**Чернега Світлана Михайлівна. Наукові основи створення кавітаційностійких захисних покриттів на сталях : Дис... д-ра наук: 05.16.01 – 2007**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Чернега С.М. Наукові основи створення кавітаційностійких захисних покриттів на сталях. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.01-Металознавство і термічна обробка металів. Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ, 2007.  В роботі запропоновано новий концептуальний підхід до створення кавітаційностійких покриттів, який ґрунтується на розробці критеріїв вибору покриттів та технології їх отримання. Вперше розроблено фізичні критерїї вибору захисних матеріалів, що грунтуються на аналізі хвильових процесів, що відбуваються при поширенні ударних хвиль під час кавітації. Вперше розроблено матеріалознавчі критерії оптимізації структури та складу, що базуються на принципах теорії зношування і дозволяють оцінювати стійкість покриттів в умовах кавітації, враховуючи їх характеристики – мікротвердість і тріщиностійкість. Критерії вибору оптимальних технологій враховують технологічність методу нанесення покриття що до можливості створення однорідних покриттів достатньої товщини за відносно короткий час; можливості одержання покриттів на складних тривимірних виробах. Розроблені критерії використані в роботі для створення нового класу покриттів на основі боридів та карбідів перехідних металів, які були отримані методом хіміко-термічної обробки, запропоновані раціональні режими отримання покриттів та оптимальні суміші насичуючих порошкових середовищ.  Досліджено кавітаційну стійкість вуглецевих сталей з дифузійними покриттями на основі однокомпонентних та двокомпонентних систем карбідів перехідних металів Nb, Zr, Ti, V, Сr і показано, що стійкість сталей підвищується в 5-10 разів; легованими боридними покриттями - відповідно в 2-3 рази та газотермічними покриттями систем 12Х18Н9Т-TiB2-VC, 12Х18Н9Т-TiB2-CrB2 - в 2-2,5 рази тільки після додаткової обробки поверхні за допомогою лазера. | |
| |  | | --- | | 1. Розроблено критерій вибору покриттів на основі аналізу фізичних процесів, що відбуваються в умовах високошвидкісних ударних явищ при кавітації. Обґрунтовано вибір кавітаційностійких одношарових і багатошарових покриттів при високошвидкісних ударних явищах шляхом врахування характеристик матеріалу: щільності (*r*), модуля пружності Юнга, швидкості звуку (*C*) в матеріалі, товщини покриття (hс). Показано, що в умовах кавітації покриття виконують захисну функцію, коли акустичний опір покриття (*rc сc*) більший акустичного опору матеріалу матриці (*rm сm)*, та кавітуючої рідини (*rl сl)*. Встановлено, що дифузійні покриття на основі карбідів перехідних металів і боридів заліза забезпечують високий ступінь захисту металевої матриці за умов кавітації.  2. Теоретично обгрунтовано та експериментально підтверджено критерій вибору товщини захисних покриттів. Встановлено, що високу кавітаційну стійкість мають гомогенні покриття або багатошарові покриття з товщинами, що задовольняють рівнянню:  ,  де*d*- діаметр мікроструменя рідини, який виникає при гідравлічному ударі, Cс та*Сl* швидкості поширення звуку в матеріалі покриття та кавітуючої рідинивідповідно. При менших товщинах шарів багатошарового покриття, необхідно враховувати перерозподіл напруг на границі фаз. При значній перевазі акустичного опору верхнього шару над нижнім майже всі напруження зосереджуються у верхньому шарі. Показано, що умовою високої кавітаційноі стійкості дфухфазних шарів карбідів хрому Cr23C6 та Cr7C3 є близьке значення їх акустичних опорів.  