



УКРАЇНА

(19) UA (11) 52881 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 3/40МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИПРОБУВАННЯ МАТЕРІАЛУ НА ТВЕРДІСТЬ

1

(21) u201003772

(22) 01.04.2010

(24) 10.09.2010

(46) 10.09.2010, Бюл.№ 17, 2010 р.

(72) ЛЕБЕДЄВ АНАТОЛІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, МУЗИКА МИКОЛА РОМАНОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МІЦНОСТІ ІМ. Г.С. ПИСАРЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(57) 1. Спосіб випробування матеріалу на твердість, що включає втискування під дією навантаження до поверхні досліджуваного матеріалу робочої частини індентора і вимірювання параметрів відбитку, за яким обчислюють значення твердості

2

досліджуваного матеріалу, який відрізняється тим, що попередньо до втискування робочої частини індентора до поверхні досліджуваного матеріалу на робочу частину індентора наносять антифрикційне покриття.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що як антифрикційне покриття на робочу частину індентора наносять вуглецеве монокристалічне покриття за нанотехнологією.

3. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що на робочу частину індентора з антифрикційним покриттям додатково наносять змащувальний матеріал, наприклад інактивне масло, зокрема з присадками жирних кислот.

Запропонована корисна модель відноситься до способів дослідження механічних характеристик матеріалів, а саме - до способу визначення твердості матеріалу.

Зміни механічних властивостей матеріалу, які відбуваються в процесі експлуатації виробу, оцінку його працездатності і залишкового ресурсу можна найпростіше оцінити шляхом випробування матеріалу виробу на твердість.

Найбільш близькими за технічною суттю до пропонованого є спосіб випробування матеріалу на твердість, що включає операції втискування під дією навантаження в поверхню досліджуваного матеріалу індентора певної форми і вимірювання параметрів відбитку, за якими обчислюють значення твердості [1].

Згаданий спосіб використовують, як для статичного, так і для динамічного вимірювання твердості втисненням індентора у матеріал і їх різновиди, наприклад, метод дряпання, який полягає в утворенні поглиблення на поверхні матеріалу у напрямку ковзання індентора під навантаженням, набули широкого поширення.

Проте, значення твердості, що отримують відомими способами, мають великий розкид і, як правило, є завищеними. Причиною цього є залежність зареєстрованих характеристик твердості не лише від властивостей матеріалу, що зумовлюють його опір втискуванню індентора, але і від дії сил «сухого» тертя на ділянці контакту індентора з

матеріалом, які тангенціальне направлені до загальної межі між індентором і матеріалом і перешкоджають переміщенню індентора під дією зовнішньої сили. Це приводить до того, що вимірювання твердості одного і того ж матеріалу при застосуванні різних способів, дають чисельно не співпадаючі результати. Отримуваний розкид результатів є, зокрема, наслідком дії сил тертя, які не є постійними, оскільки залежать від досліджуваного матеріалу і від матеріалу індентора, і його форми. Ці сили «сухого» тертя зменшують корисну дію вимірювальної сили, що прикладають до індентора, викликають знос індентора, але при визначенні твердості за відомими способами до цього часу не враховувалися.

Проблема полягає ще і в тому, що отримувані в результаті розрахунку за значеннями твердості з використанням кореляційних рівнянь механічні характеристики матеріалу - межа текучості, межа міцності та ін., часто відрізняються від їх значень, що отримані при стандартних випробуваннях матеріалу, наприклад, при одноосному розтягуванні зразків у відповідності до стандарту (ГОСТ 1497-84. Метали. Метод випробувань на розтягування. - М: Вид-во стандартів, 1990г.), через неврахування при вимірюваннях твердості сил тертя, які для різних матеріалів мають різні значення.

Якщо виключити силу тертя, то визначувана твердість матеріалу залежатиме тільки від його фізичних властивостей. Оскільки повністю виключо-

(13) U  
(11) 52881  
(19) UA

чити силу тертя між індентором і матеріалом практично неможливо, то представляють інтерес технічні рішення, що направлені на зниження впливу сил тертя, як одного з джерел погіршень при визначенні значень твердості різних матеріалів. Такі розробки особливо актуальні для підвищення достовірності проведення порівняльної оцінки різних матеріалів за значеннями так званої відносної твердості, яка є найважливішою діагностичною властивістю.

У основу корисної моделі поставлена задача створення такого способу випробування матеріалу на твердість, який би дозволив підвищити точність випробувань на твердість за рахунок зменшення втрат на тертя між поверхнями індентора і досліджуваного матеріалу.

