

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

А. І. Івлісв, Ю. О. Казмиренко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
"Особливості виробництва порошкових
матеріалів та виробів"
Частина 2

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2007

УДК 621.762 (076)

Івлієв А.І., Казимиренко Ю.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Особливості виробництва порошкових матеріалів та виробів": У 2 ч. – Миколаїв: НУК, 2007. – Ч. 2. – 32 с.

Кафедра матеріалознавства і технології металів

Подано загальні відомості та рекомендації щодо виконання лабораторних робіт, які пов'язані з ознайомленням з технологіями виробництва у порошковій металургії. Лабораторні роботи містять практичні та дослідницькі завдання, які сприяють набуттю навиків з виробництва як вихідних порошкових матеріалів, так і виробів з них.

Призначено для студентів спеціальності 8.090103 "Композиційні та порошкові матеріали, покриття".

Рецензент канд. техн. наук, доц. Г.В. Волков

Лабораторна робота № 1

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями термічної та хіміко-термічної обробки порошкових матеріалів.

Загальні відомості

Термічній обробці піддають, в основному, конструкційні порошкові матеріали, які працюють в умовах середнього та високого навантаження, а також матеріали, які застосовують в атомній енергетиці, електротехніці, хімічній промисловості тощо. Для порошкових матеріалів та виробів використовують практично всі види термічної обробки.

Можливість використання різних видів термічної обробки обумовлена тим, що кожна частка порошкового матеріалу представляє собою компактний метал, в якому при нагріванні та охолодженні здійснюються аналогічні перетворення, як і у більшості литого й кованого металу. Але термічна обробка порошкових матеріалів здійснюється за іншими технологічними режимами. Це пов'язано з такими факторами:

порошкові матеріали характеризуються більш розвинутою поверхнею як самих порошкових часток, так і пор, які розташовані між ними;

порошкові вироби під час нагрівання піддаються окисленню, зневуглецюванню, тому при їх термічній обробці потрібно вико-

ристовувати нагрівання з більш високою швидкістю, щоб сповільнювати ці процеси, та у захисних середовищах або засипаннях, які містять вуглець;

наявність пор, які заповнені газом, знижує теплопровідність і температуропровідність виробів. У зв'язку з цим, порівняно з литими матеріалами, будуть відрізнятися швидкості як нагрівання, так і охолодження;

оскільки порошкові матеріали характеризуються більш зниженими значеннями теплофізичних властивостей та міцності, вони менш стійкі до термоударів, тому при різкому охолодженні в їх структурі можуть виникати термічні напруження.

До основних видів бракування порошкових матеріалів при термічній обробці можна віднести: окислення та зневуглецювання, вигорання легуючих елементів, створення загартованих тріщин і короблення виробів, невідповідність структури та твердості виробів.

Підвищення пористості також сприяє утворенню дефектності структури та порушенню механічних властивостей. Занижені значення параметрів термічної обробки призводять до невідповідної структури та підвищених значень твердості, перевищення режимів – до зростання зерна металу й виникнення крупнокристалічного злому.

Для виправлення браку при гартуванні виробу необхідно піддати відпалюванню та здійснити гартування з виконанням усіх відповідних умов.

Хіміко-термічна обробка порошкових матеріалів здійснюється з метою отримання виробу з різними властивостями на поверхні та в серцевині й безпосередньо пов'язана зі зміною їх хімічного складу як по всьому об'єму, так і по глибині січення от поверхні.

Використання різних видів хіміко-термічної обробки розширює можливості формування структури і властивостей порошкових виробів, при цьому здійснюється заповнення або зменшення пор, що має велике значення при підвищенні всього комплексу властивостей. Важливим також є те, що при незначному зменшенні маси виробу (за рахунок зменшення пористості на поверхні) здійснюється різке зростання властивостей усього виробу. Це є необхідним при проектуванні та виробництві конструкцій, в яких зниження ваги значно впливає на масогабаритні показники, наприклад: у суднобудуванні, підводній техніці, авіації.

Найбільш розповсюдженими видами хіміко-термічної обробки, які застосовують для порошкових матеріалів і виробів, є: цементация – насичення поверхневого шару вуглецем; азотування – насичення азотом; сульфідкування – насичення сіркою.

Крім того, у виробництві порошкових деталей часто використовують насичення їх металами: хромом, алюмінієм, титаном, що називається дифузійною металізацією. У практиці порошкової металургії використовують насичення не одним, а водночас декількома елементами, наприклад: карбохромовання (насичення вуглецем, хромом, кремнієм). Таке насичення часто здійснюють під час спікання.

Хіміко-термічна обробка порошкових матеріалів і виробів виконується до або після їх термічної обробки та полягає у нагріванні, витримці при високій температурі в активних газових, рідких або твердих середовищах, у результаті чого змінюється хімічний склад, структура й властивості поверхневого шару матеріалу.

Стан і фізико-хімічна природа насичуючого середовища безпосередньо впливають на результати насичення. Вимоги, які пред'являються до насичуючого середовища, безпосередньо пов'язані з його агрегатним станом, який впливає на глибину дифузійного та насиченого шару та полягають у наступному:

середовище не повинно агресивно впливати на виріб у процесах його обробки, зберігання та експлуатації;

середовище не повинно призводити до погіршення механічних властивостей виробу.

Як насичуюче середовище при хіміко-термічній обробці використовують тверді, рідкі та газові середовища.

Розглянемо більш детально основні види хіміко-термічної обробки, які застосовують для порошкових матеріалів та виробів.

Насичення у твердому середовищі. Як носій активного середовища можуть бути використані порошки чистих елементів, хімічних сполук, сплавів та феросплавів, які містять насичуючий елемент, а також порошки оксидів з добавкою речовин-відновлювачів.

При використанні твердих середовищ основна взаємодія елемента здійснюється у місцях безпосереднього контакту з поверхнею металу. При цьому за рахунок використання високих температур створюється активне газове середовище, що призводить до

насичення через проникнення газової фази крізь пористе тіло. При такому способі насичення збільшується глибина насиченого шару.

Насичення у рідкому середовищі має обмежене використання. При цьому легуючий елемент може знаходитися в електроліті, розплаві металів, солей, оксидів. Насичення у рідкому середовищі здійснюється через протікання хімічної реакції завдяки електролізу, а також за рахунок безпосереднього контакту розплаву з поверхнею виробу.

Насичення у рідкому середовищі може викликати корозійні процеси через зберігання продуктів цих середовищ у порах виробу. Для попередження корозії виріб потрібно ретельно промивати та піддавати відпалу в захисній атмосфері при температурі, яка вище за температуру кипіння відповідного середовища (процес триває до повного видалення середовища з пор матеріалу).

