

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НАПЛАВЛЕННЯ

В роботі розглянуто фактори, що впливають на надійність технологічного процесу наплавлення. Представлені результати аналізу причин, що викликають появу дефектів та відхилення від заданих механічних властивостей. Показано, що одним із важливих факторів, що впливають на надійність технологічного процесу наплавлення, є електричні режими, параметри яких залежать не тільки від встановлення наплавником-оператором, а й від якості живлячої енергії. Звернуто увагу на вплив параметрів процесу на надійність при багат шаровому наплавленні.

Ключові слова: технологічний процес, надійність, наплавлення, відновлення деталей

Підвищення надійності будь-якого технологічного процесу є актуальною та важливою проблемою всіх сфер виробництва, у тому числі й ремонтного на залізничному транспорті. Якщо підвищення надійності окремих деталей та вузлів пов'язано у першу чергу з безпекою руху, то забезпечення високого рівня надійності технологічних процесів пов'язане з економічними показниками. Останнє нескладно пояснити вилученням бракованих відновлених деталей (за умови перевірки якості вихідної продукції). Відхилення від заданих параметрів технологічного процесу за межі допустимого приводить до браку деталей. Зрозуміло, що до більш відповідальних деталей висувають більш високі вимоги, тобто звужують допустимі межі. Таким чином, збільшення кількості браку приводить до здороження деталей та всього об'єкту в цілому.

Високі вимоги, що пред'являють до деталей рухомого складу залізниць пов'язані з затратами на виготовлення та ремонт локомотивів та вагонів, і головне, з безпекою руху. Тому питання підвищення надійності експлуатації та ремонту рухомого складу залишаються і будуть актуальними.

Ремонтне виробництво складається з багатьох складових, одною з яких є відновлення деталей. На даний час найбільш поширеними технологіями відновлення, які використовують у ремонтному виробництві залізниць є наплавлення, газотермічне напилення та електролітичні методи.

Наплавлення є найбільш розповсюдженою технологією відновлення деталей. У той же час, сама технологія наплавлення має багато видів, основними серед яких є наплавлення під шаром флюсу, у середовищі захисних газів, автоматичне, полуавтоматичне, ручне, плазмове, вібродугове, самозахисними порошковими дротами,

приварювання стрічки, багатоелектродне та інші. Крім того, при великих зносах та для отримання «особливих» якостей застосовують багат шарове наплавлення.

Дослідженням процесів наплавлення присвячена велика кількість наукових робіт. У багатьох роботах проведено аналіз причин виникнення дефектів та надані рекомендації по їх запобіганню [1–8], однак досліджень з оцінки надійності технологічного процесу недостатньо.

Деталі рухомого складу в основній масі виготовляють з конструкційних маловуглецевих сталей; за легуванням використовують малолеговані та середньо леговані; за способом отримання – це прокатні та литі сталі. Як відомо, на якість наплавлення найбільше впливають хімічний склад основи та напавленого матеріалу, їх фізико-хімічні властивості, фазова структура, зміна та навіть швидкість зміни фазової структури при наплавці.

Головною метою даної статті є оцінка надійності технології наплавлення і, зокрема, шаруватого. Складність полягає в тому, що необхідно оцінити надійність за декількома показниками. Не вдаючись у детальні пояснення, оскільки це є предметом досліджень окремої роботи, зупинимось на деяких моментах. Згідно з основною ідеологією розробленої технології шаруватого наплавлення, проміжні шари виконують по-перше, роль з'єднувального шару між основним металом та робочим шаром, що є загально відомим, а по-друге, ці шари повинні сприяти покращенню механічних властивостей, наприклад, зносостійкості, втомній міцності напавлених деталей. Як відомо, при напавленні виникають внутрішні напруження, які залишаються у вигляді залишкових напружень й після кінцевої обробки. Для зменшення залишкових напружень застосовують, як правило,

відпал. Однак проводити відпал не завжди є можливим та доцільним, крім того вказана операція не завжди повністю знімає залишкові напруження, які, у свою чергу, можуть приводити до появи тріщин після наплавлення або в процесі експлуатації. Крім того, являючись концентраторами напружень, вони зменшують втомлену міцність, що є небезпечним для багатьох циліндричних деталей. Як показали наші дослідження, якщо проміжний шар задовольняє вимогам необхідної якості наплавленого шару, але при цьому він володіє відносно високою пластичністю, то внутрішні напруження зменшуються, а, наприклад, втомлена міцність збільшується. При розробці технології наплавлення відповідно до плану проводили підбір наплавочних матеріалів та режимів під них. По досягненню бажаних результатів отриманих механічних властивостей оцінювали рівень дефектності наплавлених шарів. При незадовільних результатах корегували режими наплавлення до отримання задовільних результатів. Оскільки однозначний зв'язок між вхідними факторами, вихідними параметрами та вартістю процесу отримати доволі складно, то дане питання потребує теоретичного дослідження.

