

mostov. Tehnicheskaja diagnostika i ne razrushajushij kontrol'. – 2001. – No1. – P. 13–18. **4.** Sokolov P. A. Metallicheskie konstrukcii podNoemno–transportnyh mashin: Uchebnoe posobie. – SPb.: Politehnika, 2005. – 423 P. **5.** Hryhorov O. V., Gubskiy S.O. Vplyv mekhanizmu peresuvannya mostovoho krana na resurs metalokonstruktсийi. Vestnyk Khar'kovskoho natsyonal'noho avtomobyl'no-dorozhnoho unyversyteta. – Kharkov : KhNADU, 2012. – No57. – P. 296-299. **6.** Hryhorov, O. V., Petrenko N. O. Vantazhopidyomni mashyny. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2006. – 304 P. **7.** Hryhorov O. V., Gubskiy S.O. Vplyv parametriv mekhanizmu peresuvannya mostovoho krana na napruzheno–deformovany stan yoho metalokonstruktсийi. Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya : XIX mizhnarodna naukovо–praktychna konferentsiya, 01–03 chervnya 2011 r. : tezy dopovidey ch. I. – Kharkiv, 2011. – P. 99. **8.** Gubskiy S. O., Okun' A. O. Sproshchennya rozrakhunkiv dlya otsinky ta prohnozuvannya tekhnichnoho stanu metalokonstruktсийi kraniv. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho unyversytetu «Kharkivskyy politekhnichnyy instytut». – Kharkiv : NTU «KhPI», 2013. – No54. – P.106-110. **9.** GOST 25.101–83. Metody shematyzatsii sluchajnyh processov nagruzheniya jelementov mashin i konstrukcij i staticheskogo predstavleniya rezul'tatov. – Moscow: Izd–vo standartov, 1983. – 21 P. **10.** NPAOP 0.00–1.01–07. Pravila ustrojstva i bezopasnoj jekspluatsacii gruzopodNoemnyh kranov. – Izd–vo «Fort», 2007. – 256 P. **11.** Reguljatory skorosti DynA (<http://www.konecraneP.com.ua/equipment/dyna.html>). **12.** Sovremennye sistemy upravleniya kranovymi privodami KONECRANES (<http://www.konecraneP.com.ua/issue/16.pdf>).

Поступила (received) 02.10.2014

УДК 621.9

Д.О. МІНЕНКО, канд. техн. наук, ст. викл., СумДУ, Суми;
В.О. ІВАНОВ, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми;
І.Г. ГОНЧАРЕНКО, студент, СумДУ, Суми

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВІТРЯНО-ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛУ

Розглянуто основні критерії забезпечення якості повітряно-плазмової різки сталі. Запропоновано залежність для визначення режимів повітряно-плазмової різки тонколистового металу за умов забезпечення необхідної якості розрізу та максимальної продуктивності обробки з урахуванням оптимального співвідношення продуктивності плазмової різки з трудомісткістю подальшої механічної обробки. Нведені залежності формування величини хвилястості та висоти ґрата від швидкості переміщення плазмотрону.

Ключові слова: ефективність, повітряно-плазмове різання, швидкість переміщення, товщина металу, сила струму, ґрат, якість.

Вступ. Одним із перспективніших напрямків у області різання металу є повітряно-плазмове різання, яке забезпечує високу продуктивність обробки та якість поверхонь деталей. Європейський стандарт якості ENISO 9013 «Термічне різання» містить вимоги щодо геометричних параметрів виробів і допуски на розміри, стосовно матеріалів, які можуть бути оброблені методами термічного різання. Для плазменого різання для товщини металу 1–150 мм, стандарт виділяє наступні параметри якості: нерівність та кутовий

© Д.О. Міненко, В.О. Іванов, І.Г. Гончаренко, 2014

допуск, середня висота від западини до вершини, інтервал борізід, оплавлення країв вершин, утворення грата.