Насичення у газовому середовищі здійснюють у спеціальних печах, контейнерах або на устаткуваннях з окремим виготовленням газової суміші. Для цього використовують водень, галогеніди, кисневі сполуки, складні органічні сполуки. При виборі методу та середовища для насичення необхідно враховувати наступне: при насиченні безпористих матеріалів можна використовувати будь-яке середовище; при насиченні пористих матеріалів найбільш домінуючими є порошкоподібні або газові середовища.

У процесі насичення здійснюється їх доспікання, внаслідок чого протягом певного часу швидкість насичення знижується. Тому для отримання більш щільних та міцних виробів можна суміщати процеси спікання та хіміко-термічної обробки. При поєднанні цих процесів насичуюче середовище у вигляді механічної суміші порошоків або у вигляді газової фази вводиться у контейнер.

Глибина дифузійного шару залежить від хімічного складу насичуючого матеріалу, конфігурації виробу та швидкості нагрівання. Найбільша глибина насичення спостерігається на випуклих поверхнях, менша – на плоских, а особливо, на зігнутих поверхнях.

Поліпшення механічних та фізичних властивостей порошкових матеріалів. Регулювання структури

Відпал. Наприклад, для виготовлення залізграфітних антифрикційних матеріалів необхідно отримати структуру зернистого перліту з включеннями графіту. Для цього використовують операцію відпалу при температурах 750...800 °С у захисній ат-

мосфері. Цей вид термічної обробки знижує твердість порошкових матеріалів, що полегшує їх подальшу механічну обробку та забезпечує стабільність властивостей.

Відпал також використовують з метою гомогенізації хімічного складу по об'єму виробу. Це є необхідним для тих видів матеріалів, які отримують методом гарячого пресування, при якому не забезпечується неоднорідність складу через стислість часу ізотермічної витримки.

Навуглецювання здійснюють для підвищення зносостійкості. Використовують також азотування, ціанування, нітроцементацию.

Застосування хіміко-термічної обробки для захисту від корозії порошкових матеріалів і виробів

Корозійні процеси в порошкових матеріалах протікають більш інтенсивно порівняно з корозійними процесами в литих металах. До об'ємного розвитку корозійних процесів призводить саме відкрита пористість. Для низькопористих матеріалів використовують методи електрохімічного осадження покриттів, такі, як нікелювання, хромування, кадмування. Товщина осадженого металу складає 10...15 мкм, а для збільшення товщини до 25...30 мкм його наносять два-три рази. Однак, при наявності пористості більше ніж 10 %, стає необхідним застосування інших методів захисту від корозії, оскільки осаджений на поверхні матеріалу шар є нещільним. Крім того, попадання електроліту наскрізь порошкового матеріалу викликає їх додаткову корозію. У цьому випадку стає можливим чисто механічний вплив на поверхню: спочатку виріб шліфують, потім полірують, у результаті чого створюється більш ущільнений захисний шар. Можливе використання ущільнюючого обтиснення.

Оксидування та фосфатування поліпшує антифрикційні та міцнісні властивості виробів. Оксидний шар утворюється при обробці матеріалу в лугових розчинах або перегрітим паром оксидування. Для підвищення стійкості оксидних покриттів використовують просочування їх полімерами, наприклад, кремнієорганічною рідиною.

Щільну фосфатну плівку створюють при занурюванні виробів у розчин фосфорнокислих солей магнію, хрому або заліза з температурою 96...100 °С. При паротермічному оксидуванні виріб попередньо нагрівають до температури 500...600 °С, а потім пода-

ють на нього пар. Після витримки протягом 60...100 хв його охолоджують в атмосфері пару.

Обладнання, прилади та матеріали

Електропіч для проведення термічної обробки, пробні зразки порошкових матеріалів різного призначення, твердомір, мікроскоп металографічний, альбом з мікроструктурами.

Порядок виконання роботи

1. Дослідити мікроструктуру порошкових матеріалів різного призначення до та після проведення операцій термічної та хіміко-термічної обробки.

2. За вказівками викладача провести відповідні операції термічної обробки порошкових матеріалів або виробів.

3. Провести вимірювання твердості порошкових матеріалів або виробів після термічної обробки.

4. Проаналізувати зв'язок між проведеними видами термічної обробки, структурою та твердістю дослідних порошкових матеріалів або виробів.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.

2. Навести дані про основні види термічної та хіміко-термічної обробки, які застосовують для порошкових матеріалів.

3. Записати вид та режими термічної обробки, які були проведені для пробних зразків порошкових матеріалів різного призначення.

4. Навести результати досліджень мікроструктури зразків порошкових матеріалів різного призначення після здійснення різних видів термічної та хіміко-термічної обробки.

5. Навести результати вимірювання твердості зразків порошкових матеріалів різного призначення після термічної обробки.

6. Зробити висновки, в яких проаналізувати вплив операцій термічної та хіміко-термічної обробки на структуру й властивості порошкових матеріалів та виробів.

Контрольні питання та завдання

1. Обґрунтуйте доцільність та можливість використання термічної обробки для порошкових матеріалів.

2. Назвіть види термічної та хіміко-термічної обробки, які застосовують для порошкових матеріалів і виробів.

3. Наведіть та охарактеризуйте основні види бракування, які виникають під час термічної обробки порошкових матеріалів. Поясніть причини їх появи.

4. Назвіть, у чому полягають особливості здійснення технологічних операцій термічної та хіміко-термічної обробки для порошкових матеріалів.

5. Охарактеризуйте хіміко-термічну обробку як один із способів захисту порошкових матеріалів від корозії.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ПРОСОЧЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЗАГОТІВЕЛЬ

Мета роботи: дослідити особливості процесу просочення порошкових заготівель розплавом металу.

Загальні відомості

Особливістю структури металевих порошкових і композиційних матеріалів є те, що функцію матриці в них виконують метали або сплави. Як армуючі компоненти використовують волокна, порошки, гранули вольфраму, карбїду кремнію, карбїду титану, молібдену, борсіка, оксиду алюмінію.

Технологічні процеси виготовлення порошкових і композиційних матеріалів з металевою матрицею повинні забезпечувати: одержання потрібної форми матеріалу; введення армуючих волокон у матрицю без їх руйнування; виключення взаємодії матеріалів волокна і матриці; необхідну міцність на границі розподілу волокно–матриця; рівномірність розподілу волокон.

Для виготовлення порошкових і композиційних матеріалів з металевою матрицею найбільше застосування знайшли посередні методи, до яких відносяться: холодне пресування та спікання; гаряче пресування; динамічне гаряче пресування; просочення рідким металом; ексрудування й прокатка (з додатковими відпалами); електроосадження; плазмове осадження; осадження з парів; спо-

лучення складових композиції шляхом імпульсного підводу енергії. Ці методи є також достатньо економічними завдяки можливості їх удосконалення під час виконання.

