

Корисна модель відноситься до плазмової хіміко-термічної обробки поверхонь виробів з конструкційної сталі і може бути використана у машинобудуванні.

Відомий спосіб формування зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі, в тому числі на деталі машин [див. патент РФ 2013463 С1, МПК 6 С 23С 14/06, С23С14/48, опубл. 30.05.94р.], що включає очищення поверхні виробу і йонно-плазмове азотування в середовищі реактивного газу - азоту з наступним нанесенням нітриду титану з плазмової фази. Цей спосіб дозволяє утворити перехідну зону між покриттям і матеріалом виробу. До недоліків способу слід віднести те, що два етапи обробки плазмове азотування і нанесення нітриду титану проводять у двох різних камерах, тому необхідно перевантажувати вироби з камери в камеру між етапами технологічного процесу, у зв'язку з чим вироби піддаються дії навколишнього середовища з високою можливістю їхнього забруднення. Крім того ця обставина ускладнює і збільшує тривалість процесу в цілому.

Відомий також найбільш близький за технічною суттю до корисної моделі спосіб формування зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі (див патент РФ № 2331480, МПК 6 С 23С 14/06, С23С14/48, опубл. 10.06.99р, Бюл.№16), що включає очищення поверхні виробу і йонно-плазмове азотування в середовищі реактивного газу - азоту з наступним нанесенням нітриду титану з плазмової фази, при цьому очищення поверхні виробу і йонно-плазмове азотування, а також нанесення нітриду титану здійснюють в одній вакуумній камері у плазмі дугового розряду з накаленням катодом у єдиному циклі, утворюючи на поверхні деталі тришарову структуру, при цьому азотування проводять при тиску реактивного газу  $5 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст., негативній напрузі зміщення на výroбах 300...1000В і густині йонного струму  $2...8$  мА/см<sup>2</sup> упродовж 30...90хв., очистку проводять у плазмі інертного газу-аргону при тиску  $3 \cdot 10^{-4}$ ... $7 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст. і густині струму  $3...5$  мА/см<sup>2</sup>, а нанесення нітриду титану здійснюють зі швидкістю 2 мкм/год упродовж 60...90 хв. при одночасній роботі генератора газорозрядної плазми і дугового випарника при негативній напрузі зміщення на виробі 300...600В, струмі електродугового випарника 50...200А, тиску реактивного газу  $3 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст. Утворений при азотуванні проміжний шар зменшує градієнт механічних властивостей між твердим покриттям і матеріалом виробу. TiN покриття має дещо вищу адгезію з проміжним шаром внаслідок близьких структурних станів і хімічних властивостей. У зв'язку з тим, що процес ведуть у єдиному технологічному циклі виключається вірогідність забруднення поверхні виробів і скорочується загальна тривалість обробки.

Недоліком описаного способу є наявність недостатньої когезії між окремими елементами утвореної композиції шарів, існування так званого "дифузійного шару" (тонкого PVD шару). Особливо це стосується ускладнень в забезпеченні когезії між компаундом нітридної зони, що містить нітриди  $\epsilon$  і  $\gamma$  типу, отримані в процесі йонного нітрування і "дифузійним" шаром оскільки залишкові гази, особливо кисень і окис вуглецю, можуть призвести до утворення чорних плівок, тобто до сажевого осаду на поверхні виробів. Для виключення цього шару необхідно застосовувати механічну обробку полірування. Крім того поверхні виробів мають недостатню чистоту поверхні оскільки доміси або раніше адсорбований шар (наприклад окислів) змінюють енергетичні умови на поверхні, що, в свою чергу, змінює умови адсорбції наступних шарів і впливає на адгезійні властивості і структуру утвореного конденсату, які є ще недостатньо високими.

В основу корисної моделі покладено завдання такого удосконалення способу формування зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі, при якому за рахунок нанесення перед йонно-плазмовим азотуванням йонно-плазмового покриття поверхні виробу моно- або мультикомпозиційним шаром чистих нітридоутворюючих металів при пропонованих режимах забезпечується можливість утворення шарів нітриду титану в процесі йонно-плазмового азотування шляхом реактивної дифузії, внаслідок чого підвищується когезія і забезпечується максимальна адгезія покриття до поверхні виробу, покращення чистоти поверхні.

Для вирішення цього завдання у способі формування зносостійкого покриття на поверхні виробу з конструкційної сталі, що включає очищення поверхні виробу і йонно-плазмове азотування в середовищі реактивного газу - азоту, згідно корисної моделі перед йонно-плазмовим азотуванням проводять йонно-плазмове покриття поверхні виробу моно- або мультикомпозиційним шаром чистих нітридоутворюючих металів, при цьому на виріб подають напругу перемінного або постійного струму негативним полюсом величиною 50...150В при тиску реактивного газу  $4 \cdot 10^{-2}$ - $8 \cdot 10^{-2}$  Па зі швидкістю осадження  $1...3$  мкм/год упродовж 30...90 хв. при температурі 120...200 °С, після чого температуру підвищують зі швидкістю  $3...10$  °С /хв до 550 °С і проводять йонно-плазмове азотування, при цьому на виріб подають напругу перемінного струму частотою 50...10000 Гц або постійного струму негативним полюсом величиною 300...600В при тиску реактивного газу  $1...10$  Па.

Причинно-наслідковий зв'язок між пропонованою сукупністю ознак і технічними ефектами, які досягаються внаслідок її реалізації, полягає у наступному.

