



ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

Єдина система захисту від корозії та старіння

ПОКРИТТЯ ГАЗОТЕРМІЧНІ

Метод визначення міцності зчеплення
покриття з основою нормальним відривом
в умовах температур до 1770 К

ДСТУ 2639—94

БЗ №1—94/92

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ
Київ

ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄДИНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ
ТА СТАРІННЯ

ПОКРИТТЯ ГАЗОТЕРМІЧНІ

Метод визначення міцності зчеплення покриття
з основою нормальним відривом
умовах температур до 1770 К

ЄДИНА СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ
И СТАРЕНИЯ

ПОКРЫТИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИЕ

Метод определения прочности сцепления покрытия
с основой при нормальном отрыве
в условиях температур до 1770 К

ДСТУ 2639—94

UNIFIED SYSTEM OF CORROSION AND
AGEING PROTECTION

THERMAL SPRAYED COATINGS

Method for Determining Bonding Strength
by Normal Tearing at Temperatures up to 1770 K

Чинний від 01.07.95

Цей стандарт встановлює метод статичних випробувань міцності зчеплення газотермічних покриттів нормальним відривом в умовах температур на поверхні зразка до 1770 К.

Стандарт поширюється на газотермічні покриття завтовшки не менше як 0,3 мм, які одержують методами газополуменевого, плазмового, детонаційного та електродугового напилювання.

Вимоги цього стандарту є обов'язковими для випробувань міцності зчеплення газотермічних покриттів, які працюють в умовах температур вищих за 400 К.

Для покриттів, які працюють в умовах температур 400 К і нижче, дозволяється використовувати метод випробувань на відрив по ГОСТ 9.304.

1. Суть методу

1.1. Метод полягає у визначенні зусилля, за допомогою якого відривають у нормальному напрямі торець штифта зразка від шару покриття, попередньо напиленого на спільний торець штифта і матриці (рис. 1а, б).

1.2. Міцність зчеплення покриття з основою в одиничному випробуванні розраховують за допомогою формули

$$\sigma_{24} = \frac{P_{\max}}{F}$$

де σ_{24} — міцність зчеплення, МПа (Н/мм²);

P_{\max} — максимальне зусилля, зафіксоване під час відриву торця штифта від шару покриття, Н;

F — площа торця штифта зразка, мм².

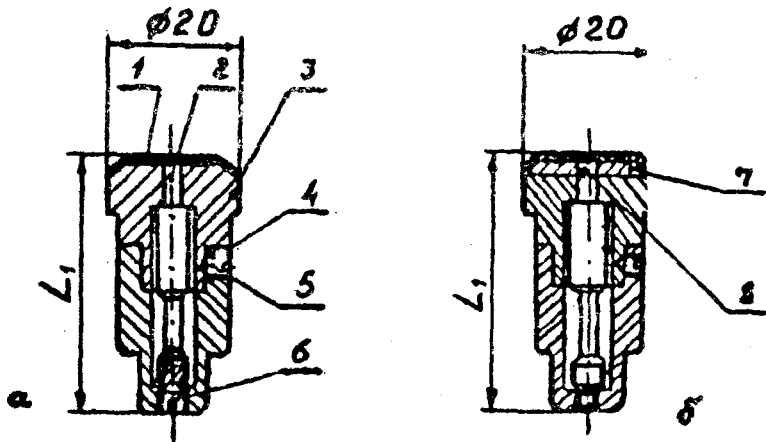
1.3. Значення міцності зчеплення, одержуване в даному випробуванні, є умовною характеристикою, що використовується для порівняння якості покриттів і визначення впливу на них технологічних факторів.

1.4. Якщо руйнування під час відриву відбувається повністю по межі розділу покриття і основи, то результат випробувань зараховують як міцність зчеплення покриття з основою при нормальному відриванні.