Серед посередніх методів отримання металевих композиційних матеріалів широкого використання набули технології просочення рідкими металами, основні види якого поділяють на:

- 1) просочення пасма волокон під дією капілярних сил, примусового тиску стовпа рідкого металу, атмосферного тиску;
- 2) протягання пасма волокон через розплавлений метал;
- 3) примусове просочення пасма волокон рідким металом під дією високих тисків.

Однак ці види просочення використовують тільки при відсутності помітної взаємодії між компонентам композиції. Необхідно підкреслити, що більшість перспективних волокон, зокрема борних і вуглецевих, сильно взаємодіють з рідкими металами, що значно обмежує застосування цього методу при отриманні металевих композиційних матеріалів. Перспективні технології допускають просочення рідкими металами керамічних волокон, таких, як Al_2O_3 та SiC.

Серед технологій порошкової металургії найбільш поширеними є технології довільного (самочинного) та вакуумного просочення.

Довільне просочення пористих матеріалів здійснюється при повному їх занурюванні у рідкий метал. Перевага цього методу полягає у можливості використання звичайної ливарної оснастки та отримання виробів складної конфігурації, недолік – у наявності пор та порожнин, які утворюються внаслідок об'ємної усадки при кристалізації та недовгого заповнення пор. Однак, необхідною умовою самочинного просочування є змочування рідкою фазою порошкового каркаса. У більшості випадків процес здійснюють на повітрі через небезпеку окислення металів. Також цей метод застосовують для формування виробів з керметів та псевдосплавів.

Вакуумне просочення являє собою різновид просочування під дією атмосферного тиску. Цей спосіб дозволяє захистити пористий каркас порошкового матеріалу від окислювання, поліпшує процес змочування, сприяє скороченню часу контакту матриці з рідким металом.

Просочування під тиском передбачає заповнення пор рідким

металом під тиском, значення якого не перевищує 0,1 МПа. Процес може здійснюватися за допомогою поршневих або компресорних машин для відповідних способів литва. Широко використовується спосіб просочування під тиском інертних газів.

Відцентроване просочування використовується для отримання виробів, які мають форму тіл обертання, таких, як труби, кільця, втулки, а також деталі складної конфігурації з товщиною стінки 1...3 мм. У цьому випадку пористий каркас з метою просочування вміщують у форму, в яку заливається розплавлений метал, і далі піддається обертанню. Під дією відцентрованих сил він розповсюджується по стінках форми та просочує пористий каркас. Форма отриманих виробів є максимально приблизною до завданої, та деталь у більшості випадків не потребує механічної обробки.

Ультразвукове просочення ґрунтується на тому, що швидкість руху рідини по об'єму пор забезпечується ультразвуковими коливаннями, що суттєво прискорює процес.

Метод просочування дозволяє варіювати експлуатаційні характеристики виробів та виготовляти композиції з різних матеріалів, наприклад, поєднання металевої матриці з керамікою, полімерами або графітом.

Найбільшого використання в техніці набули матеріали на основі карбиду вольфраму, які просочені рідким сплавом кобальту (системи WC-Co). При нагріванні пресовки з карбиду вольфраму, на яку зверху покладений чистий кобальт, здійснюється частинне спікання карбідних порошоків. При температурі 1550 К утворюється евтектика у місцях контакту пресовки з кобальтом та з'являється рідка фаза. При температурі 1720 К протягом 10 хв кобальт повністю розплавляється та просочує каркас. Однак, при цьому верхня частина виробу є більш щільною. Для вирівнювання складу по всьому об'єму необхідна витримка протягом 2...4 год. Структура твердого сплаву складається з часток карбиду, які оточені кобальтовою матрицею.

Не менш поширеного застосування набули матеріали на основі карбиду титана. Саме карбід титана характеризується високою окислостійкістю, низькою щільністю, добре змочується перехідними металами. У промисловості використовують кермети на основі карбиду титану, який просочений вуглецевими або легуваними сталлями та жароміцними нікелевими сплавами. У цих випадках рідкий метал змочує карбід титану, а у більшості випадків

і взаємодіє з ним при підвищених температурах. Так, наприклад, хром, утворює карбід хрому, з якого формуються мостики між зернами карбиду титану, які знижують пластичність та в'язкість кермету.

Як рідкий метал також може бути використаний і алюміній. Застосування міді, мідно-нікелевих сплавів Cu–10 % Ni або марганцевого мельхіору МНМц60-20-20 та мідно-срібних сплавів дозволяє виготовляти кермети для роботи в умовах хімічного виробництва.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання лабораторної роботи використовуються: електропіч лабораторна, форма для просочення, пробні зразки пористих заготівель, мікроскоп металографічний, комп'ютер, альбом з мікроструктурами.

Порядок виконання роботи

1. За вказівками викладача виконати просочення порошкової заготовки розплавленим металом.
2. Підготувати шліф отриманого порошкового матеріалу.
3. Дослідити мікроструктуру отриманого зразка порошкового матеріалу з металевою матрицею.
4. Порівняти з існуючими (наведеними в альбомі) мікроструктуру зразка, отриманого в лабораторній роботі.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.
2. Навести дані щодо основних напрямів технологій просочення рідким металом порошкових заготівель.
3. Описати метод, з використанням якого було виконано просочення рідким металом пористої заготовки.
4. Зарисувати або сфотографувати мікроструктуру отриманого порошкового матеріалу з металевою матрицею.
5. Зробити висновки, в яких проаналізувати особливості формування структури порошкових матеріалів при просоченні заготівель рідким металом.

Контрольні питання та завдання

1. Назвіть та охарактеризуйте основні види просочення рідким металом пористих заготівель.

2. Охарактеризуйте особливості структури порошкових і композиційних матеріалів, отриманих за допомогою методів просочення рідким металом.

3. Наведіть приклади порошкових матеріалів, які отримують методами просочення рідким металом. Охарактеризуйте їх.

4. Назвіть області застосування та охарактеризуйте властивості керметів, які отримують методами просочення рідким металом.

5. Поясніть, як формується структура матеріалу при просоченні пористого каркаса рідким металом.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості структури і властивостей конструкційних порошкових матеріалів.

Загальні відомості

Конструкційні матеріали завдяки поєднанню механічних властивостей та довговічності забезпечують надійну експлуатацію машин та навантажених механізмів. Зменшення металоємності сучасних конструкцій можливе через застосування у виробництві перспективних технологій порошкової металургії. Крім того, використання порошкових матеріалів дає значний економічний ефект за рахунок скорочення розходу металу, зниження експлуатаційних витрат, що обумовлено зменшенням об'єму механічної обробки. Типовими деталями, які виготовляються методами порошкової металургії, є: шестерні, кулачкові механізми, кільця, шайби, фланці, ковпачки, корпуси підшипників, статори тощо.