Постновк проблеми. Обробка металу товщиною 1–10 мм з точки зору підвищення якості перерізу не викликає значних труднощів. Однак при обробці тонкого металу однією з проблем є утворення грату, видалення якого в деяких випадках буває досить важким і потребує додаткових слюсарних операцій. Грат – це метал і оксиди метала, що пристали до нижньої частини поверхні після виконання плазмового різання. На верхній кромці поверхні, яка пройшла плазмову обробку, також можуть бути бризки металу. На формування грата впливає безліч перемінних значень, які відносяться до процесу, наприклад, швидкість переміщення плазмотрону, відстань від сопла плазмотрону до поверхні металу, сила струму, напруга, плазموутворюючий газ, та інші технологічні фактори. Існує також залежність від таких перемінних значень як сам матеріал, його товщина, стан поверхні та перепади температури матеріалу під час різання.

Матеріали досліджень. Виділено два основних параметри, які найбільше впливають на якість різання та потребують оптимізації – сила струму та швидкість переміщення плазмотрону. Швидкість і сила струму взаємопов'язані величини. Зі збільшенням сили струму необхідно збільшувати швидкість переміщення плазмотрону, однак сила струму обмежується потужністю джерела плазмової установки, швидкість переміщення плазмотрона також обмежується можливостями механіки верстата. При достатньо великій швидкості переміщення плазмотрона та недостатній силі струму спостерігається ускладнене прорізання листа, що призводить до неякісного різання, появи браку та швидкого виходу сопла з ладу. У літературі [1] для визначення співвідношення сили струму та швидкості переміщення плазмотрону рекомендується використовувати таблиці, або математичну залежність (1), однак ці рекомендації направлені на отримання максимальної продуктивності різання та не визначають якість поверхні різання та утворення грату. При незадовільній якості різання рекомендується змінювати параметри режимів обробки та шляхом підбору отримувати необхідну якість поверхні.

$$S = 150 \frac{I}{\delta} \cdot k_m \quad (1)$$

де S – швидкість переміщення плазмотрону;

δ – товщина металу;

I – сила струму;

k_m – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу.

Результати досліджень. З метою отримання оптимального співвідношення швидкості переміщення плазмотрону та сили струму, які забезпечують найкращу якість поверхні різання було проведено серію дослідів. Досліджувалися залежності швидкості переміщення плазмотрону та сила

струму, які дозволять не тільки забезпечити найкращу якість поверхні різь, а й полегшити подальшу слюсарну обробку за рахунок зменшення кількості та покращення видалення грата. Експеримент виконувався на установці плазмового різання з ЧПК, з джерелом плазми, яке забезпечує силу струму від 20 до 70 А, чого цілком досить для якісного та продуктивного різання сталі товщиною 6–10 мм.

Наявність грата та легкість його видалення оцінювалась за 5-ти бальною шкалою методом експертних оцінок. Експерт керувався такими критеріями, як легкість видалення грата та чистота кромки, що залишилася після видалення грата. Також вимірювалися крок хвилястості на поверхні розрізу, висота грата та визначалася його структура (табл. 1).

Таблиця 1 – Критерії експертні оцінки якості поверхні

Оцінка	Характеристика	Якісні критерії
2	незадовільно	гат важко видаляється з поверхні деталі, після видалення присутні його залишки
3	задовільно	гат важко видаляється, але після видалення відсутні його залишки на поверхні деталі
4	добре	добре видалення грату, але присутність його залишків після видалення
5	відмінно	легке видалення грата та відсутність його залишків на поверхні

Відповідно до рекомендацій [2] для розрізання сталевих листа марки Ст3 товщиною 3 мм при силі струму 40 А швидкість переміщення плазмотрону має бути 2000 мм/хв. У проведених дослідах швидкість переміщення плазмотрону змінювалась у межах від 1000 до 3000 мм/хв, сила струму змінювалась від 20 до 70 А.

Детально розглянемо один дослід із серії експериментів. Експериментально встановлено, що при занадто низькій швидкості переміщення плазмотрону (від 1000 до 1300 мм/хв при силі струму 40 А) отримується широкий розріз та сильна хвилястість поверхні з кроком хвиль 1,1–1,26 мм (рис. 1). Зі збільшенням швидкості переміщення плазмотрону помітне значне зменшення хвилястості поверхні (рис. 2). Найменша величина кроку хвилястості $p=0,4$ мм відповідає максимальній швидкості переміщення плазмотрону $S=2800$ мм/хв, однак подальше збільшення швидкості переміщення плазмотрону призводить до сильного викривлення поверхні розрізу. Хвилі на поверхні мають сильний кут нахилу або, при збільшенні товщини листа, мають форму у вигляді літери S, що значно знижує якість розрізу.