1.5. Якщо руйнування під час відриву відбувається по шару покриття, то результат випробувань зараховують як міцність покриття, вважаючи міцність зчеплення вищою за міцність покриття у даному експерименті.

1.6. Якщо руйнування має мішаний вид, тобто руйнування відбувається частково по межі розділу покриття та основи, а частково по шару покриття, то вважають, що міцність зчеплення і міцність покриття дорівнюють одержаній величині.

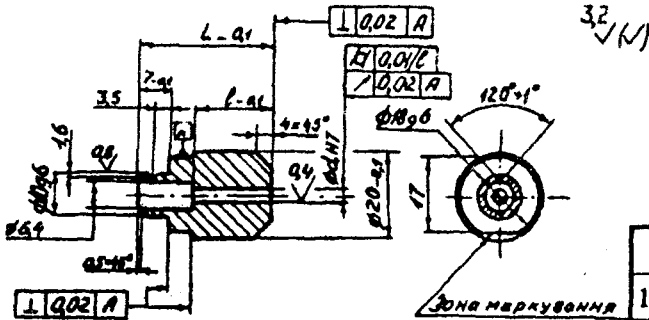
Зразки для випробувань



1 — покриття; 2 — штифт; 3 — матриця; 4 — чохол; 5, 6 — стопорні гвинти; 7, 8 — пластинки з матеріалу деталей, приварені до торців штифта і матриці

Рис. 1

Матриця

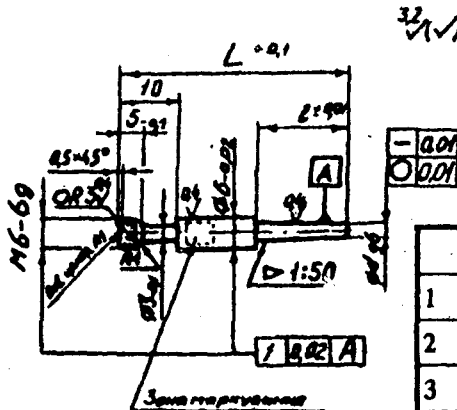


	L _{мм}	l _{мм}	d _{мм}
1	18,5	6	2
2	18,5	6	3
3	30,5	18	2
4	30,5	18	3

Невказані граничні відхилення розмірів: Н14, h14, $\pm \frac{b}{2}$

Рис. 3

Штифт



	L _{мм}	l _{мм}	d _{мм}
1	34	6	2
2	34	6	3
3	46	18	2
4	46	18	3

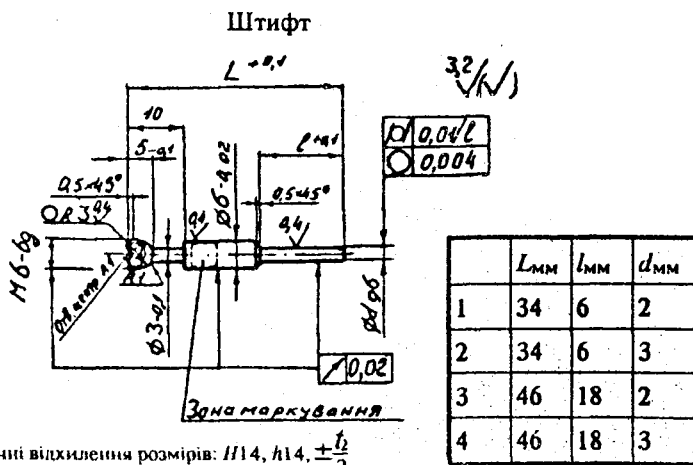
Невказані граничні відхилення розмірів: Н14, h14, $\pm \frac{b}{2}$

Рис. 4

2. Зразки і пристосування

2.1. Випробування здійснюють використовуючи зразки спеціальної конструкції, зображеної на рис. 1, а, б. Деталювання показано на рис. 2-7. Покриття наносять на спільний торець штифта і матриці. Різниця товщини шару покриття по площі напilenня не повинна перевищувати 0,01 мм. Для виготовлення штифта і матриці використовують матеріал, що застосовується для виготовлення конкретних деталей, на які передбачається наносити покриття. У випадку відсутності відповідного сортаменту матеріал для виготовлення штифта і матриці у розмірах, вказаних на кресленнях, ці деталі зразків допускається виготовляти складеними, з привареними до них пластинками саме з такого матеріалу, з якого виготовляють конкретні деталі з захисним покриттям (рисуюнок 1, б).