До порошкових матеріалів конструкційного призначення пред'являються вимоги забезпечення безвідмовної роботи машин, апаратів, приладів протягом усього періоду експлуатації.

Конструкційні порошкові матеріали класифікують у залежності від умов експлуатації та ступеня навантаження. За умова-

ми експлуатації конструкційні порошкові матеріали розділяють на дві групи. Першу групу складають матеріали загального призначення, які замінюють звичайні вуглецеві та леговані сталі. За складом їх поділяють на матеріали на основі заліза та на основі кольорових металів і сплавів. Друга група включає в себе матеріали зі спеціальними властивостями: зносостійкі, жароміцні, жаростійкі, корозійностійкі, електротехнічні тощо. За ступенем навантаження конструкційні порошкові вироби поділяють на чотири групи в залежності від межі міцності матеріалів на стискання та його пористості. Розглянемо більш детально ці групи.

1. Малонавантажені: межа міцності при пористості 16...25 % не перевищує 20...25 % від межі міцності безпористого матеріалу. Деталі, які виготовляються з цього матеріалу, не підлягають розрахунку на міцність, а їх розміри обираються на підставі призначення. Цей вид матеріалу доцільно виготовлявати з порошку заліза або шихти на його основі, при цьому використовують технологію холодного пресування з подальшим спіканням. Для підвищення їх корозійної стійкості вироби просочують мастилом, полімерами або легкоплавкими металами.

2. Помірно навантажені: пористість матеріалів складає 10...15 %, а межа міцності на стискання складає 50...55 % від межі міцності безпористого матеріалу. Цей вид матеріалів отримують з порошоків вуглецевих або низьколегованих сталей, застосовують при цьому одне або подвійне пресування та подальше спікання. При виготовленні деталей підвищеної складності використовують механічну обробку, для деталей середньої складності – калібровку. У залежності від умов експлуатації деталі піддають термічній обробці.

3. Середньонавантажені: їх пористість не повинна перевищувати 9 %, оскільки вони використовуються при статичних та динамічних навантаженнях. Цей вид конструкційних матеріалів отримують з порошоків вуглецевих або легованих сталей, кольорових металів та сплавів. Вироби виготовляють подвійним пресуванням та подальшим спіканням, також застосовують гарячу або холодну штамповку з наступною термічною або хіміко-термічною обробкою.

4. Важко навантажені: величина їх пористості складає не більше ніж 2 %. Цей вид деталей експлуатується в умовах великих статичних та динамічних навантажень, тому їх доцільно ви-

готовляти з порошків легованих сталей або сплавів. Виробництво деталей здійснюють за допомогою високоенергетичних методів, таких, як гаряче та ізостатичне пресування, а також штампування спечених порошкових заготівель з подальшою термічною, хіміко-термічною або термомеханічною обробкою.

Для середньо- та важко навантажених деталей використовують матеріали, межа міцності яких складає відповідно 70...75 % та більше ніж 90 % від межі міцності безпористого матеріалу. До цих виробів можна віднести: шестерні, важелі, кулачкові механізми. Деталі цієї групи підлягають розрахункам на міцність, жорсткість та довговічність у заданих умовах експлуатації.

Важливою структурною характеристикою, яка визначає властивості конструкційних порошкових матеріалів, є пористість та будова міжчасткових контактів, які суттєво впливають на міцність матеріалу. Не зважаючи на те, що наявність пористості значно знижує масогабаритні показники конструкцій, пористість конструкційних порошкових матеріалів обмежується значенням 25 %, оскільки при більших її значеннях спостерігається інтенсивна корозія та знижується надійність деталей. Структура конструкційних порошкових матеріалів повинна бути однорідною, термічно стабільною, забезпечувати заданий рівень механічних властивостей.

При виробництві конструкційних порошкових матеріалів достатню увагу необхідно приділяти вибору вихідної сировини, відповідної технологічної схеми виробництва та методів додаткової обробки. Як вихідну сировину для виготовлення конструкційних порошкових матеріалів використовують порошки чистих металів або сплавів, які отримують різними методами: відновленням оксидів твердими та газоподібними відновлювачами; розпиленням розплавів металів за допомогою повітря, газів, центробіжних сил; електролізом водних розчинів або розплавів; дифузійним насиченням з точечних джерел; синтезом з елементів; дисоціацією карбонілів; випаровуванням та конденсацією. Основними методами отримання порошків заліза, міді, нікелю, кобальту є відновлення їх оксидів, а порошків легованих сталей – розпилення розплаву з використанням води або інертного газу. Вибір вихідних компонентів безпосередньо залежить від призначення деталей, умов їх експлуатації, технології виготовлення та вартості порошків.

Більшість матеріалів і виробів конструкційного призначення

виготовляється із залізного порошку з добавками вуглецю до 0,9 %. Із метою отримання вуглецевих порошкових сталей як вихідні матеріали використовують суміші порошку заліза з графітом або порошком чугуна. Джерелом вуглецю також може бути сажисте залізо, в якому вуглець знаходиться у високоактивному стані. Слід відмітити, що механічні властивості виробів безпосередньо залежать від дисперсності графіту: чим менше дисперсність графіту та більше його рівномірність розподілу по структурі, тим вище механічні властивості порошкового матеріалу.

Підвищенню характеристик міцності конструкційних матеріалів сприяє також застосування порошків легованих сталей, де найбільш домінуючими елементами є мідь, нікель, хром, молібден тощо, які зміцнюють структуру та здатні регулювати усадку. Так, наприклад, додавання міді до порошку заліза при твердофазному спіканні викликають збільшення об'єму виробу та компенсують усадку, що призводить до отримання безпористих виробів. Однак збільшення кількості міді вище ніж 5 % суттєво знижує пластичність сталі. Узагалі леговані порошкові сталі можна отримати із суміші порошків основи сплаву з легуючими елементами або з їх лігатур чи з легованих порошків, які виробляють різними методами. Високоміцні порошкові сталі за механічними характеристиками не поступають сталям, які отримані за допомогою традиційних методів.

