

УДК 621.771.09:621.9

Кургузов С.А., Залетов Ю.Д., Косматов В.И., Гусева О.С., Шевцова И.Н.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

Высокие напряжения между электродами, находящимися в электролите, приводят к формированию разряда, который позволяет воздействовать на их поверхность и проводить очистку от разнообразных загрязнений. В технической литературе недостаточно полно рассмотрен этот процесс для ряда вариантов применения. Поэтому была поставлена задача изучить данный процесс, названный электролитно-плазменной обработкой с целью разработки технологии и устройств очистки поверхности металлопроката от технологических загрязнений, особенно от окалина. Эксперименты проводили с помощью разработанной и изготовленной на кафедре технологии машиностроения установке, позволяющей изменять в широких пределах изучаемые факторы. В данной статье приведены результаты исследований по очистке поверхности горячекатаного металлопроката от технологических и прочих загрязнений при изготовлении металлоконструкций. Определены рациональные диапазоны режимов электролитно-плазменной обработки, позволяющие удалять слой окалина и прочих загрязнений с наибольшей скоростью.

Ключевые слова: очистка, электролитно-плазменная обработка, электролит, плазма, загрязнения, поверхность, режимы, напряжение, плотность электрического тока, окалина.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время производство металлоконструкций, изготовление холоднокатаного металлопроката, металлопроката с разнообразными покрытиями, проволоки и прочих металлоизделий требует совершенствования процессов очистки поверхности заготовки. Как правило, заготовкой является металлопрокат, получаемый горячей прокаткой. Основным недостатком такого проката является наличие на его поверхности различных загрязнений, технологических смазок и, прежде всего, окалина [1, 2].

В сложившихся условиях высокой конкуренции на рынке основным фактором является качество поверхности металла изделия [1, 2]. Следовательно, эффективное удаление окалина с поверхности заготовок и готовых изделий – это технологии, обеспечивающие выпуск качественной продукции [3].

Существует большое количество процессов удаления окалина с поверхности проката, например: химическое и электрохимическое травление в растворах кислот; пластическая деформация, обработка щетками, фрезами, дробью, абразивными кругами, плазменная обработка и прочие. Заметим, что указанные процессы не лишены недостатков. Они не всегда обеспечивают полное удаление окалина либо снижают расходный коэффициент использования металла, либо экологически вредны, либо энергозатратны и др [3-5]. Поэтому эти процессы не решают проблему очистки в полном объеме.

Как показывает практика, до сих пор актуальны исследования процессов и разработка новых устройств очистки поверхности металлопроката, которые позволят оптимизировать затрачиваемые ресурсы и повысить экологическую безопасность производства.

Целью работы является разработка технологического и конструкторского обеспечения процесса электролитно-плазменной очистки от окалина поверхности стального металлопроката в металлургии и машиностроении.

Перспективным процессом удаления окалина и прочих загрязнений с поверхности металлопроката является электролитно-плазменная обработка (ЭПО) [6-10]. Процесс значительно экологичнее химического травления, в связи с тем, что проводится при концентрации химических веществ в электролите в малых количествах. Он менее энергозатратен, так как проходит с меньшими плотностями электрического тока, а применение ингибиторов и поверхностно-активных веществ должно уменьшить травление поверхности обрабатываемого металла [7, 8, 11, 12].

Свойство образования электрической дуги и плазмы между электродами в электролите открыто в начале 20-го века. В настоящее время этот процесс применяют в промышленности для полирования поверхности изделий из низкоуглеродистых легированных сталей, цветных металлов и инструментальных сталей. Заготовку – электрод и стационарный электрод помещают в ванну с раствором электролита и подают высокое, 200 и более вольт, напряжение на электроды. В результате этого на контакте поверхности заготовки и электролита образуется парогазовый слой. В нем происходит образование электрической дуги и затем, за счет ионизации паров электролита, плазмы, являющейся рабочим телом [7]. Наличие высоких температур и давлений в микрообъемах парогазового слоя приводит к нагреву металла, к отслоению с его поверхности загрязнений и, в дальнейшем, травлению поверхностного слоя.