Завдяки проведенню перед йонно-плазмовим азотуванням йонно-плазмового покриття поверхні виробу моно- або мультикомпозиційним шаром чистих нітридоутворюючих металів при пропонованих режимах відбувається ріст нітридів (карбонітридів) як у цьому нанесеному тонкому шарі покриття, так і у поверхневому шарі покриття виробу, товщина якого складає 20...200 мкм. Суттєвим у цьому процесі є те, що при нанесенні чистих металів у вакуумі на поверхню виробу попередньо очищеної на атомно-молекулярному рівні (наприклад йонно-плазмовою бомбардування) і термообробленої досягається максимально можлива когезія, тобто взаємозв'язок поверхневого шару виробу з нанесеним моно- або мультикомпозиційним шаром чистих нітридоутворюючих металів при пропонованих режимах, внаслідок чого забезпечується утворення 30...50% пористості при товщині покриття від 1 до 5 мкм. Регулювання величини пористості досягається шляхом зміни швидкості осадження (конденсації) покриття чистих металів і введення незначної кількості реактивного газу - азоту (тиск реактивного газу  $4 \cdot 10^{-2}$ -  $8 \cdot 10^{-2}$  Па). При меншій швидкості осадження спостерігається більше поглинання азоту і структура, що утворюється, менш регулярна, тому такі шари більш пористі. В порах цієї структури знаходиться певна кількість азоту, завдяки чому відбувається процес реактивної дифузії і утворення шарів нітриду титану в безпосередньо в процесі йонно-плазмового азотування, тому відпадає необхідність в проведенні цієї технологічної операції як такої. При цьому процес реактивної дифузії в системі Fe-N має три стійкі фази:

а)  $\epsilon$ -фаза - нітрид перемінного складу з гексагональною решіткою, який можна описати формулою  $\text{Fe}_3\text{N}$ , яка відповідає максимальному вмісту азоту.

- б) твердий розчин азоту в  $\gamma$ -залізі з г.ц.к. решіткою,
- в) твердий розчин азоту в  $\alpha$ -залізі з о.ц.к. решіткою.

При повільному охолодженні  $\gamma$ -фаза піддається евтектоїдному розпаду і перетворюється у суміш  $\alpha$  і  $\gamma$  нітрид  $\text{Fe}_4\text{N}$ , причому нітриди не зразу утворюються на поверхні металу внаслідок хімічної реакції з азотом, а спочатку розчинюються в  $\alpha$ -залізі, причому концентрація його у поверхневому шарі поступово підвищується. Коли ОС-фаза насичується до межі у ній виникають кристали стійкої при цій температурі  $\gamma$ -фази, яка потім утворює суцільний шар. У цьому шарі при подальшому насиченні виникають кристали  $\varepsilon$ -фази. Чергування фаз у дифузійному шарі при реактивній дифузії зазвичай відповідає діаграмі стану взаємодіючих елементів, приблизно той же порядок утворення нітридів спостерігається і в нанесеному дифузійному шарі, саме що і забезпечує максимальну адгезію шарів до виробу, утворення нітридів відбувається як у нанесеному моно- або мультикомпозиційному шарі, так і у дифузійному шарі.

Приклад конкретної реалізації пропонованого способу.

На першому етапі попередньо термооброблені і очищені шляхом ультразвукової кавітації вироби з конструкційної сталі завантажують до вакуумної камери, нагрівають до  $250^\circ\text{C}$  і здійснюють йонно-плазмову очистку, після чого проводять йонно-плазмове покриття поверхні виробу моно- або мультикомпозиційним шаром чистих нітридоутворюючих металів, взятих з ряду:  $\text{Ti}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$  товщиною 1-5 мкм, при цьому на виріб подають напругу перемінного або постійного струму негативним полюсом величиною 100В при тиску реактивного газу  $6 \cdot 10^{-2}$  Па зі швидкістю осадження 2 мкм/год упродовж 60 хв. при температурі  $160^\circ\text{C}$ , після чого температуру підвищують зі швидкістю  $7^\circ\text{C}/\text{хв}$  до  $550^\circ\text{C}$ , потім у цій же самій камері проводять йонно-плазмове азотування, при цьому на виріб подають напругу/ постійного струму частотою 50 Гц або постійного струму негативним полюсом величиною 450 В при тиску реактивного газу 6 Па. Внаслідок проведених технологічних операцій спостерігається ріст нітридів (карбонітридів) як у нанесеному покритті з моно- або мультикомпозиційного шару чистих нітридоутворюючих металів, так і у поверхневому шарі виробів. Покриття з моно- або мультикомпозиційного шару чистих нітридоутворюючих металів має 40% пористість при товщині покриття від 1 до 5 мкм. Регулювання величини пористості досягають шляхом зміни швидкості осадження (конденсації) покриття чистих металів і введення незначної кількості реактивного газу - азоту (тиск реактивного газу  $6 \cdot 10^{-2}$ ). При меншій швидкості осадження спостерігається більше поглинання азоту і структура, що утворюється, менш регулярна, тому такі шари більш пористі. Оскільки процес ведеться в одній і тій самій вакуумній камері, а також завдяки попередній очистці виробів на атомно-молекулярному рівні досягається найбільш можливий рівень когезії. Як показали проведені нами дослідження, при реалізації пропонованої сукупності ознак досягається максимальна адгезія покриття до поверхні виробу, повністю виключається можливість забруднення отриманого покриття, тому відпадає необхідність в наступній його механічній обробці (поліруванні), висока чистота поверхні, крім того процес значно спрощується, тому, що не треба здійснювати нанесення нітриду титану як окрему технологічну операцію.