Під надійністю технологічного процесу наплавлення будемо розуміти його здатність забезпечувати задані властивості наплавлених шарів та допустиму дефектність у встановленому проміжку часу. Наплавлення, як і багато інших технологічних процесів відновлення деталей, є складною системою з багатьма ланками, які певним чином впливають на процес. Одними з головних чинників, що впливають на надійність процесу наплавлення є попередня підготовка наплавочних матеріалів та поверхонь деталей; матеріал наплавочних матеріалів; режими наплавлення; фінішна обробка наплавлених деталей. Крім того, процес наплавлення та деякий час після його закінчення може супроводжуватися появою допустимих та недопустимих дефектів. Таким чином, можна умовно визначити, що надійність процесу наплавлення залежить від вхідних факторів, які впливають на вихідні контрольовані параметри, наприклад, фізико-механічні властивості відновленої деталі, та факторів, що впливають на появу дефектів. Спрощена структурна схема технологічного процесу наплавлення представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема процесу наплавлення:

x_i – вхідні фактори; y_i – вихідні параметри; z_{ni} – фактори попередньої підготовки;

z_{ni} – фактори процесу наплавлення; $z_{\phi i}$ – фактори фінішної обробки

У представленій схемі до вхідних факторів x_i можна віднести геометричні параметри та механічні властивості деталей, що підлягають відновленню. Вихідні параметри y_i – це комплекс вихідних властивостей, що характеризують відновлені деталі. Фактори самого процесу z_{ni} , z_{ni} , $z_{\phi i}$ включають всі дії направлені на реалізацію технологічного процесу відновлення деталі, включаючи фактори пов'язані з неконтрольованими діями зовнішнього середовища.

У свою чергу, кожний з блоків (рис. 1) складається з декількох підблоків. Важливу роль, що суттєво впливає на надійність процесів відновлення, у тому числі наплавленням, відіграє попередня підготовка, головною метою якої є очищення поверхні та наплавочних матеріалів від різного роду забруднень, окислів та інше.

Також задачею підготовки є придання деталі необхідної форми, зняття наклепаного шару, видалення поверхневих та приповерхневих дефектів, утворених під час експлуатації та активування поверхні. Не менше значення має стан відновлюючих матеріалів, неякісна підготовка яких приводить до появи різного роду дефектів.

На отримання кінцевих фізико-механічних властивостей впливає фінішна обробка. Правильний підбір режимів обробки наплавленої деталі токарною проточкою та шліфуванням (при необхідності) забезпечують отримання закладених вихідних параметрів таких, як чистота поверхні та механічні властивості деталі, наприклад, твердість. Відомо, що недотримання раціональних режимів обробки може суттєво погіршити отримані після наплавлення властивості поверхні. Питаннями попередньої підго-

товки та кінцевої обробки займається досить широке коло науковців, але в даній роботі ці питання розглядаються, як пасивні ділянки структури. Тобто приймаємо, що якість цих операцій в загальному сенсі є задовільною, а на підставі аналізу статистичних даних враховуємо імовірність виникнення браку від цих двох блоків. Тобто неякісна попередня підготовка приводить до появи дефектів (інакше браку), а

неякісна фінішна обробка до виходу за встановлені межі властивостей (також браку) і ця частка браку враховується. Розглянемо більш детально фактори, що впливають на якість наплавлення та напавленої деталі.

Згідно запропонованої моделі зобразимо структурну схему надійності технологічного процесу наплавлення (рис. 2).

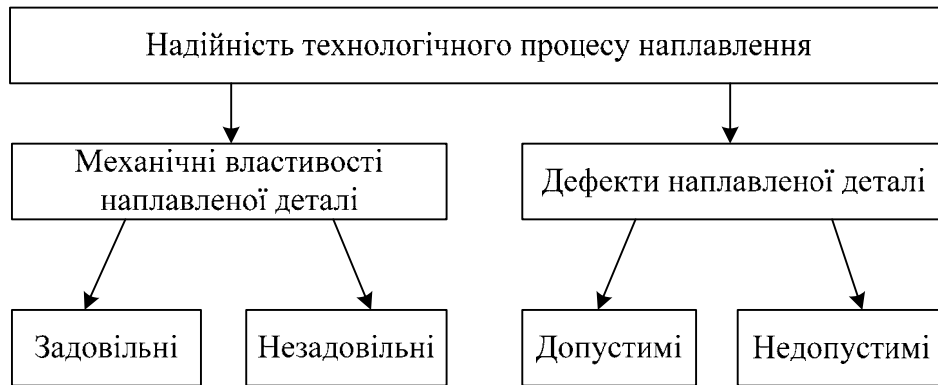


Рис. 2. Структурна схема надійності технологічного процесу наплавлення

Серед механічних властивостей напавленої деталі, які представляють інтерес відмітимо твердість, зносостійкість та втомну міцність. Вказані властивості обрані з таких міркувань: зносостійкість та втомна міцність головним чином визначають ресурс деталей, а твердість пов'язана з іншими механічними властивостями, й при цьому найбільш легко визначається у промислових умовах. Зауважимо, що в даний перелік не увійшов такий показник, як міцність зчеплення. Це пов'язано з тим, що при якісному напавленні міцність зчеплення близька до межі міцності самого матеріалу у наслідок природи утворюваних зв'язків між поверхнею деталі та напавленим шаром. Якщо ж відбувається відшаровування напавленого шару від основи, то це є однозначним браком і він буде врахований у блоці «дефекти напавленої деталі», як недопустимий. Крім того, відзначимо, що деякі дефекти напавлення мають взаємний зв'язок з механічними властивостями.