В настоящей статье проведены результаты экспериментального исследования процесса ЭПО с целью очистки поверхности стального горячекатаного металлопроката от окалина, сформированной при прокатке.

Обработка металлопроката, имеющего значительные габариты по ширине и длине, требуют соответствующих по размерам ванн для размещения при обработке. Это нерентабельно, так как они должны занимать большие производственные площади. Поэтому приняли решение проводить ЭПО в струе электролита. Это, на наш взгляд, позволит уменьшить размеры установки, упростить управление процессом и улучшить очистку рабочей жидкости от загрязнений при работе.

Эксперименты по ЭПО поверхности образцов го-

рячекатаного листа из углеродистой стали проводили на лабораторной установке, показанной на рис. 1, а. Электролит через трубчатый электрод - анод струей подается на поверхность металлопроката - катод. Образцы представляли собой прямоугольные пластины размерами 20×80×2 мм, изготовленные из стали Ст3. На рис. 1, б показан фрагмент образца после очистки от окалины.

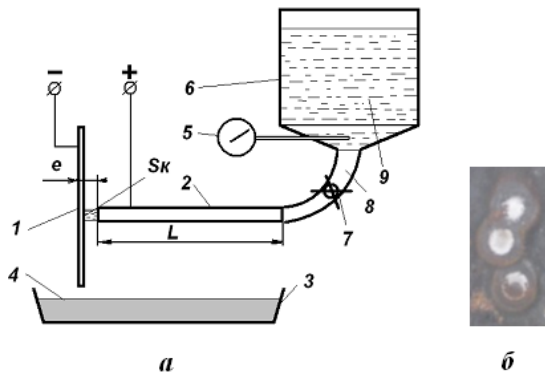


Рис. 1. Схема установки (а) для электролитно-плазменной обработки образцов (б): 1 - образец – катод; 2 - трубчатый анод; 3 - ванна для приема отработанного электролита; 4 - отработанный электролит; 5 - термометр; 6 - емкость с электролитом; 7 – вентиль; 8 - подающая трубка (диэлектрик); 9 - электролит

Варьируемые факторы при ЭПО: 1 - соотношение (K_s) площади (S_k) пятна контакта струи электролита с катодом и площади (S_a) внутренней поверхности трубчатого электрода с диаметром отверстия 5 мм, изготовленного из нержавеющей стали Х18Н10Т. Данное соотношение обеспечивали изменением длины (L) электрода; 2 - расстояние между торцом трубчатого анода и катодом (e); 3 - концентрация солей в электролите (p); 4 - напряжение (U) и плотность электрического тока (i), при которых происходит процесс.

Электролитом являлся раствор карбоната натрия (Na_2CO_3) необходимой концентрации. Степень очистки поверхности металлопроката от окалины определяли визуально с помощью инструментального микроскопа БМИ при 50-тикратном увеличении. Температуру электролита измеряли электронным термометром, помещенным в емкость с электролитом.

В качестве параметра процесса принято время обработки (T_1), при котором происходит полная очистка пятна контакта поверхности образца и струи электролита площадью S_k . Время T_1 определяется путем обработки отдельных участков образца с различной продолжительностью и последующей оценки степени очистки участков. Затем, для уточнения результатов, проводили дополнительно обработку 3-5 участков образца с определенным временем T_1 . Дальнейшее увеличение продолжительности обработки приводит к травлению поверхности металла, а это нецелесообразно.

Результаты опытов приведены на графиках, представленных на рис. 2-5.

Начало ЭПО зависит от концентрации электролита, межэлектродного расстояния и напряжения (см. рис. 2). Чем больше расстояние e , тем при большем напряжении начинается процесс образования плазмы и процесс более стабильный. Влияние концентрации обратно пропорциональное. С увеличением ее

процесс начинается при значительно меньшем напряжении.

