

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ БАГАТОШАРОВИХ ВІДНОВЛЮЮЧИХ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ

Розглянуті питання, пов'язані з дослідженням структури багатошарових покриттів. На зношену поверхню, яку треба відновити, наносили покриття газотермічним методом. При цьому спочатку треба укласти шар із м'якого металу, необхідний для поліпшення зчеплення покриття з основою, а потім наносяться наступні шари, що виконують робочі функції. У такий спосіб вирішується проблема підвищення адгезії зі сполученням необхідних функцій покриттів.

Рассмотрены вопросы, связанные с исследованием структуры многослойных покрытий. На изношенную поверхность наносили восстанавливающее покрытие газотермическим методом. При этом вначале должен быть слой из мягкого металла, который необходим для улучшения сцепления покрытия с основой, затем наносятся следующие слои, выполняющие рабочие функции. Таким образом решается проблема повышения адгезии с сочетанием необходимых функций покрытий.

The article considers the questions connected with research of the structure of multi-layered coverings. A restoring coating was applied on the worn-out surface by a gas-thermal method. In the course of such treatment a layer of soft metal is applied first, being necessary for improvement of the covering coupling with the basis, then the following layers, carrying out the working functions, are laid. The problem of increasing adhesion with combination of the necessary functions is being thus solved.

Серед багатьох відновлювальних технологій однією із ефективних і поширених є газотермічне напильня. Різновид цього процесу – електродугове напильня.

При нанесенні газотермічних покриттів досить поширеним є покриття з підшарком. Як відомо, товщина такого підшарку може досягати 0,3 мм [1]. Головним призначенням прошарку є забезпечення міцного зв'язку покриття в цілому з основою. З цим чинником пов'язане використання підшарку, як перехідного шару між матеріалом основи і наступного шару покриття для зменшення напружень, що виникають внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення.

Головною метою цих досліджень було виявлення можливості збільшення міцності зчеплення нанесеного покриття з основою деталі, оскільки саме ця причина є однією з головних, що стримують розповсюдження газотермічного метода відновлення деталей. Це збігається з загальним напрямком досліджень по відновленню деталей багатошаровими покриттями.

Застосування металів і сплавів у якості підшарів для отримання покриттів із більшою міцністю зчеплення можливе, якщо ці матеріали відповідають певним умовам, а саме – мають низький модуль пружності й достатню міцність, щоб забезпечити ефективні пружно-пластичні й міцнісні властивості перехідної зони; добре змочують матеріал основи та наступного шару покриття.

У практиці існує ціла низка методів нанесення підшарків на основу, наприклад хіміко-термічна обробка у середовищі легкоплавкого металу, напильня, хімічне осадження, плакування, термодифузійне насичення з рідкометалевої фази, електролітичне осадження. Зупинимося на них коротко.

Отримання легкоплавкого підшарку з рідкометалевої фази має малу тривалість процесу і головне – широкий діапазон варіювання товщини, фазового складу і структури підшарів. До того ж цей метод дозволяє отримувати покриття щільні, з міцним зчепленням із основою, без включень оксидів. Але у той же час цей метод потребує достатньо значних енергетичних затрат, що відбивається на собівартості процесу. Виникає необхідність механічної обробки отриманої поверхні, а також ускладнюється контроль за рівномірністю розподілу покриття по поверхні деталі.

Напильня газотермічними методами супроводжується окисленням матеріалу, що напильється, наявністю пор, зокрема на границі розділу, а також складнощами, пов'язаними з особливостями технологічного процесу, наприклад, високий відсоток відшаровування нанесеного покриття, якщо основа має цементовану або нітроцементовану поверхню.

Дифузійне насичення металами в порошкових середовищах являє собою доволі складний, довгий, метало- та енергетично ємний процес.

Плакування має обмеження у використанні, яке залежить від форми деталі.

Електролітичне осадження дозволяє отримувати підшарку різної товщини, не потребує механічної обробки, дозволяє регулювати твердість покриття в широких межах. Але цей метод можна застосовувати лише при виконанні всіх екологічних норм.

Оцінюючи зазначене вище за техніко-економічними показниками, можна зробити такі висновки. Найбільш доцільним процесом нанесення підшарку є застосування електролітичного осадження та отримання підшарку з рідкометалевої фази. Вибір того або іншого методу, зрозуміло, обирається залежно від наявності відповідного обладнання на заводі або в депо.

Враховуючи широкі можливості електролітичного методу, а також економічні аспекти, вибір падає саме на цей метод.