Розглянемо дефекти, що впливають на якість та надійність технологічного процесу напавлення. Згідно з ГОСТ 30242-97 дефекти зварювання розділяють на шість груп: тріщини, пори (порожнини), неспавлення та непровари, тверді включення, порушення форми шву, інші дефекти. У той же час процеси зварювання та напавлення хоча і є спорідненими, однак в них є певні принципи розбіжності. Головними дефектами напавлення є тріщини у напавленому шарі та в перехідній зоні (зоні спавлення з основним металом); пори; неспавлення шару з

основним металом; шлакові включення (особливо при багатшаровому напавленні), порушення ширини та висоти напавочного валика [1, 3]. При цьому дефекти можуть бути зовнішніми та внутрішніми.

Не викликає сумніву, що найбільш небезпечним дефектом є тріщина. Важливою особливістю різних способів відновлення деталей, особливо при напавленні є те, що зароджена у відновлювальному шарі тріщина розвивається, переходить у основний метал деталі, руйнуючи його. Тому прийняття всіх заходів по недопущенню цього дефекту є важливою задачею. Тріщини поділяють на гарячі (виникають при температурі вище 1000 °С) та холодні (умовно нижче 1000 °С, в більшості випадків у процесі охолодження нижче 200...300 °С). Згідно з [1-3, 6-8] гарячі тріщини виникають при міжкристалітному руйнуванні металу напавленого валику та навколо нього, яке виникає в твердорідинному стані під час кристалізації. Такі тріщини розповсюджуються по межах зерен. Під час кристалізації відбувається накопичення забруднень та домішок між зернами, виникають внутрішні напруження в наслідок нерівномірності усадок напавленого валику та основного металу. Перераховане в комплексі з наявністю рідких фаз сприяє появі мікро- та макротріщин [3]. Причинами, що викликають появу гарячих тріщин є наявність шкідливих домішок в металі; наявність в металі валику елементів з низькою температурою твердіння, що порушують зв'язок між зернами; недотримання темпу охо-

лодження наплавленої деталі [1]. Зменшити ймовірність виникнення гарячих тріщин можна знижуючи частки основного металу, зменшуючи крок наплавлення, підігриваючи перед наплавленням деталі. Відомо, що підігрів деталей зменшує величину та швидкість наростання розтягуючих напружень, які починають утворюватись, коли наплавлений метал за часом і по температурі вже придбав високі пластичність і міцність. Зменшення частки основного металу у наплавленому шарі досягається зниженням сили струму дуги; при цьому треба розуміти, що зменшення струму дуги та кроку наплавлення приводить до зниження продуктивності процесу, а додатковий підігрів повинен бути економічно виправданим. Як вже зазначалось вище, значно зменшити внутрішні напруження дозволяє багатошарове наплавлення, де в якості підшару використовують низьковуглецеві сталі. Доцільність використання багатошарового наплавлення особливо проявляється при значних зносах. Такий висновок можна зробити на підставі досліджень з визначення тріщиностійкості різних порошкових твердих сплавів, які показали, що зі збільшенням товщини металу, що наплавляється, процес тріщиноутворення активізується [8].

Холодні тріщини проходять як між зернами, так і крізь зерен при охолодженні наплавлених деталей. Як правило, холодні тріщини виникають у перехідній зоні при наплавленні малолегованої сталі значної товщини. Причинами появи холодних тріщин можуть бути помилки при виборі металу, що наплавляють та режимів охолодження [2].

Несплавлення нанесеного шару з основою деталі також є досить небезпечним, оскільки може спровокувати утворення та розвинення тріщин або привести до відділення від основного металу. В обох випадках це може привести до виникнення небезпечних ситуацій, тому дефект «несплавлення» неприпустимий. Несплавлення виникає у наслідок недостатнього очищення поверхонь, порушення режимів наплавлення, неправильного вибору швидкості подачі наплавочного матеріалу та інше [1, 2].

Наявність пор знижує зносостійкість та міцність відновлених деталей. Пори та неметалеві включення в наплавленому шарі являють собою концентратори напружень, які сприяють при певних умовах появі та розвитку тріщин. Однак, як відомо, руйнуванню металу спочатку передує його локальна течія, причому із збільшенням включень збільшується зона пластичної деформації. Наявність пор супроводжується

виникненням напружень в наслідок значного тиску газу в порах. Пори виникають, як правило, при недотриманні технології наплавлення, використанні вологого флюсу, неякісній підготовці поверхонь, недостатньому захисті наплавочної ванни від дії зовнішнього середовища та інше. Зменшити пористість можна застосуванням постійного струму зворотної полярності, нагріванням деталі, що знижує швидкість кристалізації наплавленого металу [8].