Як конструкційні матеріали для застосування в електричній, радіотехнічній та електронній промисловості, а також для виготовлення деталей загального призначення використовують матеріали на основі порошків кольорових металів і сплавів. Саме їм властиві високі теплопровідність та корозійна стійкість, вони добре обробляються різанням та тиском. За хімічним складом ці матеріали відповідають литим, але відрізняються від них за структурою. Широко використовують матеріали на основі міді, латуні та бронзи, а також сплави на основі алюмінію, магнію та титану. Легуючими елементами на основі алюмінію є магній, манган, кремній та цинк, що утворюють разом з алюмінієм інтерметаліди, які забезпечують можливість проведення термообробки (старіння) сплавів. Сплави на основі магнію легують алюмінієм, марганцем, цинком, кадмієм, які також дозволяють проводити подальшу термічну обробку. Титан легують алюмінієм, молібденом, ванадієм, кремнієм, хромом. Вихідними компонентами для отримання конструкційних матеріалів можуть бути порошки чистих кольо-

рових металів, суміші порошків та лігатур, попередньо леговані порошки.

Визначення уявної твердості порошкових матеріалів

Однією з важливих властивостей порошкових матеріалів є уявна твердість, яка визначається згідно з ГОСТ 25698–98 (ISO 4498-1-90). Однак цей стандарт виключає в себе дослідження твердих сплавів та спечені матеріали, які були термооброблені.

Оскільки спечений порошковий матеріал складається із щільного металевого каркаса й пор, його твердість зазвичай менша за твердість литих матеріалів. Однак функціональні характеристики цих матеріалів не відстають від відповідних показників литих матеріалів з еквівалентною щільністю металевого компоненту. Твердість, яку отримують при дослідженні спечених порошкових металевих матеріалів за допомогою вимірювальної апаратури за методами Брінелля, Роквелла та Віккерса, називають *уявною щільністю*.

При дослідженнях поверхня пробних зразків повинна бути чистою, гладкою та плоскою, щоб забезпечити отримання точних значень твердості. Вимірювання здійснюють при температурі від 10 °С до 35 °С. При випробуваннях спочатку визначають клас твердості, до якого відноситься зразок порошкового матеріалу. Для цього міряють твердість за Віккерсом (HV) при навантаженні 49,03 Н (5 кгс). Потім відповідно до таблиці (див. дод. А) встановлюють клас твердості. Далі проводять випробування на твердість за Роквеллом (див. дод. Б). Однак метод визначення твердості за Віккерсом залишається контрольним (арбітражним). У випадках, коли після першого випробування виникають сумніви щодо вибору класу точності або значення твердості охоплюють більше ніж один клас точності, необхідно обрати більш низький клас точності. Випробування проводять по 5 разів на одному зразку в різних точках.

Обробку результатів вимірювань здійснюють наступним чином: визначають середньоарифметичне чотирьох значень твердості, що залишилися, та округляють його з точністю до найближчого цілого числа. Інший метод обробки результатів полягає в тому, що всі п'ять відбитків твердості є характеристикою матеріалу. У цьому випадку результати цих вимірювань приймають до згоди між зацікавленими сторонами та вказують у нормативному документі на конкретний матеріал. Не допускається пере-

ведення значень твердості за Віккерсом, Брінеллем та Роквеллом з однієї шкали до іншої.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання лабораторної роботи використовуються: мікроскоп металографічний, комп'ютер, терези з гирями, вимірювальний інструмент, твердомір Віккерса, твердомір Роквелла, пробні зразки конструкційних порошкових матеріалів, фотоальбом з мікроструктурами.

Порядок виконання роботи

1. Визначити габаритні розміри пробних зразків конструкційних порошкових матеріалів.
2. Визначити масу та щільність пробних зразків конструкційних порошкових матеріалів.
3. За допомогою мікроскопа та комп'ютерного комплексу "Мегран" дослідити особливості мікроструктури конструкційних порошкових матеріалів, порівняти їх зі структурами, які зображені в альбомі.
4. За допомогою випробувань на твердість за Віккерсом (HV) визначити клас твердості, до якого відноситься зразок дослідного конструкційного порошкового матеріалу.
5. За допомогою твердоміра Роквелла визначити твердість зразків конструкційних порошкових матеріалів.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.
2. Навести дані про класифікацію, склад та призначення конструкційних порошкових матеріалів.
3. Записати результати досліджень особливостей структури конструкційних порошкових матеріалів.
4. Записати результати досліджень уявної твердості конструкційних порошкових матеріалів.
5. Зробити висновки, в яких проаналізувати особливості структури та характеристик твердості конструкційних порошкових матеріалів.

Контрольні питання та завдання

1. Наведіть приклади застосування конструкційних порошкових матеріалів.
2. Наведіть класифікацію конструкційних порошкових матеріалів.
3. Назвіть структурні характеристики, які впливають на міцність конструкційних порошкових матеріалів.
4. Проаналізуйте способи виробництва та склад мало-, помірно, середньо- та важко навантажених конструкційних порошкових матеріалів.
5. Охарактеризуйте методи визначення твердості металевих порошкових матеріалів.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості структури і властивостей антифрикційних порошкових та композиційних матеріалів.

Загальні відомості

Антифрикційні порошкові матеріали використовують для виготовлення деталей вузлів тертя: підшипників ковзання, шайб, торцевих ущільнень, вкладишів. Їх можна класифікувати як за складом, так і за способом експлуатації.

За складом антифрикційні матеріали підрозділяють на матеріали на основі міді, заліза, нікелю, кобальту, алюмінію та металевих сплавів; матеріали на основі тугоплавких металів та сполук; металографітні матеріали; металеві двошарові матеріали на сталевій підкладці; матеріали на пористих металевих каркасах, які просочені фторопластом; металоскляні матеріали.

За способом експлуатації антифрикційні порошкові матеріали працюють в умовах рідкого змащування; з обмеженою змащуваністю; в режимі самозмащування; без змащування у повітряному середовищі; у вакуумі та в середовищі інертних газів; при підви-

щених температурах; при високих швидкостях ковзання; у воді й корозійному середовищі; як торцеві та радіальні ущільнення; як ковзані контакти і поршневі кільця.

Антифрикційні матеріали на основі міді крім антифрикційних властивостей характеризуються корозійною стійкістю та високою теплопровідністю. Вони використовуються у вузлах тертя різних машин та механізмів, а також в електротехніці як ковзані струмознімальні електроконтакти. До матеріалів на основі міді відносяться: пориста олов'яниста бронза, легована пориста бронза, бронзографіт, стрічкові безпористі бронзові матеріали на сталевій підкладці з просочуванням пористого шару пластмасою або бабітом, композиції мідь–графіт та інші.

Антифрикційні матеріали на основі заліза експлуатуються в умовах підвищених навантажень, швидкостей ковзання, температур, в агресивних середовищах, в умовах абразивного зношування. На основі заліза виготовляють велику кількість антифрикційних матеріалів: пористе залізо, яке просочено мастилом; залізграфіт; композиції залізо–мідь–графіт; пористі матеріали, які просочені свинцем або легкоплавкими сплавами на основі міді, свинцю й олова та інші.

