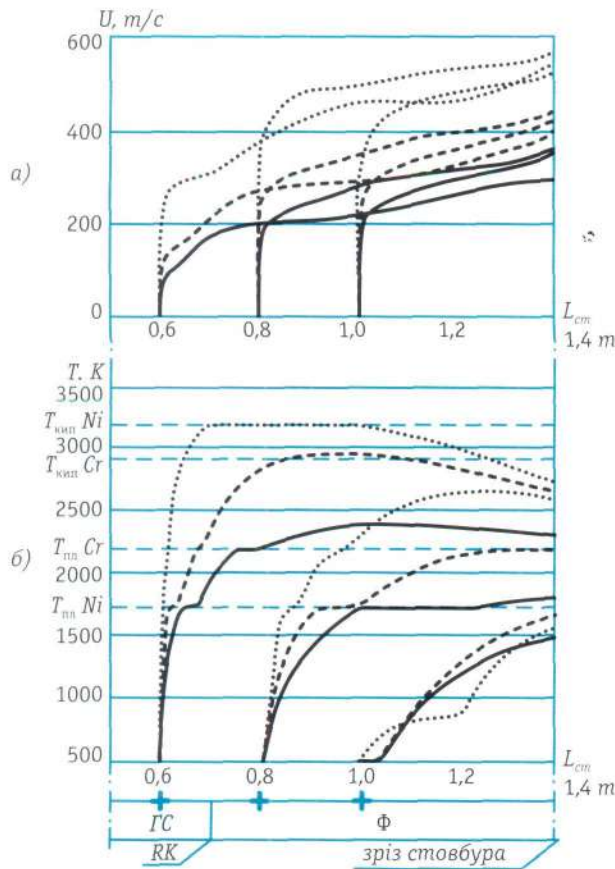


Рис. 1. Динаміка зміни швидкості (а) і температури (б) часток порошку ПТ-19Н-01 уздовж стовбура довжиною 1,4 м за умови його заповнення гарячою сумішшю $C_2H_2 + 1,1 O_2$ на довжину 0,7 м:

- L_{cr} — довжина стовбура;
 ГС — гаряча суміш $C_2H_2 + 1,1 O_2$;
 Ф — флегматизуючий газ (азот, повітря);
 РК — контактна границя;
 між ГС і Ф перед пострілом,
 $RK = 0,7$ м;
 + — місце уведення порошку;
 $T_{m} Cr; Ni$ — температура плавлення хрому, нікелю;
 $T_{кип} Cr; Ni$ — температура кипіння хрому, нікелю;
 — частки розміром 60 мкм;
 - - - частки розміром 40 мкм;
 ····· частки розміром 20 мкм

$RK = 1,2$ м і для часток середньої та особливо великої фракції (60 мкм);

■ ступінь заповнення стовбура горючою сумішшю, робить істотніший вплив на температуру часток: так за $RK = 0,7$ м частки великої та середньої фракцій нагріваються до необхідної температури (приблизно T_{m}) лише будучи завантаженими на 0,8 м; за $RK = 1,2$ м частки 60 мкм досягають T_{m} на усіх глибинах завантаження, всі частки 20 мкм досягають температури кипіння ($T_{кип}$), частки 40 мкм досягають $T_{кип}$ лише за умови завантаження на 0,8 м від зрізу стовбура.

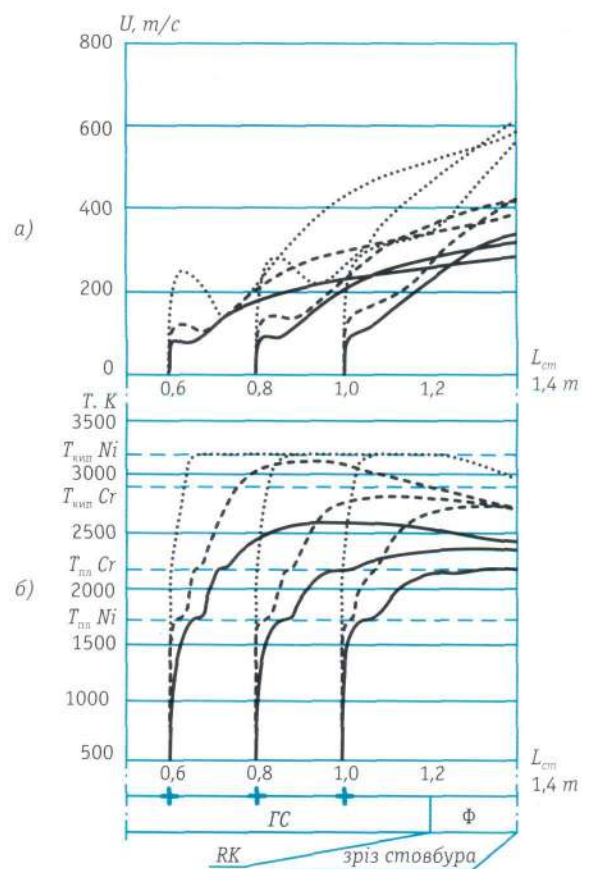


Рис. 2. Динаміка зміни швидкості (а) і температури (б) часток порошку швидкості (а) і температури (б) часток порошку ПТ-19Н-01 уздовж стовбура довжиною 1,4 м за умови його заповнення гарячою сумішшю $C_2H_2 + 1,1 O_2$ на довжину 1,2 м:

- L_{cr} — довжина стовбура;
 ГС — гаряча суміш $C_2H_2 + 1,1 O_2$;
 Ф — флегматизуючий газ (азот, повітря);
 РК — контактна границя;
 між ГС і Ф перед пострілом,
 $RK = 1,2$ м;
 + — місце уведення порошку;
 $T_{m} Cr; Ni$ — температура плавлення хрому, нікелю;
 $T_{кип} Cr; Ni$ — температура кипіння хрому, нікелю;
 — частки розміром 60 мкм;
 - - - частки розміром 40 мкм;
 ····· частки розміром 20 мкм

Як бачимо, більше завантаження часток порошку у стовбур детонаційно-газової установки приводять до певного зниження швидкості за рахунок гальмування усередині стовбура, крім того, тривале перебування часток у стовбурі сприяє їхньому більшому окислюванню. Низький же ступінь заповнення стовбура горючою сумішшю не нагріває частки порошку до необхідної температури. Отже, заповнення стовбура горючою сумішшю $RK = 1,2$ м є кращим, тому що забезпечує необхідне нагрівання часток великої та середньої фракції за невеликої глибини завантаження (0,4 м) за цілком прийнятних швидкісних характеристик.

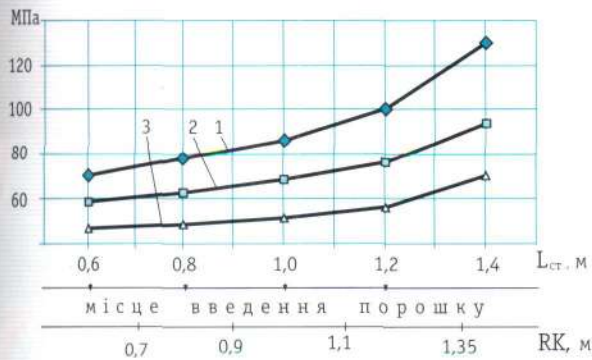


Рис. 3. Залежність міцності зчеплення покриття з підкладкою від товщини покриття t , довжини стовбура $L_{ст}$ і рівня його заповнення горючою сумішшю RK :
1 - $t = 20$ мкм; 2 - $t = 40$ мкм; 3 - $t = 50$ мкм

Частки дрібної фракції втрачатимуть хром і нікель, які випаровуються, за усіх глибин завантаження. Тому головним напрямком коректування режиму слід уважати деяке зниження ступеня заповнення стовбура горючою сумішшю, а також деяке розведення її нейтральним газом. Крім того, необхідне просівання порошку з метою відділення часток дрібної фракції.

Таким чином, близьким до оптимального слід вважати такий режим детонаційно-газового напилювання порошку ПТ-19Н-01: розмір часток — 40—60 мкм, глибина завантаження порошку — 0,4 мкм, початкове положення контактної границі $RK = 1,1—1,2$ м, розведення горючої суміші флегматизуючим газом 30% (рис. 3).

ВИСНОВКИ

1. Управління якістю детонаційного процесу дозволяє цілеспрямовано оптимізувати режими зміцнення робочих поверхонь важко навантажених деталей, досягаючи необхідної якості з найменшими витратами.

2. Оптимальним є режим, що забезпечує:

- задане співвідношення компонентів покриття за його товщиною;
- задану товщину покриття та його рівномірність за товщиною;
- рівномірне нагрівання (охолодження) деталей з покриттям;
- міцність зчеплення покриття з основою.

3. Визначено оптимальне переміщення деталей під час їх детонаційно-газового зміцнення. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Долматов А. И., Симоненко В. А., Прохоров Е. С. Математическое моделирование процесса детонационного напыления покрытий в машиноориентируемом производстве / Тезисы докладов первого Всесоюзного совещания. — Х.: ХАИ, 1989. — 42 с.
2. Зверев А. И., Шаривкер С. Ю., Астахов Е. А. Детонационное напыление покрытий. — Л.: Судостроение, 1979. — С. 122—125.

«TQM / EMS — 2009 TOTAL QUALITY MANAGEMENT / ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEMS. АКТУАЛЬНІ АСПЕКТИ І ПРАКТИЧНІ ПИТАННЯ»

19—21 травня 2009 року ДП «Севастопольстандартметрологія» за підтримки Держспоживстандарту України, Севастопольської міської державної адміністрації, ДП «УкрНДНЦ», ДП «Укрметртестстандарт», Київського національного університету технологій та дизайну, Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості проведиме 9-ту Науково-практичну конференцію із загального управління якістю та навколишнім середовищем «TQM / EMS — 2009 Total Quality Management / Environmental Management

Systems. Актуальні аспекти і практичні питання».

На пленарних і секційних засіданнях конференції розглядатиметься широкий спектр питань, пов'язаних із розвитком і практичним упровадженням систем управління якістю, екологічного управління на основі міжнародних стандартів серій ISO 9000, 14000, 19011.

Основна мета конференції — обмін досвідом між фахівцями підприємств, установ, організацій, висвітлення питань, пов'язаних із сучасними методами управління і підвищенням конкурентоспроможності продукції.

Місце проведення конференції: ДП «Центральна військова турбаза «Севастополь», вул. Симонок, 62.

Реєстрація учасників: 19 травня з 9.00. Початок роботи о 10.00.

Заявки на участь приймаються за адресою:

ДП «Севастопольстандартметрологія», м. Севастополь, вул. 6-а Бастіонна, 32.

За додатковою інформацією щодо організації та умов участі в конференції звертатися:

Тел.: (0692) 55-90-01, 55-93-80, 55-93-95

Тел./факс: (0692) 55-07-12

<http://www.standart.stel.sebastopol.ua>

E-mail: stmet@stel.sebastopol.ua