Згадана задача вирішується завдяки тому, що пропонується, як і відомий спосіб випробування матеріалу на твердість, включає втискування під дією навантаження до поверхні досліджуваного матеріалу робочої частини індентора і вимірювання параметрів відбитку, за яким обчислюють значення твердості досліджуваного матеріалу, а, відповідно до винаходу, попередньо до втискування робочої частини індентора до поверхні досліджуваного матеріалу на робочу частину індентора наносять антифрикційне покриття.

Особливістю пропонованого способу є і те, що у якості антифрикційного покриття на робочу частину індентора наносять вуглецеве монокристалічне покриття за нанотехнологією.

Ще одною особливістю пропонованого способу є і те, що на робочу частину індентора з антифрикційним покриттям додатково наносять змащувальний матеріал, наприклад, інактивне масло, зокрема з присадками жирних кислот.

Суть процесів, які проходять у відповідності з операціями запропонованого способу полягає у наступному. Попередньо перед випробуваннями матеріалів на твердість на робочу частину індентора певної форми наносять за нанотехнологією антифрикційне покриття, наприклад, вуглецеве монокристалічне покриття [2]. Далі до поверхні підготовленого до випробувань матеріалу втискують під навантаженням індентор, вимірюють параметри відбитку, за якими визначають твердість матеріалу.

Відомі антифрикційні покриття поверхонь тертя у вигляді шару олов'янисто-свинцевої бронзи, багатшарові покриття, аморфні алмазоподібні покриття та ін. Недоліками цих покриттів є високі коефіцієнти тертя і недостатньо висока зносостійкість. Застосування антифрикційного покриття - вуглецевого монокристалічного покриття, що наносять на індентор за нанотехнологією дозволяє зменшити коефіцієнт тертя і підвищити експлуатаційну характеристику індентора - зносостійкість. Це покриття містить монокристалічну вуглецеву плівку, леговану атомами азоту. Товщина плівки менше 100 нанометрів. Плівку отримують методом імпульсної конденсації вуглецевої плазми або методом нанотехнологічної молекулярної збірки. Плівка має хорошу адгезію і може бути нанесена на метали, діелектрики, кераміку і ін. Вона характеризується, низьким коефіцієнтом тертя і твердіс-

тю, близькою до алмазної (близько 9500 HV), що дозволяє замість дорогого алмазного індентора використовувати індентор, виготовлений із загартованої сталі з вуглецевим монокристалічним покриттям. Висока твердість обумовлює високу зносостійкість покриття.

Для підвищення ефективності заходів, направлених на зниження втрат на тертя між індентором і матеріалом, перед випробуваннями на робочу частину індентора з покриттям додатково наносять тонкий шар змащувального матеріалу, наприклад, інактивне масло, зокрема з присадками жирних кислот, зокрема використовують вазелінове масло з добавкою 0,1 % стеариновою або 1 % олеїнової кислоти.

Це дозволяє замінити тертя металу об метал внутрішнім тертям частинок масла між собою, яке значно менше сили тертя, що виникає при ковзанні твердих тіл.

Відомо, що тертя ковзання за наявності змащувального матеріалу підрозділяється на тертя без мастила, рідинне і граничне.

При терті ковзання без мастила, тобто в умовах „сухого” тертя, що має місце при звичайних випробуваннях на твердість, додаткова енергія витрачається на подолання взаємного механічного зачеплення нерівностей (шорсткостей) поверхонь, які труться між собою, при їх відносному переміщенні, сил міжмолекулярної взаємодії і явища зварювання окремих гострих мікровиступів цих поверхонь.

При рідинному терті змащувальний шар повністю відокремлює робочі поверхні, що взаємно переміщуються, одну від іншої і має товщину, при якій виявляються нормальні об'ємні властивості масла. Коефіцієнт рідинного тертя знаходиться в межах  $f = 0,003 - 0,03$ , що в 50 - 100 разів менше, ніж при «сухому» терті без мастила. Сила тертя при рідинному терті залежить тільки від тертя внутрішніх шарів в змащувальному матеріалі.

Проте при впровадженні індентора до матеріалу дуже важко реалізувати рідинне тертя, унаслідок того, що під дією великого контактного напруження мастило витісняється з області контакту у лунці. Видаленню мастила також сприяють частинки деформованого матеріалу, що безперервно поступають на поверхню матеріалу з лунки і які виносять з собою частинки мастила, що залишилися.