Шлакові включення також зменшують міцність відновлених деталей в наслідок появи концентраторів напружень. Вказаний дефект виникає підчас багатошарового наплавлення при недостатньому очищенні наплавлених шарів від шлакової корки [1]. Мінімальний розмір неметалевих включень, який не приводить до появи тріщин, тобто безпечні за розміром можуть бути до 5 мкм [4]. Крім того, наявність неметалевих включень може приводити до значних напружень при збільшенні температури в процесі експлуатації, що пов'язано з різними коефіцієнтами термічного розширення включень та металу, що оточує це включення. Напруження, що виникають при цьому можуть привести до руйнування навіть без прикладання зовнішнього навантаження [3]. З іншого боку, при прикладанні навантаження, за рахунок різниці пружно-пластичних властивостей металу та включень можуть виникати їх роз'єднання з утворенням порожнин, які створюють умови для появи тріщин. Також можна припустити, що на межі включення та оточуючого металу можливе накопичення дислокацій.

Зрозуміло, що отримати ідеальний, без дефектів наплавлений шар складно, однак необхідно мінімізувати кількість та розміри дефектів. До того ж, відновлені відповідальні деталі передбачають проведення ретельної перевірки (діагностики). У той же час, на підставі досліджень [3, 4, 8] можна стверджувати, що не всі дефекти є небезпечними, наприклад, не всі тріщини приводять до руйнування. Так, за даними [4] допустима довжина тріщини складає $(2...2,5) \cdot 10^{-3}$ м для маловуглецевої сталі на розтяг. Критична довжина втомленої тріщини в залежності від межі втомної міцності сталі при $\sigma_{-1} = 735...225$ МПа змінюється в межах $(0,9...2,5) \cdot 10^{-3}$ м, а для високоміцнісної сталі довжина тріщини не повинна перевищувати 14 мкм [5]. Тобто із збільшенням міцності металу зменшується допустима величина тріщини.

Як показує практика, у багатьох випадках дефекти появляються внаслідок відхилень від

встановлених режимів наплавочного процесу. Для визначення та підвищення надійності процесу наплавлення систематизуємо причини, що викликають розглянуті вище дефекти. Згідно з [2, 9, 1, 3, 10] основними причинами, що приводять до появи дефектів є:

- порушення технології наплавлення;
- неправильно обрані режими наплавлення;
- неякісна підготовка матеріалів та поверхні відновлювальної деталі;
- неправильно підібрані поєднання матеріалів.

Перераховані причини головним чином пов'язані з кваліфікацією та досвідом розробників, технологів, наплавників та обслуговуючого персоналу. Розглянемо приклад. При більш детальному розгляді дослідники встановили, що до дефектів (тріщин) приводить підвищений вміст вуглецю, сірки та фосфору, легуючих елементів – результат неякісного матеріалу або помилка при виборі матеріалів; недостатній підігрів масивних деталей (при необхідності), їх мала жорсткість, висока швидкість охолодження деталі після наплавлення – має місце помилка вибору режимів підготовки, наплавлення та охолодження напавленої деталі; неправильні електричні режими наплавлення – помилка підбору струму та напруги дуги.

Електричні режими мають одне з важливих значень, що впливає на структуру та властивості отриманого напавленого шару, а також наявності дефектів. Наприклад, завищене значення струму може приводити до окрихтування ділянок структури поверхні, занижений струм – до появи несплавів. Однак, крім фактору, пов'язаного з помилками наплавника, порушення режимів наплавлення може бути наслідком дії незалежних факторів, наприклад, коливаннями напруги, що живить обладнання (джерело живлення). Сучасні установки для зварювання та наплавлення, як правило, мають стабілізацію напруги дуги, що дозволяє не тільки стабілізувати напругу при її коливаннях у живлячій мережі, але й при певних незначних змінах відстані між електродом та деталлю утримувати заданий струм. Однак установки, що використовують на ремонтних виробництвах, переважно стабілізації не мають, тому коливання вхідної напруги приводить до змін вихідних електричних параметрів. Також коливання напруги може впливати на обертовий момент подавального механізму, що приводить до зміни частоти обертання роликів, а значить швидкості подачі наплавочного дроту. Коливання напруги можуть бути вельми суттєвими,