Дослідження проводили на зразках, що зроблені зі сталі 45, яка широко застосовується в механічній частині локомотивів. Після нанесення на основу зразка підшарку, напилювали електродуговим методом «робоче» покриття. Підшарки осаджувались з використанням програмного електролізу. У дослідженнях застосовувались три різновиди підшарків: із кадмія, олова та цинку. У свою чергу, так зване, робоче покриття складалось із шарів отриманих із дротів 30ХГСА та 65Г. Ці дроти були використані у зв'язку з широким розповсюдженням у ремонтному виробництві залізниць, а також їх відносною дешевизною.

Отримані результати порівнювались з покриттями нанесеними на основу без підшарку. Нижче, завдяки металографічному й рентгеноструктурному аналізу, наведені результати досліджень структури і фазового складу зони: основа – підшарок – перший шар робочого покриття. Металографічний аналіз показав, що структура перехідних зон формується у процесі кристалізації розплавлених часток напиленого металу при їх співударянні з поверхнею основного металу або підшарку, якщо він має місце.

На приведеній мікроструктурі покриття (рис. 1), що напилене на основний метал без підшарку, можна помітити мікропори та включення оксидів заліза. Мікроструктура неоднорідна. Підкреслимо також, що адгезія між основою і покриттям ослаблена за рахунок наявності на границі розділу оксидів та пор.

На приведеній мікроструктурі покриття з підшарком олова (рис. 2) показано, що особливістю застосування в якості перехідного шару олова є заповнення мікронерівностей основного металу. Важливим є також практична відсутність пор у перехідній зоні.

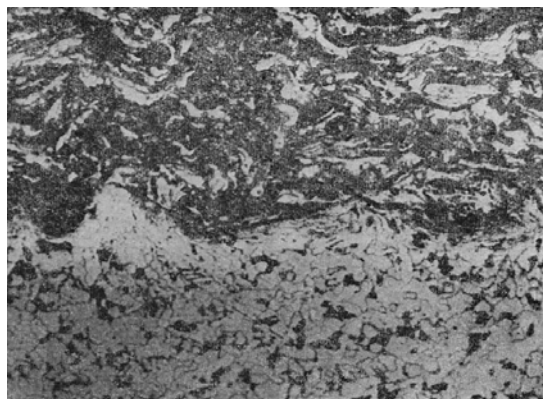


Рис. 1. Мікроструктура електродугового багатшарового покриття без підшарку

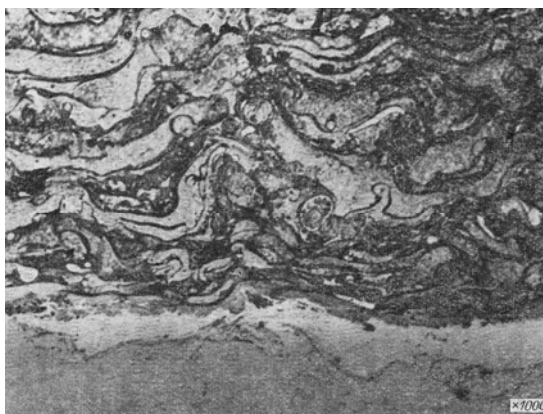


Рис. 2. Мікроструктура електродугового багатшарового покриття з підшарком олова

Мікроструктуру електродугового багатшарового покриття з підшарком цинку (рис. 3) можна визначити при нанесенні покриттів мікроструктури, яка складається з α – твердого розчину цинку в залізі, γ – фази, що містить 24...30 мас. % заліза, а також δ – фази. На поверхні дифузійного шару (прошарку легкоплавкого металу) осаджується шар чистого цинку, який при напиленні другого шару внаслідок акумулювання тепла частками металу і значної швидкості дифузії цинку в залізі частково розповсюджується з утворенням залізоцинкових фаз.

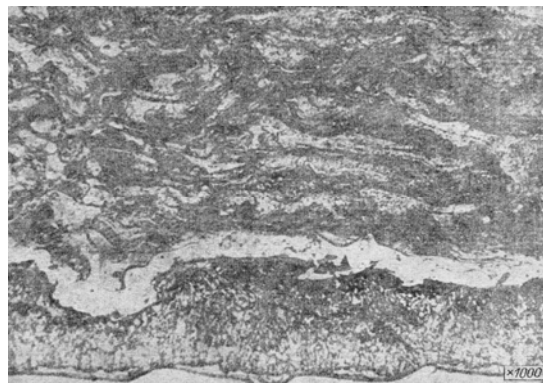


Рис. 3. Мікроструктура електродугового багатшарового покриття з підшарком цинку

На мікроструктурі електродугового багат шарового покриття з підшарком кадмія (рис. 4) в перехідній зоні помітна неоднорідна структура, яка містить зернисті включення. Ймовірно, ці включення з'явилися внаслідок охолодження в процесі польоту, що призводить до їх «капсулювання».

