

Технології машинобудування, авіа- секція та ракетобудування

УДК 621.791.75

Дослідження сучасних методів наплавлення для відновлення та зміцнення штампового інструменту

Н.О. Макаренко, Г.М. Кушій, О.А. Бєзгін, Ю.Ю. Борисенко

Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ-Тернопіль, Україна

Проведений критичний аналіз сучасних існуючих методів відновлення та зміцнення, таких як дугове наплавлення із застосуванням порошкового дроту в якості плавкого електроду, показав, що при використанні наплавлення порошковим дротом спостерігається відставання швидкості плавлення його осердя від оболонки, що призводить до забруднення зварювальної ванни неметалевими включеннями. Найбільш ефективним із дугових способів наплавлення є плазмовий метод з аксіальною подачею порошкового дроту, проте відсутність серійного виробництва обладнання не дозволяє широко використовувати його в промисловості. Розглянуто використання керованих магнітних полів для стабілізації дуги та покращення якості наплавлення, що дозволяє зменшити кількість дефектів і підвищити зносостійкість штампового інструменту. Показано, що магнітні поля покращують контроль над процесом наплавлення, забезпечуючи рівномірність хімічного складу по довжині шва, завдяки чому можна збільшити термін служби штампів, що є економічно вигідним для підприємств. Показана важливість проведення подальших досліджень у галузі оптимізації параметрів магнітних полів.

Ключові слова: дугове наплавлення, плазма-MIG наплавлення, порошковий дріт, магнітне поле, відновлення штампів, зміцнення штампів, термоциклічні навантаження, ударні навантаження.

Відновлення та зміцнення штампів є актуальною проблемою, оскільки вони працюють у важких умовах експлуатації (зокрема, в умовах високих механічних навантажень і температурних коливань). Штампи призначені для масового виробництва різноманітних виробів, їх геометрична точність та довговічність мають величезне значення.

В залежності від температурних умов, при яких обробляються метали, штампи поділяють на штампи для холодного та гарячого штампування. Матеріали штампів для холодного штампування повинні бути зносостійкими та міцними. Що стосується матеріалів штампів для гарячого штампування - вони повинні витримувати більш екстремальні умови, ніж для холодного штампування, оскільки гаряче штампування супроводжується інтенсивним абразивним зносом і впливом високих температур (причому, під дією термоциклічних навантажень). Ці фактори сприяють швидкому зношуванню, зниженню точності виготовлення штампів та їх продуктивності при виробництві різноманітних виробів.

В умовах великого серійного виробництва заміна штампів є економічно не вигідною, тому їх відновленню і зміцненню приділяється велика увага, адже це дозволяє продовжити їх робочий ресурс і знизити витрати на їх виробництво.

В процесі відновлення та зміцнення штампів широко застосовують наплавлення різноманітних сплавів і металевих матеріалів на їх робочу поверхню. Наплавлення використовується для нанесення шару металу на зношену поверхню, що дозволяє відновити оригінальну геометрію виробів або зміцнити її [1], що допомагає збільшити термін експлуатації штампів, скоротити виробничі простої та зменшити витрати на виготовлення безпосередньо пресових інструментів.

Методи наплавлення, що застосовуються для відновлення, включають різні сучасні технології, такі як дугове наплавлення з використанням в якості плавкого електроду

порошкового дроту (з них найбільш перспективним і сучасним є плазмове-дугове наплавлення з аксіальною подачею порошкового дроту, порошкової стрічки та плющенки [1]). Дугове наплавлення порошковим дротом, стрічкою та плющенкою широко використовується завдяки його економічності та високій продуктивності. Серед переваг цього методу можна виділити економічність; високу продуктивність; гнучкість у виборі матеріалів. Але є і недоліки. Наприклад, в процесі наплавлення існує відставання швидкості плавлення осердя від оболонки порошкового дроту, в результаті чого періодично відбувається руйнування осердя та забруднення зварювальної ванни неметалевими включеннями. Це, у свою чергу, призводить до появи дефектів у наплавленому металі, сприяє нерівномірності фізико-хімічних властивостей наплавленого металу шва по довжині валика, знижує якість покриття. Ці недоліки вимагають постійного моніторингу та коригування технологічного процесу для досягнення високої якості покриття та уникнення дефектів.

Плазмове наплавлення з аксіальною подачею порошкового дроту – технологічний процес, де джерелом нагріву є плазмова дуга, яка створює високотемпературне середовище для плавлення матеріалу порошкового дроту. Дріт подається аксіально (вздовж осі плазмової дуги) і плавиться, утворюючи розплавлену масу, яка осідає на поверхні деталі, створюючи захисне або зміцнююче покриття. Плазмова дуга дає можливість досягти високої точності і контролю під час наплавлення, а також дає можливість використовувати різні матеріали, зокрема порошкові композиції, які важко плавляться іншими методами. Переваги цього способу наплавлення - висока міцність покриття, можливість роботи з різними матеріалами і точне керування параметрами процесу. Також можна виділити високу концентрацію теплової потужності та можливість отримувати мінімальну ширину зони термічного впливу, товщину наплавленого шару від 0,1 мм до декількох міліметрів; можливість наплавлення різних зносостійких матеріалів на сталеву деталь та одночасного плазмового загартування поверхні деталі; високий ККД дуги; мале (порівняно з іншими видами наплавлення) перемішування матеріалу, який наплавляється, з основою, що дозволяє досягти необхідні характеристики покриття вже в першому-другому шарі [2]. Проте, цей метод має і певні недоліки – високу вартість та конструктивну складність обладнання (крім того, промисловість серійно не випускає устаткування для цього процесу); складність процесу; висока енергоспоживаність.