Антифрикційні матеріали на основі нікелю та кобальту використовують для виготовлення виробів, які працюють в особливо важких умовах. Цей вид матеріалів характеризується високою пластичністю, тому їх застосування обмежене та є можливим лише при використанні великої кількості змащування та швидкості ковзання менше ніж 1 м/с. Деталі вузлів тертя виготовляють з багатоконпонентних сплавів, до яких відносяться: залізонікелеві сплави, сплави на основі тугоплавких карбідів, композиції Co–TiC та інші.

Антифрикційні матеріали на основі алюмінію характеризуються низькою щільністю, високою теплопровідністю на поверхні тертя, корозійностійкістю. Крім того, вони мають низьку вартість. При експлуатації в умовах змащування використовують підшипники з пористістю 10...60 % (для цього їх просочують мастилом), а в умовах сухого тертя використовують матеріали з пористістю нижче ніж 5 %. Широко використовують антифрикційні матеріали на основі алюмінію, які леговані міддю, кремнієм, оловом, хромом, залізом, нікелем. Додаток графіту до складу матеріалів дозволяє використовувати їх без змащування.

Матеріали на основі тугоплавких металів та сполук використовують як антифрикційні матеріали для роботи в таких умовах: спеціального абразивного зношування, корозійних й агресивних середовищах, високих температур, високих значеннях тиску та швидкості ковзання. До цього типу матеріалів відносяться матеріали на основі боридів титану, цирконію та гафнію, композиції яких містять тугоплавкі метали тієї ж групи. Основою тугоплавких антифрикційних матеріалів можуть бути й інші тугоплавкі сполуки: карбіди бору, титану, вольфраму, ніобію, танталу, кремнію. Для підвищення міцності їх при температурі 1250 °С просочують феросплавами, які також містять бор та кремній.

Металографітні антифрикційні матеріали на основі заліза, бронзи та інших металів і сплавів містять до 30...50 % графіту. Такі матеріали забезпечують працездатність підшипників ковзання при температурах до 350 °С для матеріалів на основі бронзи та латуней і до 600 °С для матеріалів на основі заліза. Введення сульфідів до складу металографітних матеріалів також допомагає використовувати їх для роботи у середовищі води і пару при температурах до 150...200 °С та при навантаженнях вище ніж 18 МПа зі швидкістю 1,0...2,5 м/с. Цей тип матеріалів використовують для виготовлення підшипників, торцевих ущільнень, струмомознімальників, які застосовують у машинобудуванні, а також в електротехнічній, текстильній та харчовій промисловостях.

Металоторопластові антифрикційні матеріали являють собою порошковий пористий каркас із сферичних або несферичних часток олов'янистої бронзи, який просочений чистим фторопластом або його сумішшю з порошками свинцю, графіту або сульфиду молібдену. Антифрикційні властивості таких матеріалів залежать від структури пористого каркаса, властивостей вихідних компонентів, а також від розміру та форми пор.

Двошарові антифрикційні матеріали на сталевій підкладці складаються із сталевій стрічки з нанесеним на її поверхню бронзовим пористим шаром, який додатково просочений легкоплавким антифрикційним сплавом (на основі міді або алюмінію, а також бабітом), фторопластом або мастилом. Вибір того або іншого типу матеріалу визначається умовами його експлуатації.

Металоскляні антифрикційні матеріали являють собою сплави на основі заліза, в порах якого міститься ситалізоване скло, яке здійснює позитивний вплив на їх антифрикційні властивості. Ком-

позиції на основі залізографіту характеризуються більш низьким коефіцієнтом тертя, менше зношуються, мають більший термін експлуатації порівняно з матеріалами, які не містять скла.

Матеріали на основі графіту використовують для виготовлення підшипників ковзання й торцевих ущільнень механізмів, які працюють у прісній і морській воді та агресивних середовищах.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання роботи використовуються: металографічний мікроскоп, комп'ютер, мікротвердомір, терези з гирями, вимірювальний інструмент, пробні зразки антифрикційних порошкових матеріалів, посуд з дистильованою водою, фотоальбом з мікроструктурами.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою штангенциркуля провести вимірювання габаритних розмірів пробних зразків антифрикційних матеріалів.

2. З використанням лабораторних терезів визначити масу пробних зразків з точністю до 0,01 г. Визначити щільність зразків.

3. Зробити аналіз мікроструктури зразків антифрикційних матеріалів, порівняти їх з мікроструктурами, які зображені у фотоальбомі.

4. За допомогою мікротвердоміра дослідити мікротвердість різних порошкових складових антифрикційних матеріалів.

5. З використанням програмного комплексу "Мегран" дослідити розподіл різних порошкових складових антифрикційних матеріалів за розміром та формою.

6. З використанням програмного комплексу "Мегран" визначити пористість зразків антифрикційних матеріалів.

7. Визначити відкриту пористість пробних зразків за допомогою методики насичування рідиною.

8. Проаналізувати отримані дані.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.

2. Навести дані про класифікацію, склад та призначення антифрикційних порошкових матеріалів.

3. Зарисувати або сфотографувати мікроструктури антифри-

кційних порошкових і композиційних матеріалів; навести розрахункові дані, які отримані за допомогою методів комп'ютерної металографії.

4. Порівняти результати, які одержані експериментальним шляхом та за допомогою методів комп'ютерної металографії.

5. Зробити висновки, в яких проаналізувати вплив пористості на властивості антифрикційних порошкових матеріалів.

Контрольні питання та завдання

1. Наведіть класифікацію антифрикційних порошкових матеріалів.

2. Охарактеризуйте антифрикційні порошкові матеріали на основі міді, заліза та алюмінію.

3. Охарактеризуйте антифрикційні матеріали на основі нікелю, кобальту та тугоплавких металів.

4. Охарактеризуйте металографітні, металофторопластові та металоскляні антифрикційні порошкові матеріали.

5. Охарактеризуйте двошарові антифрикційні матеріали на сталевій підкладці та матеріали на основі графіту.

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ФРИКЦІЙНИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: дослідити особливості структури і властивостей фрикційних порошкових матеріалів.

Загальні відомості

Фрикційні порошкові матеріали використовують для виготовлення гальмівних вузлів, за допомогою яких також здійснюється передача крутячого моменту від одного валу до іншого, запобігання виходу пристроїв з ладу. Протягом експлуатації фрикційні матеріали повинні поглинати велику кількість енергії, що призводить до різкого підвищення температури на поверхні тертя. Для цих умов експлуатації більш ефективними є матеріали, одержу-

вані за допомогою порошкової металургії, яка дозволяє створювати композиції, до складу яких входять як металеві, так і неметалеві компоненти. Іншою перевагою методу порошкової металургії є можливість отримувати матеріали із заданою кількістю пор, які далі можуть бути заповненими металевими або неметалевими сполуками, наприклад, пластмасами.