Попередні випробування допускається проводити на зразках, штифт і матрицю яких виготовляють з матеріалів однієї групи з матеріалом деталі, яку захищають за допомогою покриття (титанові, нікелеві, жароміцні сплави та ін.). Для випробувань в умовах високих температур рекомендується: для виготовлення штифта і матриці зразків використовувати саме той матеріал, який іде на конкретні деталі з покриттям, що працюють при цих температурах. У випадку відсутності необхідного сортаменту цього матеріалу для виготовлення зразків, допускається проводити високотемпературні випробування на зварних зразках, які показані на рис. 1, б.



Невказані граничні відхилення розмірів: $H14, h14, \pm \frac{1}{2}$

Рис. 2

2.2. Допускається виготовляти зразки з циліндричним спряженням штифта і матриці (рис. 2 і 3) і з конічним (рис. 4 і 5). При виготовленні зразків з конусним сполученням штифта і матриці необхідно дотримуватися вимоги: штифт підігнати до отвору у матриці без зазору і без самозаклинювання, обмежуючи просування штифта усередину матриці за допомогою розміщення торця циліндричної поверхні діаметром 6 мм, що прилягає до нижньої основи конусної поверхні штифта (рис. 4).

Допускається застосування штифтових зразків з діаметром торця штифта, який дорівнює 2 і 3 мм, як показано у таблицях на рис 2-5. Застосування штифтових зразків з діаметром торця, що дорівнює 3 мм, сприяє зниженню розсіювання значень експериментальних даних, але збільшує вірогідність проривання шару покриття: утворенню у ньому наскрізного отвору під час випробувань міцності зчеплення.

2.3. При визначенні впливу на міцність зчеплення складу напилюваного матеріалу, режимів напилення, температури випробувань та інших факторів, здійснюють порівняльні випробування. При таких випробуваннях рекомендується на зразки напилювати покриття, товщину якого визначають із співвідношення $\delta \geq 0,5 d$,

де δ — товщина напилюваного шару, d — діаметр торця штифта. Таким чином, при проведенні порівняльних випробувань на зразках з діаметром торця штифта 2 мм рекомендується напилювати покриття завтовшки 1 мм, а при використанні штифтових зразків з діаметром торця 3 мм рекомендується напилювати покриття завтовшки 1,5 мм. Фаска $4 \times 45^\circ$ по краю напилюваної поверхні матриці зразка сприяє закріпленню покриття; затриманню його від самовідшарування; часткової компенсації впливу залишкових напружень на міцність зчеплення, що збільшуються при наروضуванні товщини шару покриття.

2.4. Якщо існує необхідність багаторазового використання зразків, то штифти і матриці виготовляють із збільшеними за висотою розмірами, які показані в таблицях до рис. 2-5. Для повторних випробувань зразки перешліфовують, вішліфовуючи вже випробуване покриття і частково метал зразка, в який заглиблюються на товщину, достатню, щоб уникнути впливу попереднього напилення ($\sim 0,1$ мм).

Для перешліфування зразків рекомендується використовувати пристосування, показане на рис. 8. Воно розраховане на одночасне оброблення 12 зразків. Допускається використання інших пристосувань або індивідуальне шліфування з дотриманням однакової висоти у всіх зразках з допустимим відхиленням від номінального розміру не більше як на $\pm 0,01$ мм.