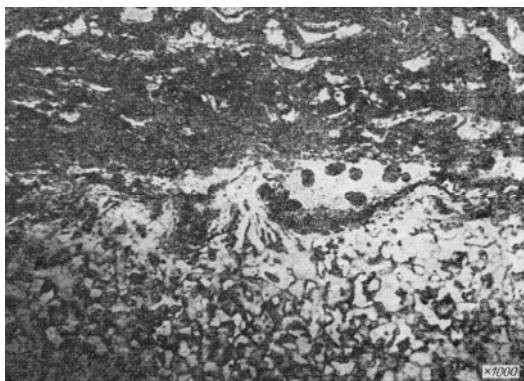


Рис. 4. Мікроструктура електродугового багат шарового покриття з підшарком кадмія

Застосування «м'яких» прошарків веде до зниження пористості в перехідній зоні між основним металом та прошарком, а також в самому покритті в 2...3 рази. Для порівняння наведемо: в покритті без підшарку пористість в основному покритті складала приблизно 9,3 %, в той же час пористість в перехідній зоні для підшарку з олова ~3,3 %, кадмія ~5,4 %, цинка ~5,7 %. Вірогідно, що це пов'язано з проплавленням і утворенням рідкої фази прошарку, а також із його взаємодією з приграничними зонами відновлюючого покриття.

При використанні в якості підшарку цинку, дифузійна рухливість якого в залізі із розглядуваних матеріалів (підшарів) максимальна, товщина перехідної зони також максимальна. Товщина «чистого» шару цинку складає 12...15 мкм.

Як зазначалося раніше, найважливішим показником працездатності покриття є його міцність зчеплення. За наявності цинкового прошарку міцність зчеплення відновлюючого покриття коливалась в межах 29,0...31,4 МПа. За тих же умов експерименту, але без прошарку, міцність зчеплення відновлюючого покриття складала 17,3...20,3 МПа.

Результати аналізу покриття зовнішнього шару показали, що структура має троостомартенситний характер, а твердість досягає 40...50 HRC, що є достатнім для відновлення більшої частини деталей електрорухомого складу.

Іншим важливим питанням є визначення необхідної товщини прошарку. Це питання, у свою чергу, потребує ретельного підходу, оскільки загальний погляд на те, що товщина про-

шарку має бути 10...15 мкм не є універсальним і, як показують дослідження, залежить від матеріалу прошарку та самого покриття [2]. Таким чином, постає задача визначення мінімальної товщини прошарку, а також раціональної товщини з точки зору міцності зчеплення.

Зауважимо, що для визначення мінімальної товщини прошарку частка проплавляє шар радіусом r і висотою h . Запишемо рівняння теплового балансу при теплообміні цієї частки з підшарком

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_{\text{ч}} [C_{\text{ч}} (t_{\text{пл.ч}} - t_{\text{пш}}) + Q_{\text{ч}}] = \pi r^2 \rho_{\text{пш}} [C_{\text{ч}} (t_{\text{пл.пш}} - t_{\text{пш}}) C_{\text{пш}} + Q_{\text{пш}}],$$

де R – радіус частки; $\rho_{\text{ч}}$, $\rho_{\text{пш}}$ – густини частки і підшарку відповідно; $C_{\text{ч}}$, $C_{\text{пш}}$ – питомі теплоємності частки і підшару; $t_{\text{пл.ч}}$, $t_{\text{пл.пш}}$ – температури плавлення частки і підшарку; $t_{\text{пш}}$ – початкова температура підшарку; $Q_{\text{ч}}$, $Q_{\text{пш}}$ – питомі теплоти плавлення частки і підшарку. Оскільки $t_{\text{пш}}$ значно менша за $t_{\text{пл.ч}}$, $t_{\text{пл.пш}}$, то нею можна знехтувати і тоді, скориставшись формулою

$$r = kR,$$

де k – коефіцієнт, що знаходиться в межах 3,6...6,6 [3].

Тоді з цих двох рівнянь після перетворень отримаємо кінцеву формулу визначення мінімально необхідної товщини підшарку h :

$$h = \frac{4R\rho_{\text{ч}} (C_{\text{ч}} t_{\text{пл.ч}} + Q_{\text{ч}})}{3k^2 \rho_{\text{пш}} (C_{\text{пш}} t_{\text{пл.пш}} + Q_{\text{пш}})}.$$

За останньою формулою було розраховано товщину підшарку цинку, яка складала 14 мкм.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Какуевичкий В. А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей. – М.: Транспорт, 1993. – 176 с.
2. Куприянов И. Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления / И. Л. Куприянов, М. А. Геллер. – Мн.: Наука и техника, 1990. – 176 с.
3. Белащенко В. Е. Анализ температурных полей на поверхности пластины при ее нагреве нормально распределенным источником тепла / В. Е. Белащенко, В. В. Кудинов, Д. Б. Черняк. – ФХОМ, 1984. – № 4. – С. 22–26.

Надійшла до редколегії 13.10.2006.