При швидкості переміщення плазмотрону від 1000 до 1300 мм/хв грат утворюється у великій кількості та має пористу структуру, що характеризує наявність великої кількості оксидів металу. Висота грата h дорівнює 1,1–1,2 мм (рис. 3). Видалити такий грат досить важко, після видалення на кромці

розрізу залишаються зазублини та залишки ґрата, що потребує додаткової слюсарної обробки. Обробка кромки деталі після роботи верстата на таких режимах вимагає найбільших витрат часу для зачистки поверхні тому при швидкості переміщення плазмотрона 1000 мм/хв експертом присвоєна оцінка «незадовільно», а при швидкості 1300 мм/хв «задовільно» (рис. 4). Причиною утворення такого ґрата є перегрів матеріалу унаслідок його тривалого контакту з плазмою, що утворена занадто високою силою струму для вибраної швидкості переміщення плазмотрона. До того ж процес різання супроводжується виділенням великої кількості диму та пилу, внаслідок згоряння металу. Найявністю великої кількості диму є першою ознакою необхідності збільшення швидкості різання, або зменшення сили струму.



Рис. 1 – Хвилястість на поверхні розрізаного металу товщиною 3 мм при силі струму 40 А: а – $S = 1000$ мм/хв, $p = 1,3$ мм; б – $S = 1300$ мм/хв, $p = 1,1$ мм;
в – $S = 1600$ мм/хв, $p = 1,0$ мм; г – $S = 1900$ мм/хв, $p = 0,8$ мм;
д – $S = 2200$ мм/хв, $p = 0,75$ мм; е – $S = 2500$ мм/хв, $p = 0,7$ мм;
ж – $S = 2800$ мм/хв, $p = 0,4$ мм

Зі збільшенням швидкості переміщення плазмотрона до 1600–1800 мм/хв ґрат має висоту до 1,15 мм (рис. 3), а в деяких місцях повністю відсутній. ґрат стає на вигляд більш твердим, але помітно його пористу структуру. Видаляється такий ґрат значно легше, а після видалення залишаються незначні сліди, тому даним режимам обробки присвоєно оцінку «добре». Утворення диму при таких режимах обробки значно зменшується.

Найкращі показники утворення та легкості видалення ґрата, якому експертом присвоєно оцінку «відмінно» відповідають значенню швидкості переміщення плазмотрона 1900–2500 мм/хв. При швидкості переміщення плазмотрона 2100 мм/хв висота ґрата складає 1,1 мм. Пориста структура майже відсутня. Видалення ґрата у більшості випадків відбувається під час вибивання готових деталей з листа металу. ґрат відламується одночасно на значних ділянках розрізу для чого майже непотрібно прикладати зусиль. Поверхня залишається чистою та не потребує додаткової слюсарної обробки.

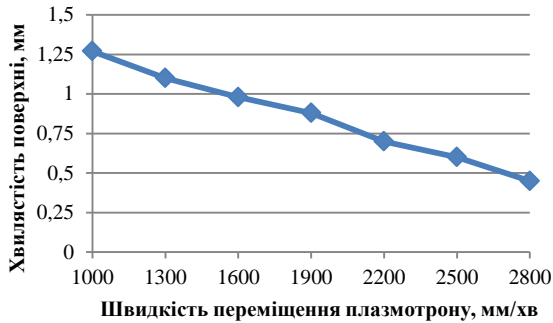


Рис. 2 – Залежність хвилястості поверхні розрізу від швидкості переміщення плазмотрону

При швидкості переміщення плазмотрона в діапазоні 2500–2800 мм/хв. висота ґрата зменшується та складає відповідно 0,8–0,9 мм. Такий ґрат переважно складається лише з затвердішого металу, пористість повністю відсутня. Видалення ґрата потребує значних зусиль. При швидкості плазмотрона 3100 мм/хв ґрат має висоту 0,4 мм, а на деяких ділянках повністю відсутній. Для видалення такого ґрата необхідно прикласти значні зусилля, що часто призводить до псування поверхні деталі. До того ж при такій швидкості переміщення плазмотрона в деяких місцях спостерігається ускладнене прорізання металу, причиною чого є недостатня сила струму для такої швидкості переміщення плазмотрону.