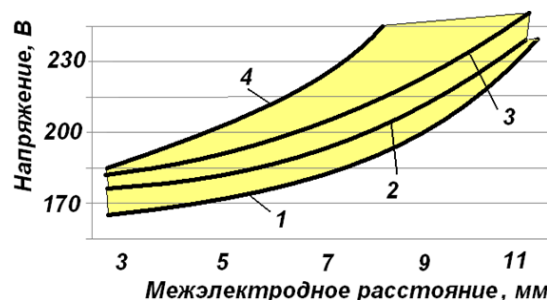


Рис. 2. Напряжение начала ЭПО в зависимости от расстояния между электродами и концентрации электролита: 1 - 12%; 2 - 8%; 3 - 6%; 4 - 2%

Производительность очистки поверхности металла от окалины пропорциональна напряжению и концентрации электролита (см. рис. 3).

Анализ результатов опытов показал, что наиболее рациональная концентрация карбоната натрия в электролите – 9–11%. Дальнейшее повышение концентрации не ускоряет очистку. Поэтому во всех экспериментах концентрация соли Na_2CO_3 в электролите принята на уровне 10%.

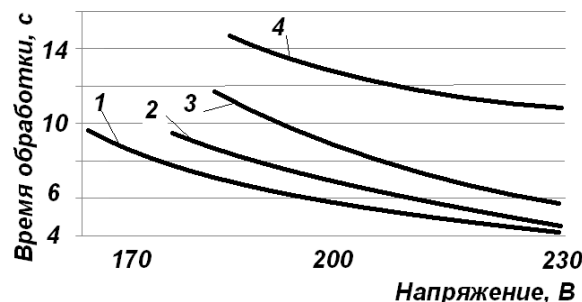


Рис. 3. Время T_1 ЭПО в зависимости от напряжения между электродами и концентрации электролита: 1 - 12%; 2 - 8%; 3 - 6%; 4 - 2%

Увеличение плотности электрического тока ускоряет процесс ЭПО (см. рис. 4). В соответствии с законом Ома плотность тока увеличивается с ростом напряжения тока. Увеличение межэлектродного расстояния в исследованном диапазоне мало влияет на производительность ЭПО.

Замечена закономерность влияния соотношения K_s площади пятна контакта струи с катодом и площади анода. Увеличение этого соотношения позволяет повысить производительность ЭПО. Отмечено, что увеличение K_s больше 18-22 нецелесообразно, так как не приводит к дальнейшему повышению производительности процесса.

Обработка результатов проведенных экспериментов позволила определить эмпирическую зависимость между временем очистки поверхности металлопроката T_1 и исследованными факторами процесса, с:

$$T_1 = \frac{K \cdot S^{0,8} \cdot e^{1,7}}{P^{2,5} \cdot I \cdot U^{1,25}}$$

где K – поправочный коэффициент, позволяющий учесть отличия условий обработки от изученных; S – площадь отверстия полого электрода, мм²; e – расстояние между электродами, мм; P – концентрация

карбоната натрия в электролите, г/л; I – сила электрического тока, А; U – напряжение электрического тока, В.