2.5. Перед напиленням покриття виконують операції: знежирення і струменево-абразивну обробку напиленої поверхні згідно з ГОСТ 9.402 і ГОСТ 9.304. Струменево-абразивну обробку рекомендується виконувати у автоматичному режимі однотипно для всіх зразків у пристосуванні, показаному на рис. 9. Після струменево-абразивного оброблення обов'язкове розбирання і продування деталей зразка стисненим повітрям з метою запобігання попаданню у зазори дрібних частинок абразивного порошку. Якщо у процесі струменево-абразивного оброблення торець штифта розплющиться настільки, що це буде перешкоджати його витягуванню з отвору у матриці, то у цьому разі використовують знімач (рис. 13).

Знімач нагвинчують на різьбу хвостовика штифта до упору в матрицю. Подальшим нагвинчуванням знімача, при одночасному утриманні матриці нерухомою, легко витягують штифт. Закріпивши знімач на штифті за допомогою стопорного гвинта М4, його використовують як рукоятку для притирання штифта до отвору у матриці. Притиранням досягають вільного випадання штифта з отвору у матриці під дією його власної ваги. Знову продувають деталі зразка стисненим повітрям, знежирюють, протирають, складають, як показано на рис. 1, вимірюють висоту мікрометром з похибкою до 0,01 мм.

Значення висоти кожного зразка записують у протокол випробувань. Знову знежирюють поверхні напилення зразків, після чого зразки встановлюють у пристосування для напилення покриття (рис. 10 або 11). Операції із зразками рекомендується виконувати у чистих бавовняних або гумових хірургічних рукавичках, щоб не забруднювати поверхні, на які напилюють покриття.

Чохол зразка (рис. 6) служить для утримання штифта і матриці у складеному положенні, не створюючи перекосів і зсувів при складанні, подальших підготовчих операціях і зніманні його з матриці перед випробуванням міцності зчеплення. Він запобігає попаданню абразивних частинок у зазори штифта і матриці знизу при струменево-абразивній підготовці поверхні напилення. Чохол перешкоджає попаданню відбитих часток напилюваного матеріалу у зазори штифта та матриці знизу, а також на поверхні, що служать для посадки зразків у пристосування для випробувань. Чохол оберігає штифт від ударів під час транспортування зразків від місця напилення покриття до місця випробувань. Чохол служить для кріплення зразків у пристосуванні під час шліфування, абразивно-струменево-го оброблення і напилення покриття.

2.6. Напилення покриття виконують, переміщуючи зразки уздовж або обертаючи під струменем напилюваного матеріалу, згідно з вимогами нормативно-технічної документації на якість і випробування покриттів. Для цього рекомендується використовувати пристосування, які показані на рис. 10 і 11.

Зразки у з'єднанні з чохлам вкладають у місця їх посадки — отвори діаметром 18 мм до упору матриці у поверхню пристосування (показано пунктиром на рис. 10 і 11). Зразки в пристосовуваннях для наплення стопоряться гвинтами М6.

Швидкість переміщення зразків при напленні покриття задається, виходячи з того, щоб забезпечити відповідність режиму наплення покриття на зразки режимові наплення покриття на конкретні деталі. При необхідності усунення перегріву зразки, так само як і деталі, під час наплення покриття обдувають стисненим повітрям для охолодження. Тепловий режим наплення покриття на зразки і деталі рекомендується контролювати за допомогою термопар. Підбір режимів наплення на зразки виконують на вставлених у пристосування для наплення "бобишках — деталях, які мають форму і розміри, відповідні формі і розмірам зразків у зібраному стані. Бобишки виготовляють з металу однієї групи з металом штифта і матриці.

2.7. Всі вказані пристосування розраховані на 12 зразків.