враховуючи потужність споживачів електричної енергії, наприклад, такими є електровози та електропоїзди, що заходять в депо (завод), вмикання (вимикання) установок великої потужності. Оскільки для умов ремонтного виробництва залізниці наявність потужних споживачів та коливання в мережі напруги є природним і достатньо частим явищем, то нехтувати цим фактором неможна. Зрозуміло, що величина відхилень вхідної напруги, а також частота цих відхилень є випадковими і залежать від багатьох факторів. На підставі спостережень та аналізу стану якості електричної енергії на підприємствах залізничного транспорту витікає, що відхилення живлячої енергії від нормованих бувають суттєвими, залежать від інтенсивності вмикання-вимикання потужних приймачів, їх потужності, характеру навантаження, наявності систем захисту від дії спотворень електричної енергії, негативно впливають на технологічні процеси, у тому числі зварювально-наплавочні й нехтувати даним фактором не можна. Особливо, зміна напруги (стрибки) негативно впливають на процеси наплавлення на крупних ремонтних підприємствах, де існує велика кількість потужних споживачів. Однак зауважимо, що не всі наплавочні технології чутливі до перепадів напруги, наприклад, автоматичне наплавлення під шаром флюсу. Відхилення, що вдалося виявити при цьому методі на якість наплавлення фактично не впливали. У той же час, полуавтоматичне наплавлення, й особливо, самозахисними порошковими дротами до зміни електричних режимів чутливі. Сказане можна коротко пояснити потраплянням повітря в зону плями наплавлення при пониженій напрузі та, як наслідок, утворення пор в напавленій поверхні.

Структурна схема надійності технологічного процесу наплавлення з врахуванням основних причин, що викликають дефекти та відхилення від заданих механічних властивостей представлена на рис. 3.

Зробимо деякі пояснення до структурної схеми (рис. 3). У блоці «допустимих» дефектів не вказані їх розміри, оскільки вони залежать від конкретних матеріалів та умов експлуатації. Основні причини, що приводять до недопустимих дефектів мають такі узагальнення. «Незадовільна підготовка поверхні деталі» включає очищення та механічну підготовку поверхні деталі. «Незадовільна термічна підготовка поверхні деталі» – недостатній або відсутній нагрів деталі при необхідності цієї операції. «Відхилення від раціональних режимів наплавлення деталі» – порушення режимів по швидкості по-

дачі дроту, флюсу, захисних газів, кроку наплавлення, швидкості обертання деталі, довжина вильоту та зміщення з zenіту електроду, швидкість наплавлення. «Відхилення від раціональних електричних параметрів» може виникати по декільком причинам, деякі з них визначені раніше – це помилка вибору електричних параметрів, коливання в живлячій мережі. Також

негативно впливати на стабільність горіння дуги може поганий контакт між струмовідводом та електродом [10]. Із спостережень за процесами наплавлення було виявлено, що іноді наплавники для збільшення продуктивності змінюють електричні режими, посилюючи їх, і тим самим відбувається умисне відхилення від заданих параметрів.