Таким чином зменшення сил тертя при вимірюваннях твердості можна очікувати, якщо реалізується граничне тертя між індентором і матеріалом. Граничне тертя виникає у разі, коли поверхні тертя розділені шаром мастила малої товщини (менше 0,1 мкм), що не перевищує висоти мікронерівностей (шорсткості) поверхні. Товщина і міцність граничного шару масла при терті робочих поверхонь індентора і матеріалу залежить від хімічного складу масла і вхідних в нього присадок, хімічної структури і стану поверхонь. При цьому працездатність граничного шару масла не залежить від його в'язкості, а визначається взаємодією молекулярної плівки масла з поверхнею матеріалу, що треться.

У зв'язку з тим, що нанесена на індентор за нанотехнологією плівка вуглецевого монокристалічного покриття має монокристалічну структуру, в якій розташовані адсорбційні центри, вона має здатність активної взаємодії з молекулами граничного шару мастила. У цьому випадку між індентором і матеріалом виникає граничне тертя, при якому формуються молекулярні рідкокристалічні шари в граничних шарах молекул мастила, нормально орієнтовані до поверхні тертя.

Ортогональна орієнтація молекул мастила в граничному шарі мастила сприяє збільшенню несучої здатності змащувального шару, зниженню коефіцієнта тертя і інтенсивності зношування індентора. Міжмолекулярна взаємодія відбувається як між поверхнею плівки, що нанесена на індентор, і молекулами мастила, так і між молекулами мастила в самому змащувальному матеріалі.

Приклад. Оскільки дослідити коефіцієнт тертя між індентором і матеріалом в режимі вимірювання твердості дуже складно, проводилися модельні дослідження на машині тертя, яка реалізовує тертя нерухомої кульки, виготовленої із загартованої сталі ШХ 15, діаметром 10 мм, що імітує індентор за методом твердості Брінелля, по диску, що обертається, виготовленого із сталі 45. До кульки прикладалося навантаження 50 Н, яке по рівню відповідало навантаженню на індентор приладу для вимірювання твердості. Поверхні кульки і диска обробляли до шорсткості  $Ra = 0,1$  мкм. На поверхню диска наносили за нанотехнологією монокристалічне вуглецеве покриття, товщиною 3 мкм.

Як змащувальний матеріал використовували інактивне медичне вазелінове масло з присадкою 1% в масовій частці олеїнової кислоти.

Аналіз значень коефіцієнтів тертя, що набувають, між кулькою і диском без покриття і диском з монокристалічним вуглецевим покриттям показав, що коефіцієнт «сухого» тертя без застосування покриття складав  $f = 0,32$ , а з вуглецевим монокристалічним покриттям  $f = 0,22$ , тоді як при засто-

застосуванні змащувального матеріалу додатково до вуглецевого монокристалічного покриття коефіцієнт тертя складав  $f = 0,114$ , а без покриття  $f = 0,124$ .

При навантаженні  $P = 50$  Н сили тертя  $F = f \times P$  відповідно будуть складати; у випадку без покриття і без мастила  $F = 16$  Н; з вуглецевим монокристалічним покриттям і без мастила  $F = 11$  Н; а з мастилом і з вуглецевим монокристалічним покриттям  $F = 5,7$  Н; з мастилом без покриття –  $F = 6,2$  Н. На підставі отриманих даних можна показати, що тільки застосування вуглецевого монокристалічного покриття без додаткового змащування дозволяє підвищити за рахунок зменшення сил тертя точність вимірювання твердості в порівнянні з відомими способами вимірювання твердості приблизно на 30%, а з додатковим змащуванням поверхонь третя - на 60 %.

Ці експериментальні дані підтверджують ефективність нанесення антифрикційного покриття на індентор для зменшення впливу сил тертя на значення твердості матеріалу, що дозволяє підвищити точність випробувань. Нанесення перед випробуваннями на твердість на робочу частину індентора з антифрикційним покриттям змащувального матеріалу, наприклад, інактивного масла з присадками жирних кислот, дозволило збільшити ефективність вжитого покриття на індентор.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє підвищити точність випробувань на твердість за рахунок зниження втрат на тертя між індентором і матеріалом.

Джерела інформації:

1. А.А. Гудков, Ю.И. Славский. Методы измерения твердости металлов и сплавов. -М.: Металлургия, 1982.- 167с.

2. Патент Российской Федерации № 2230238, МПК 6 F16C33/04. Антифрикционное покрытие/ Левченко В.А., Матвеев В.Н., Дроздов Ю.Н. и др., 2004 г.