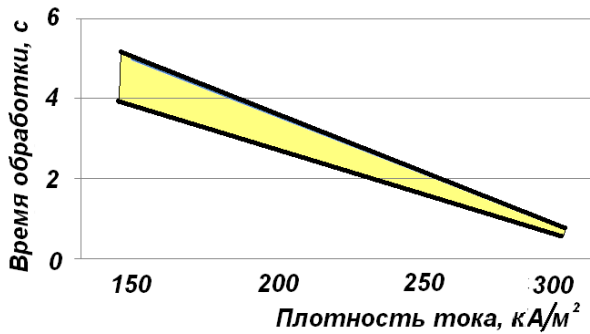


Рис. 4. Зависимость времени T_1 ЭПО от плотности тока

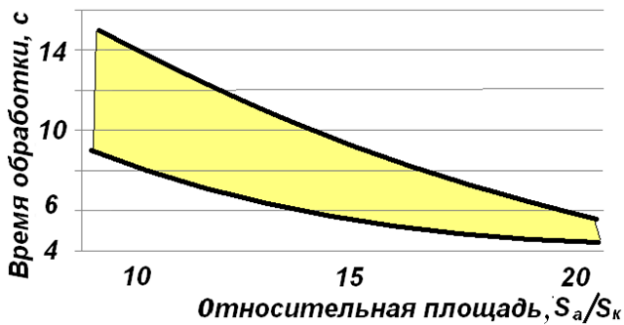


Рис. 5. Зависимость времени обработки от отношения площадей анода и катода K_s

Данная зависимость определена для коэффициента отношения площадей анода и катода $K_s = 20$. Проверка показала её адекватность исследуемому процессу. Заметим, что изменения условий обработки могут привести к изменению показателей степени влияния факторов на получаемый результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало возможность проведения электролитно-плазменной обработки в проточном электролите, а также определило качественное и количественное влияние исследованных факторов на процесс очистки металлопроката из низкоуглеродистой стали от окалины и прочих загрязнений. Показано, что электролитно-плазменная обработка позволяет достичь полной очистки поверхности металла от окалины. Повышение производительности процесса пропорционально увеличению исследованных факторов, таких как напряжение и плотность электрического тока, отношение площадей электродов и расстояния между ними, а также концентрация электролита. Наименьшее достигнутое время обработки состави-

ло 3-4 с. В настоящее время коллектив авторов проводит работу по дальнейшему исследованию и математическому описанию, изученного экспериментально, процесса ЭПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество поверхности листового металлопроката / Л.А. Дахно, А.З. Исагулов, К.И. Жаркешов, А.Н. Климушкин, А.А. Смолькин // Труды Университета. 2005. №4. С.34-37.
2. Система оценивания качества поверхности металлопроката / Л.И. Криволапова, О.А. Кравцова, Н.А. Кравцов, С.Д. Коткин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. Т.2. №1. С. 128-132.
3. Зайдес С.А. Сварные металлоконструкции повреждения и разрушения / Иркутский национальный исследовательский технический университет. Иркутск, 2015.
4. Огарков Н.Н., Кургузов С.А., Жигулева И.Ф. Исследование гидромеханического удаления окалины при горячей прокатке // Процессы и оборудование металлургического производства / под ред. Кальченко А.А. Магнитогорск, 2002. С. 70-73.
5. Совершенствование дробеметной обработки прокатных валков для производства автомобильного листа / Н.Н. Огарков, Ю.Д. Залетов, С.А. Ласьков, Е.Ю. Звягина, Ю.А. Пожидаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №2. С. 41-43.
6. Кургузов С.А., Пузаков В.В., Краснопарова И.А. Электролитно-плазменная обработка металлопроката из углеродистой стали // Научные труды SWorld. 2013. Т.13. №4. С.41-44.
7. Электролитно-плазменная обработка материалов / И.С.Куликов, С.В. Ващенко, А.Я. Каменев. НАН Беларуси, Объединенный институт энергетических исследований. Сосны. Минск: Беларуская навука. 2010.
8. Возможности электролитно-плазменного полирования при обработке деталей с различным начальным уровнем шероховатости поверхности / В.И. Новиков, А.И. Попов, М.И. Тютхьяев, М.Н. Зейдан // Металлообработка. 2001. №4. С.29-31.
9. Веселовский А.П., Кюбарсэп С.В., Ушомирская Л.А. Особенности электролитно-плазменной обработки металлов в нетоксичных электролитах // Металлообработка. 2001. №4. С.29-31.
10. Воленко А.П., Бойченко О.В., Чиркунова Н.В. Электролитно-плазменная обработка металлических материалов Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2012. №4(22). С.144-147.
11. Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. науч. трудов / под ред. С.И. Лукьянова, Н.В. Швидченко. Магнитогорск, 2015. Вып. 2.
12. Ушомирская Л.А., Новиков В.И. Полирование легированных сталей в нетоксичных электролитах при высоком напряжении // Металлообработка. 2008. №1. С. 22-24.