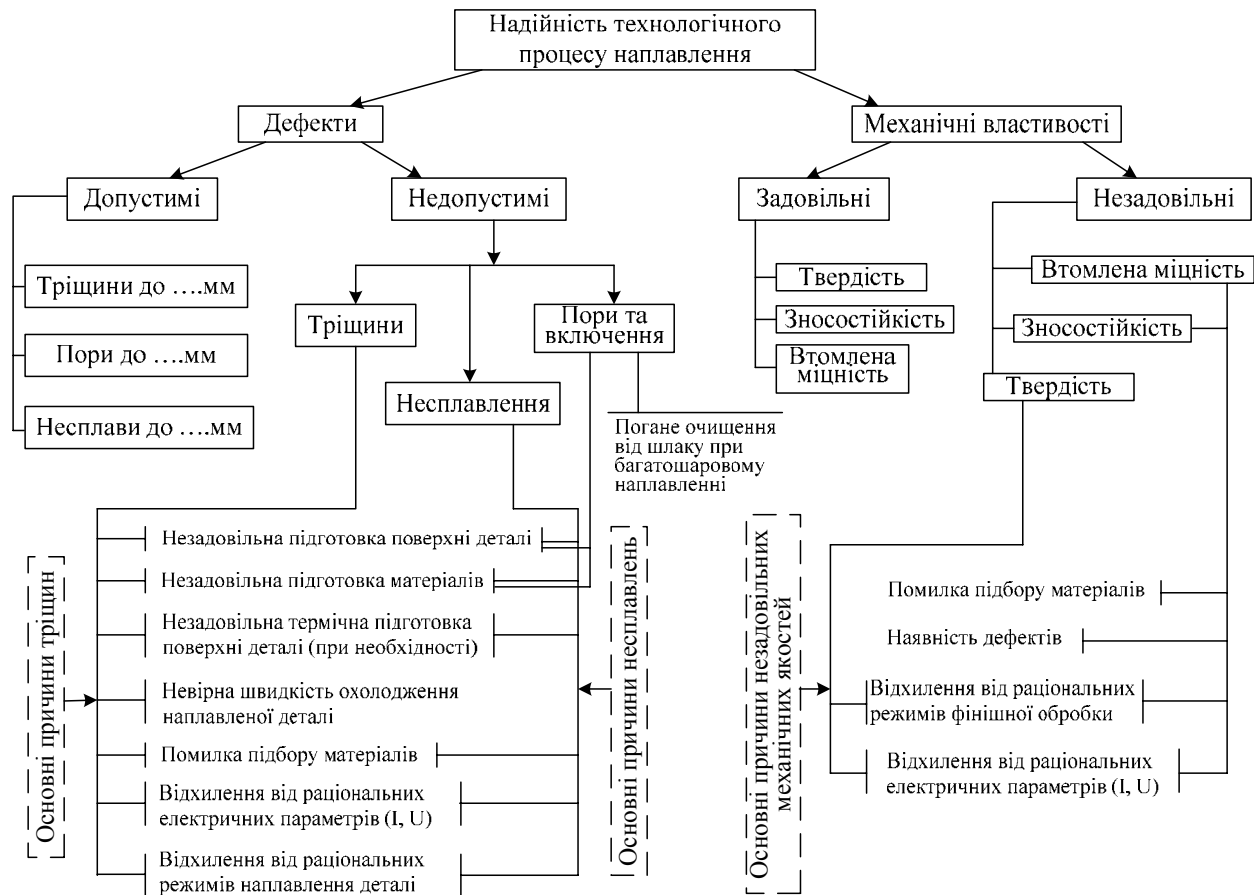


Рис. 3. Розширена структурна схема надійності технологічного процесу наплавлення

У відповідності до представленої структурної схеми оцінки надійності технологічного процесу наплавлення (рис. 3) та вибраної системи відповідних показників був проведений збір даних по якості наплавлених деталей на електровозоремонтному заводі та в локомотивних депо з об'ємом поточного ремонту ПРЗ на протязі одного року. На базі цих спостережень була створена база даних для подальшого статистичного аналізу.

У математичному плані досліджуваній об'єкт будемо описувати набором показників $\Omega = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, інформацію про які подамо у вигляді матриці експериментальних значень X :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix}, \quad (1.1)$$

де M – число рядків, що відповідає числу спостережень за певний проміжок часу;

N – кількість стовпців, відповідних числу показників;

x_{ij} – значення j -го показника в i -му спостереженні.

Надалі будемо вважати, що $M > N$. Коротко зупинимося на основних моментах первинного аналізу даних, оскільки цей етап моделювання суттєво впливає на подальшу точність оцінки надійності технологічного процесу.

У процесі обробки експериментальних даних зіткнулися з певними труднощами, такими як: різна розмірність величин; відсутність деяких даних; наявність підозрілих значень спостережуваних величин.

Важливим моментом аналізу є перевірка даних на наявність «сплесків» з їх подальшою обробкою. Цензурування даних (усунення ефекту викидів) проводиться або за допомогою видалення цих точок з даних, або за допомогою застосування методів оцінювання параметрів, стійких до грубих відхилень (наприклад, метод найменших модулів).

В якості найбільш простих процедур цензурування часто використовують наступні:

- візуалізація даних, коли за допомогою графічного представлення інформації виявляються багато закономірностей, абсолютно неочевидні серед безлічі числових значень;

- аналіз деяких числових характеристик досліджуваних показників. Наприклад, про наявність викидів можна говорити при порівнянні таких величин як середнє вибіркоче і мода, якщо ці характеристики суттєво відрізняються між собою для вибраної ознаки (оскільки відомо, що середнє вибіркоче дуже чутливо до сплесків, а модальне значення досліджуваної ознаки володіє властивістю робастості);

- якщо підтверджуються гіпотези про нормальний розподіл показників x_i , то при цензуруванні даних може застосовуватися правило «трьох σ »:

$$P \cdot \{\varepsilon_i < 3\sigma_i\} = 0,9973,$$

де $\varepsilon_i = x_i - \bar{x}_i$, \bar{x}_i – середнє вибіркоче x_i .

Очевидно, що найбільш простою методикою цензурування даних є візуалізація, однак при великій кількості даних, як в нашому випадку, дану методику застосувати не представляється можливим. Процедура цензурування з застосуванням нормального закону також є малоефективною, оскільки потребує невиправданих витрат часу, тим більше, що розглядувані показники можуть мати інший закон розподілу. Тому серед перерахованих методик виключення сплесків найбільш прийнятною виявилась така, що пов'язана з аналізом числових даних та порівнянням середнього вибіркового значення з модою по кожному показнику якості.

На точність оцінки можуть суттєво впливати пропущені дані при їх зборі, але не завжди можливо отримати всі необхідні дані. Тому при початковому аналізі даних необхідно було звернути увагу і на цей момент. Розглянемо коротко методику розв'язання даної задачі. Якщо

число спостережень суттєво перевищує число показників ($M \gg N$), тоді рядки, які містять пропуск хоча б по одному показнику, виключають з матриці спостережень X . Якщо виключати дані не можна в силу їх невеликого обсягу, тоді застосовують різні методи відновлення відсутніх значень. Серед них найбільш універсальний метод запропонований С. А. Айвазяном, заснований на припущенні, що об'єкти, які мало відрізняються по k властивостям, мають приблизно таке ж значення $(k+1)$ властивості. При обробці файлів з пропущеними даними в середовищі «Statistica» всім порожнім коміркам електронної таблиці присвоюється Missing Data Code – Код пропущених даних (за замовчуванням він дорівнює – 99999). Далі за спеціальними процедурами дослідник може:

- усунути пропущені дані з обчислень;
- замінити їх середнім значенням;
- інтерполювати пропущені значення.