2.8. Перед проведенням випробувань міцності зчеплення в умовах високих температур на повітрі проводять перевірку можливості заклинювання шрифта в отворі матриці через утворення оксидів на спряжуваних поверхнях. З метою перевірки нагріванню піддають декілька контрольних зразків. Нагрівання контрольних зразків здійснюють аналогічно нагріванню зразків з покриттям під час випробувань на міцність зчеплення. Звичайно ніякого зусилля для витягання штифта з матриці після нагрівання контрольних зразків не потрібно. Штифт вільно виходить з отвору, незважаючи на те, що поверхні дійсно частково піддаються окисленню, яке візуально легко помітити по зміні їх кольору. У випадку, коли після пробного нагрівання контрольних зразків не вдається легко витягти штифт із матриці руками, його витягують за допомогою випробувальної машини або за допомогою зімача (рис. 13). За допомогою випробувальної машини можна визначити зусилля заклинювання від нагрівання та окислення. Після цього окислені спряжувані поверхні штифта і матриці взаємно притирають, добиваючись можливості вільного їх взаємного переміщення. Потім ці зразки знову піддають повторним пробним випробуванням на нагрівання і заклинювання від окислення. Раз окислені і притерті після цього одна до одної спряжувані поверхні від повторного нагрівання вже не заклинюють. Тому такої процедури попередньої підготовки піддають уже всі зразки, призначені для високотемпературних випробувань, у яких під час нагрівання можливе заклинювання штифта в отворі матриці від утворення оксидів на спряжуваних поверхнях.

Оскільки при такій попередній підготовці окислюється і поверхня наплення, то після нагрівання і окислення зразки устанавлюють у при-

стосування для шліфування і шліфують поверхню напилення, знімаючи окислений шар. Після цього проводять струменево-абразивну підготовку поверхні напилення, розбирання, обдування знежирення, протирання і складання, тобто всі необхідні операції, які виконують перед напиленням покриття, про що була мова у п. 2.5.

2.9. Всі зразки клеймують цифрами (ГОСТ 2930), що вказують порядковий номер зразка. Клеймування проводять у місцях, орієнтовно позначених на рис. 2-6 пунктиром як зона маркірування. Точне місце клеймування на зразках цим стандартом не регламентується.

2.10. Висоту зразка у зібраному з чохлам положенні вимірюють до і після напилення покриття. Результати вимірювань фіксують у протоколі випробувань і за зразками визначають товщину напиленого шару окремо для кожного зразка.

3. Засоби випробувань і вимірювань

3.1. Розривна випробувальна машина повинна відповідати таким вимогам:

- найбільше граничне навантаження 1000 Н
- найменше граничне навантаження 10 Н
- границі допустимої відносної похибки прикладання навантаження до зразка, не більше 2 %
- можливість переміщення активного захвата, зі швидкістю 1-2 мм/хв
- робочий хід активного захвата, не менше 50 мм
- ціна одиниці найменшого розряду цифрового індикатора навантаження дискретних відлічувальних пристроїв для машини, не більше 0,1 %

При проведенні випробувань у вакуумі ступінь розрідження у вакуумній камері від $1,33 \times 10^{-1}$ до $1,33 \times 10^{-2}$ Па.

3.2. Мікрометри повинні відповідати вимогам ГОСТ 6507.

3.3. Перетворювачі термоелектричні (термопари) повинні відповідати вимогам ГОСТ 3044.

3.4. Перетворювачі вимірювальні (клас точності не нижче 0,1) для термопар повинні відповідати ГОСТ 13384.

3.5. Кріплення і навантаження зразків у випробувальній машині рекомендується проводити за допомогою пристосування (аксіатора), що

центрує прикладене до штифта зусилля. На рис. 12 показано схему центрування навантажувального зусилля за допомогою аксіатора, підвишеного на призматичних опорах. Нижня тяга випробувальної машини спряжується з штифтом зразка за допомогою захвата 12 і сферичного перехідника 13, форма і розміри яких подані на рис. 14 і 15.

На рис. 15 буквами А, Б, В, Г, Д позначені розміри, які вибирають, виходячи з розмірів перехідних елементів нижньої тяги випробувальної машини.