3. Вперше запропоновано критерій оцінки прогнозування стійкості матеріалів в умовах кавітаційного зношування оснований на принципах теорії зношування. Стійкість матеріалів до кавітаційного зношування визначається комбінацією параметрів мікротвердості Нm і тріщиностійкості К1с. Отримано співвідношення між характеристиками мікротвердості, тріщиностійкості і кавітаційним зношуванням . Визначено, що n=0,3; m=0,7. Запропонована залежність дозволяє оцінювати та прогнозувати кавітаційне зношування різних класів покриттів по параметрах мікротвердості і тріщиностійкості.  4. Кінетика кавітаційного руйнування дифузійних покриттів на початковій стадії описується поліноміальною залежністю, коефіцієнти доданків поліному визначаються властивостями та характеристиками покриттів: мікротвердістю, тріщиностійкістю, величиною залишкових напружень стиснення, напруженям сколювання, пористістю. На стадії самоорганізації процесу зношування спостерігається лінійна залежність втрати маси від часу. Проведено розрахунок параметрів моделі для кавітаційностійких покриттів на основі карбідів хрому, ванадію і титана на всіх досліджених вуглецевих сталях і боридних фаз заліза, легованих хромом, ванадієм чи титаном на сталі 45.  5. Серед дифузійних легованих боридних покриттів найбільш стійкими є покриття леговані Cr та V, які підвищують стійкість вуглецевих сталей в 2-3 рази. Вони мають найменшу пористість, достатню величину напружень стиснення та найбільшу корозійну стійкість. Борохромування сталі в запропонованому складі забезпечує максимальну мікротвердість боридів заліза легованих хромом. Зменшення об’єму кристалічної комірки фази FeB відповідає максимальне значення мікротвердості за рахунок посилення ковалентної складової хімічного зв'язку. Виявлено аномальний розподіл хрому в поверхневому шарі борованої сталі. Методом локального спектрального аналізу встановлено його підвищену кількість до 10% ат. у зонах біля пор, тоді як по тілу зерна кількість хрому не перевищує 1% ат. Для забезпечення максимальних захисних властивостей при кавітаційному руйнуванні доцільно наносити леговані боридні покриття товщиною не менш 115...125 мкм.  6. Висока кавітаційна стійкість карбідних покриттів обумовлена комплексом властивостей та характеристик: високою твердістю, дрібнозернистістю структури (0,5...2 мкм), високими залишковими напруженнями стиснення і низькою пористістю. Карбідні покриттяна основі перехіднихметаллів суттєво підвищують кавітаційну стійкість вуглецевих сталей. Кавітаційна стійкість сталей 20, 45 і У8А з карбідними покриттями на основі перехідних металів зростає в ряді: (V-Nb)C NbC ZrC (Si-Cr)C (Cr-Ti-V)C (V-Cr)C TiC (Nb-Cr)C VC (Zr-Cr)C CrmCn .  Найбільш високу стійкість мають покриття на основі карбідів хрому і ванадію. Формування таких покриттів дозволяє підвищити в 5...10 разів термін служби виробів, що працюють в умовах інтенсивного кавітаційного руйнування.  7. Встановлені оптимальні співвідношення складів карбідоутворюючих порошків Nb та Cr, Zr та Cr, Si та Cr, для формування шаруватої будови покриття із зовнішнім шаром на основі карбідів хрому Cr23C6, Cr7C3. Комплексні карбідні покриття за участю хрому мають шарувату трифазну будову, наприклад в системі Nb-Cr-С і складаються від поверхні покриття із наступних фаз :1- (Cr,Nb)23C6,(Cr,Nb)7C3, 2-(Nb,Cr)C, 3- Cr7C3; на основі Zr-Cr із двох шарів: 1- (Cr,Zr)23C6,(Cr,Zr)7C3, 2-(Zr,Cr)C; на основі Si-Cr карбідні фази, - наступні: (Cr,Si)23C6,(Cr,Si)7C3.  8. Механізм кавітаційного руйнування покриттів включає три стадії: 1 – формування рельєфу поверхоні; 2 – зародження системи радіальних, подовжніх і поперечних під поверхневих (латеральних) тріщин; 3 – руйнування матеріалу покриття, яке відбувається: по границям зерен, у дифузійних карбідних покриттів, та окремих напилених часток, у плазмових покриттів; шляхом транскристалітного сколу у дифузійних легованих боридних покриттях та газотермічних покриттях; шляхом сколу шару по між шаровим границям в газотермічних покриттях.  