Оцінити якість відновленої інформації можна, наприклад, так: з матриці спостережень X випадковим чином виключається частина дослідних значень, а пропуски заповнюються за допомогою обраної процедури. Міра відхилення дійсних значень від тих, що отримані в результаті відновлення, і визначає якість виконання завдання.

В нашому випадку число спостережень значно перевищує кількість показників, тобто виконується умова $M \gg N$, але в силу певної специфіки виключати дані отриманих спостережень неможливо. Зазначене можна пояснити тим, що пропуски даних є фактично у кожних рядках, оскільки специфіка збору даних допускає можливість їх неотримання в силу низки причин, наприклад, людський фактор, поломка приладів контролю, відсутність контролю на деяких етапах спостережень та інші, а виключення масиву даних приведе до значних помилок при їх аналізі. Тому нами було використано методику С. А. Айвазяна, а саме інтерполяцію пропущених значень.

Отримані величини показників x_i з різними розмірностями приводили до безрозмірних за відомим способом нормування, а саме:

$$x_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i},$$

де \bar{x}_i – середнє значення показника;

σ_i – середньоквадратичне відхилення.

Таким чином, виконавши наведені вище процедури отримали розподіл причин появи

дефектів та відхилень механічних властивостей від очікуваних (табл. 1, рис. 4). Зауважимо, що причина «помилка підбору матеріалів» в таблицю не внесена, оскільки проблема, що

пов'язана з даною причиною вирішується на етапі проектування, тому розглядати її немає сенсу.

Таблиця 1

Розподіл причин появи дефектів та відхилень механічних властивостей для наплавлення у середовищі вуглецевого газу

	Причини появи дефектів та незадовільних механічних якостей						
	Незадовільна підготовка поверхні та матеріалів	Незадовільна термічна підготовка поверхні деталі	Невірна швидкість охолодження напавленої деталі	Відхилення від раціональних електричних параметрів	Відхилення від раціональних режимів наплавлення	Погане очищення від шлаку при багатопрошаровому наплавленні	Відхилення від раціональних режимів фінішної обробки напавленої деталі
Номер причини	1	2	3	4	5	6	7
Частка, %	36	8	7	5	26	-	18
Коефіцієнт варіації	0,9	0,2	0,5	0,6	1,2	-	1,1

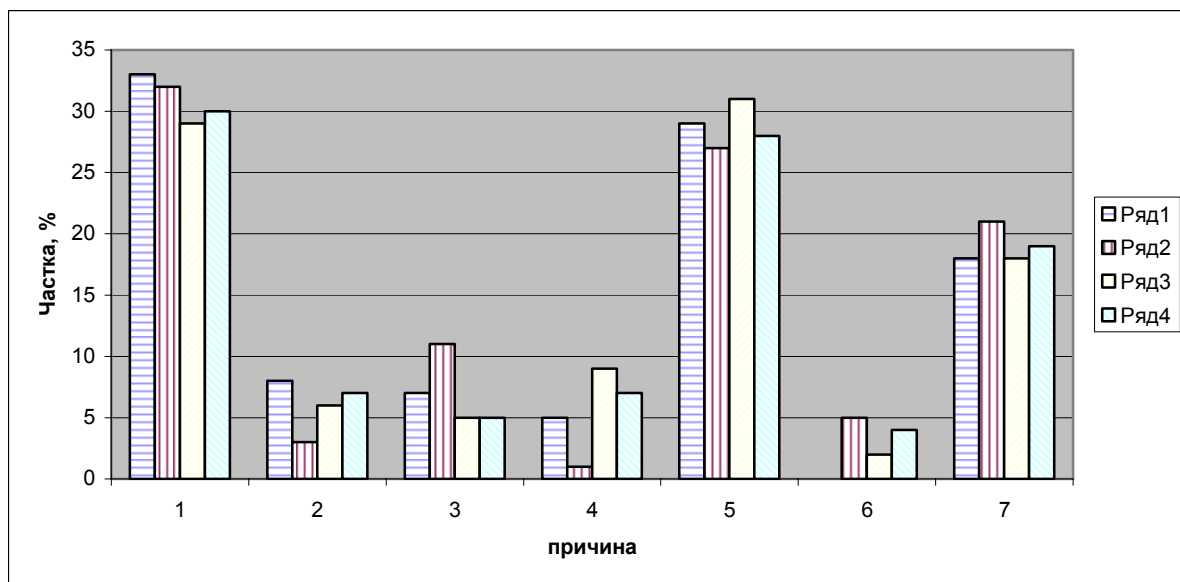


Рис. 4. Розподіл причин появи дефектів та відхилень механічних властивостей: ряд 1 – напівавтоматичне наплавлення у середовищі вуглецевого газу; ряд 2 – автоматичне під шаром флюсу; ряд 3 – напівавтоматичне наплавлення порошковими дротами; ряд 4 – ручне наплавлення