Усі деталі на рис. 12 показані в масштабі, що відповідає масштабові зразка.

Допускається застосування аксіаторів іншого типу, а також кріплення і випробування зразків без аксіатора, якщо у машині для випробувань забезпечується співзвучність прикладеного до зразка зусилля розтягування.

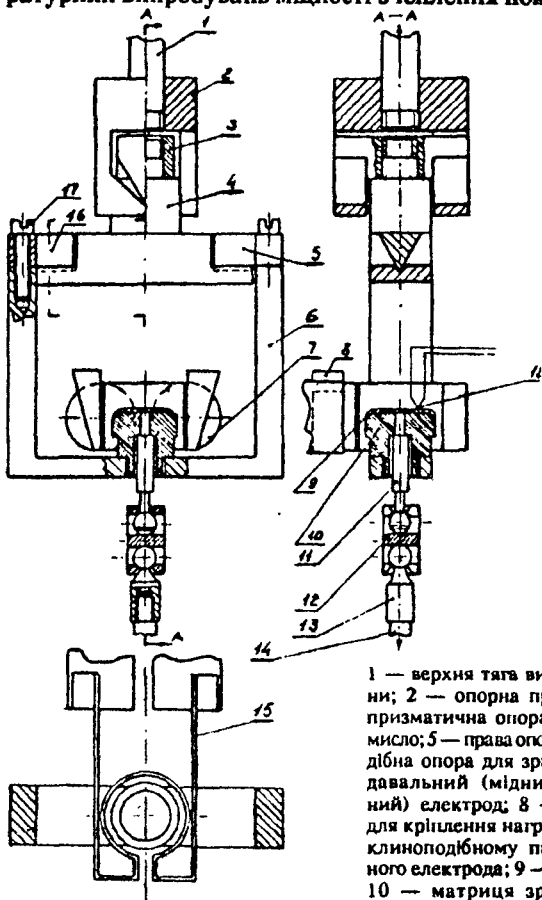
3.6. Пристосування для нагрівання зразків може бути якого завгодно типу. Воно повинно забезпечувати нагрівання зразка з поверхні за винятком нагівання зразків за допомогою струму високої частоти (СВЧ). На рис. 12 показано нагрівач 15, виконаний з пластини металу (використовують нікель, ніхром, молібден, вольфрам, тантал). Зігнутий омегаподібно нагрівач ззовні охоплює зразок і кріпиться у двох водоохолоджуваних струмоподавальних мідних електродах 7. При використанні для виготовлення нагрівача тугоплавких металів, що швидко окислюються на повітрі при нагріванні, випробування проводять у вакуумі або у захисному середовищі інертного газу. Для цього зразок з аксіатором, нагрівачем, захватами і тягами розміщують у вакуумній камері.

4. Проведення випробувань

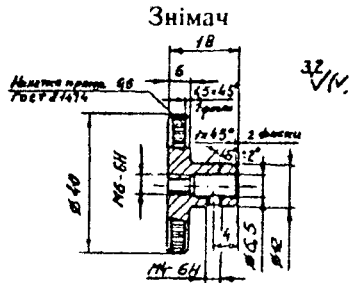
4.1. Випробування проводять у відповідності з вимогами нормативно-технічної документації на контроль міцності зчеплення покриттів. Міцність зчеплення покриття з основою оцінюють за результатами випробувань 12 одночасно і сумісно підготовлених і напилених покриттям зразків. Таку кількість зразків необхідно випробовувати для одержання достовірного кінцевого результату оцінки середнього арифметичного шуканої міцності зчеплення покриття з основою з надійними границями інтервалу не більше як $\pm 10\%$ при імовірності 0,95.

Границі допустимого значення відносної похибки вимірювання зусилля, прикладеного до зразка при випробуваннях, повинні бути не більше як $\pm 2\%$.