9. Вперше встановлена кореляційна залежність між кавітаційною стійкістю, величиною підповерхневих тріщин і напруженнями сколювання. Показано, що чим більше рівень напружень сколювання і менша величина підповерхневих тріщин, тим більший опір покриття кавітаційному зносу. При цьому самі високі напруження сколювання та найменші розміри підповерхневих тріщин виявлено в найбільш кавітаційностійких карбідних покриттях на основі хрому і ванадію, у боридних фазах заліза легованих хромом і газотермічних покриттях після лазерної обробки.  10. Вперше показано, що в умовах циклічних кавітаційно-корозійних випробувань, зношування захисних покриттів на відповідних стадіях кавітації і корозії збільшується в 1,3 – 3 рази, порівняно з кавітаційним. Швидкість кавітаційної складової превалює над швидкістю корозійної складової на 2-3 порядки в залежності від корозійного середовища. Показано, що при безперервній кавітації зношування захисних покриттів посилюється на 5 – 10% при порівнянні випробувань у водопровідній воді та у 3% розчині морської солі. Основними факторами, які посилюють кавітаційні та корозійні процеси в умовах циклічного впливу, є: прискорення електрохімічних реакцій, руйнування захисних оксидних плівок, ефект щілини, наводнення поверхні. Найбільш висока кавітаційно-корозійна стійкість серед однокомпонентних карбідних покриттів притаманна покриттям на основі хрому чи ванадію, а комплексних покриттів на основі карбідів хрому. В результаті проведених випробувань рекомендовані Nb-Cr, Zr-Cr, Si-Cr карбідні покриття для захисту деталей машин в умовах кавітаційно-корозійного зношування.  11. Термічна обробка сталей із захисними дифузійними покриттями (гартування+низький, середній чи високий відпуск) призводить до зменшення величини та перерозподілу залишкових напружень стиску в дифузійних шарах і навіть до утворення напружень розтягування, внаслідок цього зменшується кавітаційна стійкість в 1,2 – 1,4 рази.  12. Газотермічні покриття систем Ni-Cr-Al-I, 12Х18Н9Т-TiB2-VC, 12Х18Н9Т-TiB2-CrB2 підвищують кавітаційно-корозійну стійкість вуглецевих сталей в 2-2,5 рази тільки після додаткової обробки поверхні за допомогою лазера. Відпалювання газотермічних покриттів Ni-Al, Ni-Cr-Al-I призводить до зростання кавітаційної стійкості захисних шарів в 1,4-1,5 рази  13. Визначені корозійні електрохімічні властивості дифузійних покриттів на основі карбідів перехідних металів. Показано, що нанесення покриттів карбідів приводить до переважного гальмування швидкості анодного розчинення сталі в 2,2...10 разів, що обумовлене високою хімічною стійкістю досліджених фаз карбідів. Встановлено, що найбільшу корозійну стійкість мають покриття на основі карбідів ванадію і хрому, при нанесенні яких швидкість корозії зменшується відповідно в 4,7; 5,2 рази у водопровідній воді і 3,2; 4,8 раз в 3% водному розчині морської солі, а ступінь захисту сталі 45 досягає 70-80%. Високі захисні властивості фаз карбідів Cr23C6, Cr7C3 і VC обумовлені незначною текстурою дифузійних шарів і практично відсутністю пор в таких покриттях. Нанесення дифузійних легованих боридних покриттів приводить до зменшення швидкості корозії в 1,12...2,5 рази, при цьому анодний процес гальмується в більшому ступені, ніж катодний. Найбільшу корозійну стійкість у морській воді мають покриття, леговані хромом і ванадієм.  14. Проведені промислові випробування гільз, клапанів, затворів, втулок, крильчаток насосів на водоповоротних циклах установок струменів високої частоти показали, що нанесення на поверхню сталевих деталей карбідів хрому та ванадію підвищує їх стійкість в 2,8...3,4 рази в порівнянні із стійкістю серійних. Розроблені нові високоефективні способи і склади вихідних реагентів для нанесення на поверхню сталей карбідних(А.С. СРСР №1317977, №1300969,№1300969, №1446955, №1659527) та боридних покриттів легованих ванадієм і хромом, захищених А.С. СРСР (№876781, №1426131№, 1463802, №1571102, №1573051, №1659528, №1721121) та патентами України (54925А, 54924А, 54844А, 62739А) на винахід. | |