З наведеного вище аналізу можна зробити такі висновки: найбільш суттєвими причинами, що впливають на якість наплавлення є попередня підготовка поверхонь деталей та матеріалів, фінішна обробка напавлених деталей та режими наплавлення. Важливим є той факт, що для всіх видів наплавлення, які використовують у ремонтному виробництві залізниць вказані причини є найбільш домінуючими, хоча і з дещо різними частками, причому попередня підготовка деталей і матеріалів та режими наплав-

лення впливають на надійність наплавлення, а фінішна обробка на механічні властивості напавленої деталі. З останнього витікає, що для підвищення надійності процесу наплавлення саме ці причини підлягають першочергового розглядання та втручання. Також треба звернути увагу на коефіцієнт варіації, зокрема, домінуючих причин. Частково вирішити проблему підвищення надійності наплавлення можна за рахунок більш якісної попередньої підготовки поверхонь, а саме, крім їх ретельного очищення

проводити механічне зняття дефектного поверхневого шару, чого на деяких підприємствах на даний час не роблять; здійснювати контроль поверхонь перед наплавленням та безпосередньо режимів наплавлення; відповідальні деталі повинні наплавляти зварники високої кваліфікації; при необхідності обов'язково проводити термічну обробку наплавлених деталей для зняття залишкових напружень; чітко дотримання розроблених технологічних карт; інші засоби. Відхилення за допустимі межі встановлених параметрів технологічного процесу наплавлення приводить до браку наплавлених деталей, причому кількість бракованих деталей може сягати 40 %, що неприпустимо. Крім того, з аналізу даних випливає, що на надійність багат шарового наплавлення додатково впливає якість очищення від шлакової корки під час процесу, особливо при автоматичному наплавленні під шаром флюсу. Для підвищення надійності багат шарового наплавлення можна рекомендувати більш ретельне очищення наплавлених шарів від шлаку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Справочник сварщика [Текст] / под ред. В. В. Степанова. Изд. 3-е. – М.: Машиностроение, 1974. – 520 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] / под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

3. Деев, Г. Ф. Дефекты сварных швов [Текст] / Г. Ф. Деев, И. Р. Пацкевич. – К.: Наук. думка, 1984. – 208 с.
4. Финкель, В. М. Физические основы торможения разрушения [Текст] / В. М. Финкель. – М.: Металлургия, 1977. – 360 с.
5. Иванова, В. С. Прогнозирование вязкости разрушения и других механических свойств с использованием критериев подобия [Текст] / В. С. Иванова, Л. Р. Ботвина, Л. И. Маслов. – В кн.: Усталость и вязкость разрушения. – М.: Наука, 1974, с. 3 – 35.
6. Подгасецкий, В. В. Пори, включения и трещины в сварных швах [Текст] / В. В. Подгасецкий. – К.: Техніка, 1972. – 236 с.
7. Фромм, Е. Газы и углерод в металлах [Текст] / Е. Фромм. – М.: Металлургия, 1980. – 711 с.
8. Власов, В. М. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла [Текст] / В. М. Власов, Л. М. Нечаев, Н. Б. Фомичева, Е. В. Фомичева // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 1. – С. 9–11 URL: www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=3049.
9. Походня, И. К. Сварка порошковой проволокой [Текст] / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков. – К.: Наук. думка, 1972. – 223 с.
10. Молодык, Н. В. Восстановление деталей машин [Текст]: справочник / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

Надійшла до редколегії 19.12.2011.

Прийнята до друку 20.12.2011.

V. V. ARTEMCHUK, N. A. MUKHINA

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НАПЛАВКИ

В работе рассмотрены факторы, влияющие на надежность технологического процесса наплавки. Представлены результаты анализа причин, вызывающих появление дефектов и отклонения от заданных механических свойств. Показано, что одним из важных факторов, влияющим на надежность технологического процесса наплавки, являются электрические режимы, параметры которых зависят не только от установленных наплавщиком-оператором, но и от качества питающей электрической энергии. Рассмотрено влияние параметров на надежность процесса при многослойном наплавке.

Ключевые слова: технологический процесс, надежность, наплавка, восстановление деталей

V. V. ARTEMCHUK, N. A. MUKHINA

EVALUATION OF RELIABILITY SURFACING

The paper discusses the factors affecting the reliability of the welding process. Results of the analysis causes the appearance of defects and deviations from the specified mechanical properties. It is shown that one of the important factors affecting the reliability of the process of surfacing, are electric modes, whose parameters depend not only on established welding - operator, but also on the quality of the supply of electrical energy. The influence of parameters on the reliability of the process in a multilayer cladding.

Keywords: process, safety, welding, restoration parts