Найбільш перспективним, з точки зору ефективності нанесення покриттів, є новітня технологія з використанням керованих магнітних полів, яка допомагає стабілізувати зварювальну дугу, покращити перемішування рідкого металу і зменшити кількість дефектів у зоні наплавлення. Це дозволить підвищити довговічність штамів та знизити витрати на додаткову обробку поверхонь після відновлення.

В результаті проведеного аналізу методу наплавлення з використанням керованих магнітних полів визначено, що він є найбільш перспективним з точки зору отримання якісного покриття на робочій поверхні пресового інструменту. Зовнішнє магнітне поле впливає на процес наплавлення, забезпечуючи кращу структуру покриття і його механічні властивості. Контроль зварювальної дуги за допомогою магнітних полів дозволяє отримати високу точність зварних валиків, мінімізуючи деформацію матеріалу. Магнітні поля стабілізують зварювальну дугу, що знижує ймовірність утворення дефектів, таких як пори, тріщини чи шлакові включення. Для виробництва штамів це надзвичайно важливо, оскільки дефекти, які виникають в процесі експлуатації, можуть призвести до браку.

Застосування керованих магнітних полів під час зварювання (наплавлення) може знизити потребу в додатковій механічній обробці швів (шліфування, правки та інші). Це прискорює процес відновлення штамів і знижує витрати на їх виробництво, що є важливим для промислових підприємств, працюючих в різних галузях промисловості. Актуальність вирішення поставленої задачі зумовлена потребою у виборі та удосконаленні технологій, що

забезпечать високу точність, якість і довговічність пресових інструментів для масового виробництва.

Метод наплавлення із додаванням керуючих магнітних полів можна розділити на наплавлення із накладенням на електричну дугу зовнішніх керуючих поздовжніх магнітних полів (ПДМП) та наплавлення із накладанням на електричну дугу поперечних магнітних полів (ПОМП).

Накладення на електричну дугу ПДМП призводить до змін форми дуги і її властивостей. Зварювальна дуга під дією ПДМП починає обертатися навколо поздовжньої осі, внаслідок чого форма дуги перетворюється з дзвіноподібної в конусну [3]. Усередині цього конуса є порожнина, вільна від плазми. Перебудова дуги з природної форми в конусоподібну і навпаки слідує за змінами індукції практично безінерційно. Також відомо, що під впливом ПДМП можливе підвищення ефективності дугового наплавлення під флюсом за рахунок збільшення коефіцієнта розплавлення дроту та зменшення розмірів зони проплавлення основного металу [4].

Введення ПОМП при наплавці використовують для поліпшення якості зварних швів та зменшення дефектів у процесі наплавки. Це робиться шляхом створення додаткового магнітного поля, яке впливає на розподіл тепла, рідкого металу та домішок у зоні наплавки [5]. Цей метод дозволяє зменшити пористість наплавленого матеріалу та покращити його структуру. При використанні цього способу, вісь стовпа дуги, відхиленого зовнішнім поперечним магнітним полем, займає такі точки простору в зоні між електродами, в яких сумарна величина індукції дорівнює нулю [6]. На зміщення плями дуги на виробі додатково впливають сили Лоренца як в дузі, так і в рідкому металі ванни. Визначено, що ефект розширення валика при наплавленні отримано через взаємодію струму в зварювальній дузі з керуючим магнітним полем [5].

Критичний аналіз публікацій за даною темою показав, що недостатня кількість розрахункових методик, які дозволяють точно визначити частоту і рівень індукції знакозмінного ПДМП, що забезпечують ефективне перемішування рідкого металу ванни при дуговому наплавленні [1-5]. Вивчення будови ПДМП в зоні дуги, краплі і зварювальної ванни має і теоретичне, і практичне значення. На практиці при дуговому зварюванні та наплавленні під флюсом найчастіше електрод і виріб є феромагнітними тілами, які спотворюють будову магнітного поля в зоні під фероосердям пристрою введення ПДМП. Фізичні процеси в зварювальній дузі і рідкому металі зварювальної ванни, що відбуваються при дії ПДМП складні, і недостатня їх вивченість стримують практичне використання цього способу наплавлення. В даний час недостатньо досліджень і про індукції керуючого ПДМП, які генерує пристрій введення ПДМП, і методів її розрахунку.

Останні дослідження фокусуються на стабілізації зварювальної дуги за допомогою магнітного поля та його впливі на рух рідкого металу у зварювальній ванні. Відомо [7]–[8], що ПДМП змінює форму дуги, викликаючи її обертання та перетворення з дзвіноподібної на конусоподібну, що покращує контроль над зварювальним процесом. Також дослідниками встановлено, що магнітне поле дозволяє покращити перемішування рідкого металу, що особливо важливо, наприклад, при зварюванні під шаром флюса. Однак, оптимальні частоти та індукції ПДМП ще потребують подальшого уточнення.