Схема встановлення зразка у центральному пристрої для високотемпературних випробувань міцності зчеплення покриттів



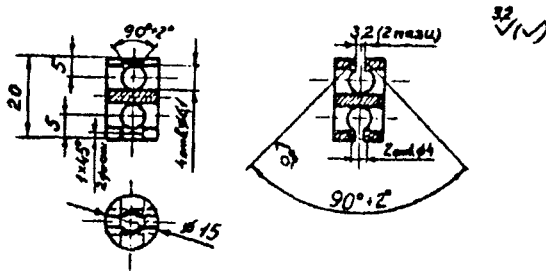
1 — верхня тяга випробувальної машини; 2 — опорна провувшина; 3 — дво-призматична опора; 4 — опорне коромисло; 5 — права опорна призма; 6 — U-подібна опора для зразка; 7 — струмоподавальний (мідний водоохолоджуваний) електрод; 8 — притискний клин для кріплення нагрівального елемента у клиноподібному пазу струмоподавального електрода; 9 — покриття на зразку; 10 — матриця зразка; 11 — штифт зразка; 12 — перехідник до нижньої тяги випробувальної машини; 14 — нижня тяга випробувальної машини; 15 — нагрівальний омгаподібний елемент; 16 — ліва опорна призма; 17 — гвинти кріплення призми 5 і 16 до U-подібної опори зразка; 18 — термопара.



Невказані граничні відхилення розмірів $H14, h14, \pm \frac{f_2}{2}$

Рис. 13

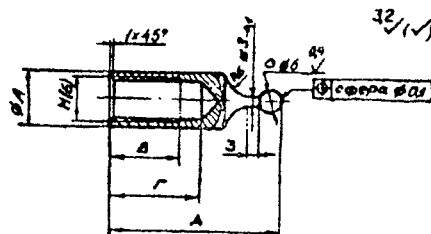
Захват



Невказані граничні відхилення розмірів $H14, h14, \pm \frac{f_2}{2}$

Рис. 14

Перехідник



Невказані граничні відхилення розмірів $H14, h14, \pm \frac{f_2}{2}$

Рис. 15

Про технологію підготовки зразків до напилення, спосіб і режими напилення і результати випробувань міцності зчеплення складається відповідний протокол випробувань. У протоколі випробувань повинні бути вказані температура випробувань, середовище (повітря, вакуум, захисний інертний газ), швидкість нагрівання, час витримки у нагрітому стані та ін.

4.2. Випробування проводять при короткочасному навантаженні зі швидкістю переміщення навантажувальної тяги випробувальної машини 1-2 мм/хв.

4.3. Випробування проводять при заданих на поверхні зразка температурах до 1770 К на повітрі, у захисному інертному середовищі або у вакуумі в залежності від вказівок у нормативно-технічній документації щодо вимог, які пред'являють до якості покриття. Границі допустимої похибки автоматичного підтримання температури повинні бути не більші як $\pm 0,5\%$ від заданого значення температури за надійної імовірності 0,95.

За відсутності вказівок про тривалість нагрівання до температури випробувань і часу витримки у нагрітому стані час нагрівання і витримки не повинен перевищувати 5-7 хв кожний.

4.4. Вимірювання температури на зразку здійснюють з поверхні покриття за допомогою термопари. Спай термопари закріплюють контактним зварюванням або механічним притисканням до поверхні покриття.

4.5. Під час проведення випробувань реєструють максимальне навантаження, за якого відбувся відрив торця штифта від шару покриття. Таку реєстрацію рекомендується робити у графічному вигляді на автоматичному записувальному приладі типу: ЛКД, ПДП4—002, Н307/1, Н307/2, Н307/3 та ін.

5. Обробка результатів

5.1. Результати випробувань піддають статистичній обробці згідно з СТ СЭВ 876.

6. Протокол випробувань

6.1. Форма подання результатів випробувань повинна відповідати додатку.