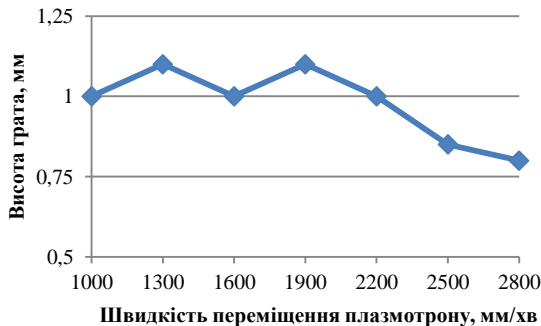


Рис. 3 – Залежність висоти ґрата від швидкості переміщення плазмотрону при силі струму $I=40$ А

Проаналізувавши отримані результати для даного випадку обробки сталі Ст3 товщиною 3 мм, можна рекомендувати наступні режими обробки: сила струму $I=40$ А; швидкість переміщення плазмотрону $S=1900$ – 2500 мм/хв.

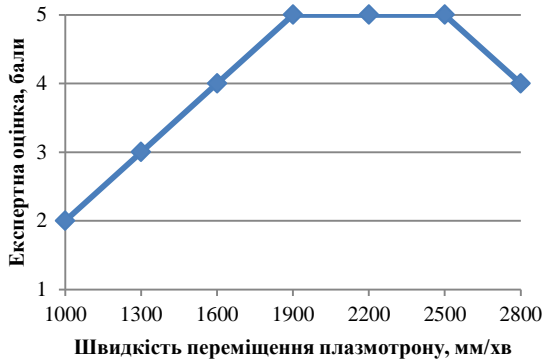


Рис. 4 – Експертна оцінка легкості видалення ґрата залежно від швидкості переміщення плазмотрона

Перевагу слід надати швидкості переміщення $S=2500$ мм/хв., оскільки вона забезпечує найбільш високу продуктивність і необхідну якість розрізу металу. Таким чином, постійний коефіцієнт 150 у формулі 1 занижено, що не дозволяє отримати максимально можливої продуктивності обробки. Для досягнення максимальної продуктивності даний коефіцієнт має бути не менше 180–185. Подальші експериментальні дослідження показали, що зі збільшенням товщини металу при використанні коефіцієнту 185 часто спостерігається не прорізання металу. Так при товщини листа 12 мм товщина непрорізаного металу складає близько треті від товщини листа (рис. 5), тоді як при розрахунку швидкості переміщення плазмотрону з використанням коефіцієнту 150 лист було пропалено наскрізь.



Рис. 5 – Непропалений метал при товщині листа 12 мм

Висновки. Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок, що при розрахунку залежності швидкості переміщенні плазмотрону від сили току слід враховувати додатково коефіцієнт K_T , який залежить від товщини матеріалу. У цьому випадку формула для розрахунку швидкості переміщення плазмотрону має вигляд:

$$S = K_T \frac{I}{\delta} \cdot k_M \quad (2)$$

де: K_T – коефіцієнт, що залежить від товщини металу.

Величина коефіцієнта K_T отримана експериментально та представлена на рис. 6.

У випадку якщо сила струму може бути змінена в широкому діапазоні, а обмежуючим фактором є швидкість переміщення плазмотрону, останню визначають за формулою (3) або графіком (рис. 7):

$$I = \frac{S \cdot \delta}{K_T \cdot k_M} \quad (3)$$

Отримана залежність дозволяє визначати режими повітряно-плазмового різання тонколистового металу, що забезпечують необхідну якість розрізу та найкраще видалення ґрату з поверхні розрізу при максимальній продуктивності обробки.