До фрикційних матеріалів пред'являються наступні вимоги: високий коефіцієнт тертя, зносостійкість, припрацьовуваність, стійкість до тужавності, тепло- та вогнестійкість, достатня механічна міцність. Крім того, всі фрикційні матеріали повинні задовільно оброблятися, добре припікатися до сталевого каркаса, бути масло- та корозійностійкими, безшумними в роботі, а також стійкими до різних кліматичних умов.

Пара тертя – це сукупність двох рухливо спряжених деталей в умовах експлуатації або випробувань.

Коефіцієнт тертя залежить, в основному, від матеріалу пар тертя та умов їх роботи, стану поверхні, режиму роботи, тобто температури, швидкості, навантаження. Саме стабільність коефіцієнтів тертя визначає плавну роботу гальмівного вузла, що попереджає різке підвищення температури в зоні тертя та зменшує зношення фрикційного матеріалу, від нього також залежить величина енергії, яка може поглинатися гальмом, що визначає його габаритні розміри. Для більшості гальмівних вузлів необхідне використання фрикційних пар із середнім коефіцієнтом тертя 0,05...0,30; при цьому відхилення від цього діапазону не повинні перевищувати $\pm 15\%$. У вузлах тертя, які працюють при наявності змащування, необхідно використовувати матеріали, які забезпечують коефіцієнт тертя не менше 0,05; а у фрикційної пари, яка працює при відсутності мастила, у важко навантажених вузлах – повинен бути не менше ніж 0,20.

Зносостійкість – важлива властивість фрикційних матеріалів, яка визначає його опір до стирання та обумовлює тривалість терміну служби гальмівного вузла, а також його компактність. Зносостійкість фрикційних матеріалів безпосередньо залежить від їх складу, міцності та твердості металевої матриці. З іншого боку металева основа повинна бути пластичною, щоб утримувати частки фрикційних та протизадирних присадок. Поряд із цим, для зменшення зношення до складу фрикційних матеріалів необхідно вводити речовини, які виконують функцію змащування. Зно-

состійкість фрикційних порошкових матеріалів визначається питомим лінійним зношуванням, яке знаходиться у межах 0,01...10 мкм за один робочий цикл; для матеріалів, які працюють в умовах змащування, цей показник знижується та повинен відповідати діапазону 0,001...0,150 мкм за один робочий цикл.

Припрацьовуваність – це одна з важливих властивостей, якими повинен володіти фрикційний матеріал. Стабільні властивості фрикційної пари обумовлюються якістю робочого шару на поверхні фрикційного матеріалу, який утворюється у початковий момент тертя. Вихідна поверхня завжди характеризується шорсткістю та вовнистістю. Протягом експлуатації площа третя поступово збільшується та досягає значення, яке повинно складати не менше ніж 80 % від номінальної. Період перебудування рельєфу поверхні називається періодом припрацьовування, який поступово повинен стати мінімальним, характеризується зростанням фактичної площі доторкання та зниженням температури від максимальної до середньої, зростанням коефіцієнта тертя, а також утворенням робочого шару, який власне і забезпечує стабільну роботу фрикційної пари. Швидкість припрацьовування залежить від складу фрикційного матеріалу та умов роботи.

Стійкість до тужавності визначає плавний робочий цикл гальмівного пристрою. Протягом експлуатації зчеплення може проявлятися у наволакуванні матеріалу одної фрикційної пари на іншу, утворенні задирів та виливів за рахунок зварювання часток матеріалів у результаті сумісного пластичного деформування. Саме тужавність визначає ступінь зношування та стабільність коефіцієнта тертя. Для підвищення стійкості матеріалів до тужавності до їх складу вводять спеціальні добавки із шаруватою будовою кристалічної решітки.

Теплостійкість фрикційних матеріалів дозволяє зберігати експлуатаційні властивості в широкому інтервалі температур. У важких умовах роботи фрикційної пари температура на окремих ділянках може досягати температури плавлення металу, при цьому поверхневий шар ром'якшується, втрачає пластичність, унаслідок чого знижується зносостійкість матеріалу. Крім того, різке підвищення температури може створити умови для займання матеріалу фрикційної пари та продуктів зношення. Тому фрикційні матеріали повинні бути тепло- та вогнестійкими. Поряд із цим, їм мають бути властиві високі коефіцієнти тепло- та

температуропровідності, висока теплостійкість та здатність відводити теплоту від поверхні тертя.

Механічна міцність визначає ефективність експлуатації фрикційних матеріалів, оскільки протягом роботи вони витримують високі напруги стискання, центробіжні зусилля, а також навантаження, яке виникає при монтажі та експлуатації фрикційних пар. Однак у більшості випадків механічної міцності цих матеріалів не вистачає та його зміцнюють шляхом припикання до сталевого несучого каркаса.

Класифікація фрикційних порошкових матеріалів. Фрикційні порошкові матеріали в залежності від принципів поділяють на дві великі групи: матеріали, які працюють в умовах сухого тертя; та матеріали, які працюють у мастилі. Перші з них піддаються тиску 2,5 ГПа та мають вихідну швидкість гальмування до 50 м/с. При цьому температура на поверхні тертя може досягати 1000...1200 °С, а в об'ємі матеріалу – до 700 °С. Для матеріалів, які працюють у мастилі, вихідна швидкість гальмування складає 100 м/с при значеннях тиску до 7 ГПа, однак температура на поверхнях тертя та в об'ємі матеріалу не перевищує 150...200 °С.

Склад та властивості фрикційних порошкових матеріалів

Для роботи в умовах сухого тертя використовують матеріали на основі заліза або міді, а для роботи в мастилі – зазвичай на основі міді. Матеріали на основі заліза використовують для експлуатації у важких та дуже важких умовах, на основі міді – для роботи у більш легких умовах.

Основні властивості фрикційних матеріалів, які отримані методами порошкової металургії, наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Властивості фрикційних матеріалів

Властивості	Марка матеріалу				
	ФМК-8	ФМК-11	МКВ-50А	СМК-80	МК-5
Щільність, г/см ³	6,0	6,0	5,0	5,7	6,0...6,2
Твердість НВ, МПа	600...900	800...1000	800...1000	800...1000	250...280
Межа міцності при розтягуванні, МПа	900...100	90...70	30...40	–	24
Межа міцності на стискання, МПа	450...500	300...350	150...210	200...250	250...280
Теплопровідність, Вт/(м·К)	37,7	19...46	18,8...27,2	21...29	–

Продовж. табл. 5.1

Властивості	Марка матеріалу				
	ФМК-8	ФМК-11	МКВ-50А	СМК-80	МК-5
Коефіцієнт термічного розширення, $\times 10^6, K^{-1}$	–	–	12,67	–	17...22
Коефіцієнт тертя (сухого)	0,21...0,22	0,21...0,27	0,25...0,37	0,39	0,25...0,30

Фрикційний матеріал марки ФМК-8 містить велику кількість легуючих металів (хром, нікель, вольфрам) та неметалевих добавок (сірка, графіт). Призначений для роботи в умовах сухого тертя, які характеризуються високою енергоємністю. До його недоліків можна віднести: недостатньо високий та стабільний коефіцієнт тертя, схильність до тужавності. Указані недоліки не є характерними для фрикційного матеріалу марки ФМК-11.