6.2. Протокол випробувань повинен містити такі відомості:

— час підготовки зразків до напилення покриття (рік, місяць, дату, годину, хвилини);

— спосіб підготовки зразків до напилення покриття (шліфування, струменєво-абразивна підготовка: корунд, кварцевий пісок, чавунний дріб; тиск повітря від компресора, кут атаки, тривалість обробки, глибина рельєфу після обробки (ГОСТ 2789); знежирююча рідина: спирт-ректифікат, бензин чистий та ін.);

- час напилення покриття на зразки з вказівкою тривалості періоду часу між підготовкою поверхні і напиленням покриття;
- висота зразка після підготовки поверхні, мм;
- висота зразка після напилення покриття, мм;
- товщина покриття як різниця двох попередніх значень, мм;
- застосовувані зразки: конічна або циліндрична форма штифта;
- діаметр торця штифта (2 чи 3 мм);
- матеріал зразка (марка або хімічний склад, відомості про термообробку до виготовлення зразків, його твердість);
- найменування установки, на якій проводиться напилення покриття на зразки;
 - матеріал, що застосовується для напилення покриття;
 - умови напилення покриття;
 - газ, що використовується (наприклад ацетилен);
 - тип полум'я (наприклад нейтральний);
 - розпилювальна речовина (наприклад повітря, водень);
 - тиск розпилювального газу, МПа (Н/мм^2);
 - енергетичні параметри напилення за приладами установки (наприклад напруга, В; струм, А);
 - дистанція напилення, мм;
 - спосіб розміщення зразків під час напилення (наприклад в плоскому пристосуванні 12 шт, або в пристосуванні для обертання зразків під час напилення);
 - спосіб напилення (наприклад сканувальне пресування напилювального сопла над зразками, розміщеними у плоскому пристосуванні, напилення за один прохід, обдування зразків стисненим повітрям для охолодження у процесі напилення покриття в послідовних стадіях, та ін.);
 - температура випробувань, К ($^{\circ}\text{C}$);
 - час нагрівання і час витримки у нагрітому стані, хв;
 - швидкість переміщення навантажувальної тяги, мм/хв;
 - максимальне зусилля відриву торця штифта від шару покриття, Н;
 - площа торця штифта, мм^2 ;
 - вид відриву (наприклад адгезійний по границі розділу покриття і основи; змішаний; когезійний по шару покриття; прорив — утворення наскрізного отвору у шарі покриття);
 - міцність зчеплення покриття як частка від ділення максимального зусилля відриву на площу торця штифта, МПа (Н/мм^2).

ПРОТОКОЛ № _____ від _____

випробувань міцності зчеплення покриття з основою методом нормального відриву торця штифта на випробувальній машині

Покриття _____

Основа _____

Використані зразки _____

(конічний чи циліндричний штифт, діаметр торця)

1. Підготовка зразків до напилення _____

2. Технологія нанесення покриття _____

3. Обробка покриття після напилення _____

4. Температурний режим випробувань міцності зчеплення _____

ІНФОРМАЦІЙНІ ДАНІ

1. РОЗРОБЛЕНО І ВНЕСЕНО Інститутом проблем міцності АН України
РОЗРОБНИКИ: В.О. Борисенко, д.т.н. (керівник розробки); В.В. Рішин, к.т.н.
2. ЗАТВЕРДЖЕНО І ВВЕДЕНО В ДІЮ наказом Держстандарту України
№ 163 від 29 червня 1994 р.
3. ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ
4. НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНІ ДОКУМЕНТИ, НА ЯКІ Є ПОСИЛАННЯ

Позначення НТД, на який є посилання	номер пункту, підпункту
ГОСТ 9.304—87	Вступ; 2.5
ГОСТ 9.402—80	2.5
ГОСТ 2789—73	6.2
ГОСТ 2930—62	2.9
ГОСТ 3044—84	3.3
ГОСТ 6507—78	3.2
ГОСТ 13384—81	3.4