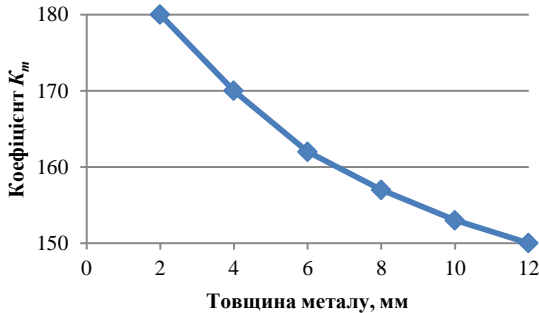


Рис. 6 – Залежність коефіцієнта K_T від товщини листа

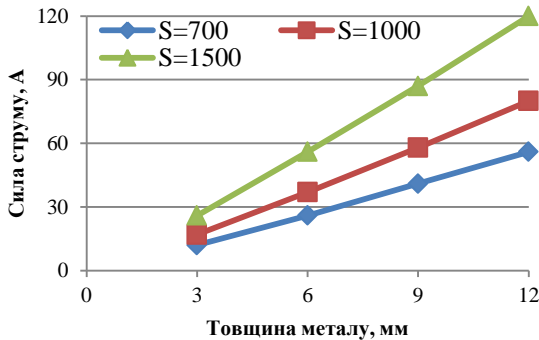


Рис. 7 – Залежність сили струму від товщини металу при різних швидкостях переміщення плазмотрона S

Список літератури: 1. Офіційний сайт компанії REDSTEEL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.redsteel.ru>. – Дата звертання : 20 жовтня 2014. 2. Дзюба В. Л. Физика, техника и применение низкотемпературной плазмы / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов. – Луганск : Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2007. – 448 с.

Bibliography (transliterated): 1. Oficijniy sajt kompanii REDSTEEL [Elektronniy resurs]. Web. 20 October 2014 <<http://www.redsteel.ru>>. 2. *Dzjuba V.L., Korsunov K. A.* Fizika, tehnika i primenenie nizkoterperaturnoj plazmy. – Lugansk : Izd-vo VNU im. V. Dalja, 2007. – 448 P.

Надійшла (received) 04.10.2014

УДК 621.9.048

Н.В. ТАРЕЛЬНИК, к.э.н., доц. Сумского НАУ

НОВЫЙ СПОСОБ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Предложен новый способ нитроцементации стальных деталей, включающий электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) углеродом в сочетании с ионным азотированием (ИА), при этом ионное азотирование осуществляют до или после операции электроэрозионного легирования в течение времени, достаточного для насыщения металла азотом на глубину зоны термического влияния. Приведен анализ микроструктур исследуемых образцов стали 40Х после различных методов упрочнения.

Ключевые слова: нитроцементация, электроэрозионное легирование, ионное азотирование, поверхностный слой, упрочнение.

Введение. Одним из основных показателей качества машин является их надежность. Наиболее распространенной причиной отказов машин является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей их деталей и рабочих органов. Как правило, все разрушения деталей начинаются с поверхности.

Использование упрочняющих и защитных покрытий существенно повышает качество продукции в машиностроении, обеспечивает надежную работу узлов и деталей в тяжелых условиях эксплуатации оборудования, позволяет снизить материальные и энергетические затраты на эксплуатацию машин, уменьшить расход дорогостоящих конструкционных материалов. Поэтому исследования в направлении создания новых защитных покрытий и повышение качества существующих актуальны и своевременны.

Анализ основных достижений и публикаций

Одним из наиболее простых с технологической точки зрения методов поверхностного легирования является электроэрозионное. Его достоинствами являются локальность воздействия, малый расход энергии, отсутствие объемного нагрева материала, простота автоматизации и «встраиваемости» в технологический процесс изготовления деталей, возможность совмещения операций.

При помощи электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) можно повысить твердость металлической поверхности, нанесением на нее материала более высокой твердости или диффузионным введением в поверхностный слой необходимых химических элементов из окружающей среды, или из материала анода; или понизить твердость, нанося на поверхность более

© Н.В. Тарельник, 2014