Фрикційний матеріал марки ФМК-11 у своєму складі містить 20 % неметалевих компонентів, таких, як графіт, азбест, силікати, завдяки чому цей матеріал не схильний до тужавності, не втрачає своєї форми під дією теплових ударів.

Фрикційний матеріал марки МКВ-50А містить підвищену кількість фрикційних добавок, таких, як SiC, B₄C, та містить тверді змащувальні частинки, такі, як графіт. Завдяки цьому цей матеріал має достатньо високий коефіцієнт тертя – 0,30...0,37. Його механічні властивості є стабільними у межах температур до 600 °С. Використовується для виготовлення дискових гальмів.

Фрикційний матеріал марки СМК-80 характеризується високим (0,36...0,39) і стабільним коефіцієнтом тертя. Крім того, ці матеріали порівняно з іншими мають найбільшу зносостійкість. У складі цих матеріалів не містяться графіт й азбест, але містяться фрикційні добавки B₄C та SiC і тверді змазки MoS, VN.

Фрикційний матеріал марки МК-5 на основі олов'янистої бронзи, для підвищення коефіцієнта тертя як добавки містить залізо, свинець та графіт – як тверді змазки. Олово утворює твердий розчин з міддю, що призводить до підвищення характеристик міцності та зниження зношення.

Обладнання, прилади та матеріали

Для виконання лабораторної роботи використовуються: мікроскоп металографічний, комп'ютер, терези з гирями, штангенцир-

куль, твердомір Віккерса, твердомір Роквелла, пробні зразки фрикційних порошкових матеріалів, фотоальбом з мікроструктурами.

Порядок виконання роботи

1. Визначити габаритні розміри пробних зразків фрикційних порошкових матеріалів.

2. Визначити масу та щільність пробних зразків.

3. За допомогою мікроскопа та комп'ютерного комплексу "Мегран" дослідити особливості мікроструктури фрикційних порошкових матеріалів, порівняти їх зі структурами, які зображені в альбомі.

4. За допомогою випробувань на твердість за Віккерсом (HV) визначити клас твердості, до якого відноситься зразок дослідного фрикційного порошкового матеріалу.

5. За допомогою твердоміра Роквелла визначити твердість зразків фрикційних порошкових матеріалів.

Порядок оформлення звіту

1. Коротко сформулювати мету роботи.

2. Навести дані щодо класифікації, складу та призначення фрикційних порошкових матеріалів.

3. Записати результати досліджень особливостей структури фрикційних порошкових матеріалів.

4. Записати результати досліджень уявної твердості фрикційних порошкових матеріалів.

5. Зробити висновки, в яких проаналізувати особливості структури та характеристик твердості фрикційних порошкових матеріалів.

Контрольні питання та завдання

1. Охарактеризуйте умови експлуатації фрикційних матеріалів.

2. Обґрунтуйте вимоги, які пред'являються до фрикційних порошкових матеріалів.

3. Назвіть та охарактеризуйте основні властивості фрикційних порошкових матеріалів. Поясніть, від чого вони залежать.

4. Охарактеризуйте основні види фрикційних порошкових матеріалів.

5. Охарактеризуйте особливості мікроструктури фрикційних порошкових матеріалів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Ермаков С.С., Вязников Н.Ф.* Порошковые стали и изделия. – Л.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
 2. *Либенсон Г.А.* Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
 3. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Под ред. *Б.С. Митина*. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
 4. Прогрессивные технологические процессы штампованных деталей из порошков и оборудование / Под ред. *А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова*. – М.: Машиностроение, 1991. – 320 с.
 5. *Степанчук А.Н., Билык И.И., Бойко П.А.* Технология порошковой металлургии. – К.: Вища школа, 1989. – 415 с.
-

ДОДАТОК А

Визначення класу твердості спечених металевих матеріалів

Клас твердості	Умови випробування на твердість
15...60	HV5 HBS 2,5/15,625/30 HRH
60 ≥ 100	HV5 HBS 2,5/31,25/15 HRF
100 ≥ 200	HV5 HBS 2,5/62,5/10 HRB
200 ≥ 400	HV10 HBW 2,5/187,5/10 HRA
> 400	HV20 HBW 2,5/187,5/10

Твердість за Брінеллем позначають наступними символами: HBS – при використанні сталеві кульки; HBW – при використанні кульки з твердого сплаву.

Цифра після HV означає навантаження в кілограм-силах, при якій визначається твердість за Віккерсом.

Приклади позначення твердості:

150 HBS 2,5/62,5/10 – твердість за Брінеллем 150, визначена при використанні сталеві кульки діаметром 2,5 мм при навантаженні 62,5 кгс (612,9 Н) і тривалості витримки 10 с;

300 HBW 2,5/187,5/10 – твердість за Брінеллем 300, визначена при використанні кульки з твердого сплаву діаметром 2,5 мм при навантаженні 187,5 кгс (1839 Н) і тривалості витримки 10 с.

ДОДАТОК Б

Визначення твердості спечених порошкових матеріалів за Роквеллом

Твердість за Роквеллом	Тип індентора	Попереднє навантаження при випробуваннях, Н (кгс)	Загальне навантаження при випробуваннях, Н (кгс)
HRA	Алмазний конус (120 °)	98,07 (10)	588,4 (60)
HRB	Кулька діаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма)	98,07 (10)	980,7 (100)
HRC	Алмазний конус (120 °)	98,07 (10)	1471 (150)
HRH	Кулька діаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма)	38,07 (10)	588,4 (60)
HRH	Кулька діаметром 3,175 мм (1,8 дюйма)	98,07 (10)	588,4 (60)

Навчальне видання

**ІВЛІЄВ Анатолій Іванович
КАЗИМИРЕНКО Юлія Олексіївна**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
"Особливості виробництва порошкових
матеріалів та виробів"
Частина 2**

(українською мовою)

Редактор Т.Б. Забабуріна
Комп'ютерна правка та верстка Н.В. Ялова
Коректор М.О. Паненко

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 18.09.07. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,8. Обл.-вид. арк. 1,9.
Тираж 100 прим. Вид. № 28. Зам. № 269. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5