Зараз перед наплавленням із використанням поперечних та подовжніх магнітних полів стоїть низка важливих завдань, які потребують подальших досліджень і вдосконалення. Одним із основних шляхів є удосконалення методик розрахунку частоти та індукції магнітних полів, що дозволить ефективно перемішувати рідкий метал у зварювальній ванні. Також існує потреба у доскональному вивченню впливу магнітного поля на процеси зварювання та наплавлення феромагнітних матеріалів, адже досліджень у цій сфері поки що недостатньо. Потрібно уточнити параметри магнітного поля, такі як його частота й інтенсивність, для покращення якості швів та забезпечення кращого контролю над структурою наплавленого металу. Не менш важливою задачею є оптимізація магнітного впливу на процес наплавлення.

Потрібно мати глибше розуміння того, як поперечні й подовжні компоненти магнітного поля взаємодіють з рідким металом і як це впливає на форму та розмір швів, що дозволить зменшити дефекти та покращити якість наплавлення. Водночас, важливим є вивчення гідродинамічних процесів у зварювальній ванні під дією магнітного поля, адже цей вплив досі залишається недостатньо дослідженим [3], [5], [6]. Поглиблення знань у цьому напрямку допоможе підвищити працездатність наплавлених виробів та забезпечити якісне формування зварних швів. Одним із перспективних напрямів досліджень є стабілізація зварювальної дуги під впливом магнітного поля. Потрібно уточнити механізми її стабілізації та вплив Лоренцевих сил на процес, що дозволить не тільки поліпшити контроль над процесом наплавлення, але й мінімізувати можливі деформації та дефекти.

Таким чином, подальші дослідження у сфері наплавлення із використанням магнітних полів є необхідними для покращення якості, надійності та ефективності процесів, а також для розвитку новітніх методів управління процесами наплавлення.

Список літератури

1. Новомлинець О. О. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва: навчальний посібник / О.О. Новомлинець, С.В. Олексієнко, С.М. Ющенко. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. 130 с. ISBN 978-617-7932-50-4.
2. Макаренко Н. О. Дослідження процесу плазма-MIG наплавлення із застосуванням порошкової плющенки та розробка наплавочного матеріалу для відновлення деталей машин / УДК 621.791.927.5 ISSN 1993-8322. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (38), 2016. 1663.
3. Размишляев О.Д., Агеева М.В. Характеристики стовпа дуги при TIG-зварюванні з дією подовжнього магнітного поля // Журнал «Автоматичне зварювання», № 11, 2021, с. 3-7
4. Y. H. Kang, S.J. Na. Characteristics of welding and arc signal in narrow groove gas metal arc welding using electromagnetic arc oscillation // The Welding Journal. – 2023. – Vol. 82, № 5. – p. 93–99.
5. Размишляев О. Д., Агеева М. В. Дослідження міцності стикових з'єднань при дуговому зварюванні з впливом магнітних полів / ISSN 1993-8322. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (38), 2016. 206
6. Размишляев О.Д., Агеева М. В. Вплив поперечного магнітного поля на геометрію валиків при відновленні виробів// УДК 621.791.927.5 ISSN 1993-8322. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (44), 2018. с. 77-79
7. Лебедев В. О. Інноваційна техніка і технології для електродугового зварювання та наплавлення: монографія / В. О. Лебедев, С. Ю. Максимов, М. М. Бриков [та ін.]. - Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 262 с. - ISBN 978-617-7932-49-8.
8. Лебедев В. О. Адитивні технології електродугового зварювання, наплавлення та напилення: монографія / В. О. Лебедев, М. М. Бриков, Н. О. Макаренко [та ін.]. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка, 2024. – 156 с. ISBN 978-617-7932-66-5.

Investigation of modern surfacing methods for the restoration and strengthening of stamping tools

N. Makarenko, A. Kushchii, O. Biezhin, Y. Borysenko

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, Ukraine

A critical analysis of the current existing methods of restoration and hardening, such as arc surfacing using flux-cored wire as a consumable electrode, has shown that when flux-cored wire surfacing is used, the melting rate of its core lags behind the shell, which leads to contamination of the weld pool with non-metallic inclusions. The most effective of the arc surfacing methods is the plasma method with axial flux-cored wire feeding, but the lack of mass production of equipment does not allow its widespread use in industry. The paper considers the use of controlled magnetic fields to stabilize the arc and improve the surfacing quality, which reduces the number of defects and increases the wear resistance of stamping tools. It is shown that magnetic fields improve control over the surfacing process, ensuring uniformity of the chemical composition along the weld length, which can increase the service life of dies, which is economically beneficial for enterprises. The importance of further research in the field of optimization of magnetic field parameters is shown.

Keywords: arc surfacing, plasma-MIG surfacing, flux-cored wire, magnetic field, die restoration, die hardening, thermocyclic loads, shock loads.