INFORMATION IN ENGLISH

ELECTROLYTIC AND PLASMA CLEANING OF THE SURFACE OF STEEL ROLLED METAL PRODUCT

Kurguzov S.A., Zaletov Y.D., Kosmatov V.I., Guseva O.S., Shevtsova I.N.

High voltages between the electrodes in electrolyte result in formation of the charge, which makes it possible to influence their surface and to carry out cleaning of various kinds of pollution. In technical literature this process has not been

properly studied for a number of different applications. Therefore the main task of this research work was to study the process called electrolytic and plasma processing for the purpose of development of technology and devices for surface cleaning of

rolled metal product from technological pollution, particularly from scale. The experiments were made by means of the installation designed and developed at the department of technology of mechanical engineering; this installation makes it possible to change the considered factors over a wide range of values. The present paper describes the results of the research on cleaning the surface of hot-rolled metal products from technological and other pollutants. The research group determined the rational modes of electrolytic and plasma processing, which provide removal of scale layer and other pollutants at the maximum speed.

Keywords: Cleaning, electrolytic and plasma processing, electrolyte, plasma, pollution, surface, modes, voltage, density of electric current, scale.

REFERENCES

1. Dakhno L.A., Isagulov A.Z., Zharkeshov K.I., Klimushkin A.N., Smolkin A.A. Kachestvo poverkhnosti listovogo metalloprokata [Surface Quality of Sheet Rolled Metal Product]. *Proceedings of University*. 2005, no. 4, pp.34-37.
2. Krivolapova L.I., Kravtsova O.A., Kravtsov N.A., Kotkin S.D. Sistema otsenivaniya kachestva poverkhnosti metalloprokata [Assessment System of Surface Quality of Rolled Metal Product]. *Reports of Tomsk state university on control systems and radio electronics*. 2011, vol.2, no.1, pp.128-132.
3. Zaydes S.A. *Svarnye metallokonstruktsii: povrezhdeniya i razrusheniya* [Welded Metalwork: Damage and Failures]. Irkutsk national research technical university. Irkutsk, 2015.
4. Ogarkov N.N., Kurguzov S. A., Zhiguleva I.F. Issledovanie gidromekhanicheskogo udaleniya okaliny pri goryachey prokatke. *Protsessy i oborudovanie metallurgicheskogo proizvodstva*. [Hydromechanical Removal of Scale during Hot Rolling. In the collection of scientific papers: Processes and equipment of metallurgical enterprises]. Under the editorship of Kalchenko A.A. Magnitogorsk. 2002, pp. 70-73.
5. Ogarkov N.N., Zaletov Yu.D., S. A., Zvyagin E.Yu., Laskov S.A., Pozhidayev Yu.A. Sovershenstvovanie drobemetnoy obrabotki prokatnykh valkov dlya proizvodstva avtomobilnogo lista [Improvement of Wheelblast Processing of Rolling Rolls for Production of Automobile Sheet]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university*. 2010, no.2, pp. 41-43.
6. Kurguzov S.A., Puzakov V.V., Krasnoparova I.A. Elektrolitno-plazmennaya obrabotka metalloprokata iz uglerodistoy stali [Electrolytic and Plasma Processing of Rolled Metal Product from Carbon Steel]. *Scientific works of SWorld*. 2013, vol.13, no.4, pp.41-44.
7. Kulikov I.S., Vashchenko S.V., Kamenev A.Ya. *Elektrolitno-plazmennaya obrabotka materialov* [Electrolytic and Plasma Processing of Materials]. NAN of Belarus, Joint institute of power research. Sosny. Minsk. Belarusky navuka. 2010.
8. Novikov V.I., Popov A.I., Tyukhtyaev M.I., Zeydan M.N. Vozmozhnosti elektrolitno-plazmennogo polirovaniya pri obrabotke detaley s razlichnym nachalnym urovnem sherokhovatosti poverkhnosti [Possibilities of Electrolytic and Plasma Polishing When Processing Details With Various Initial Level of Surface Roughness]. *Metal working*. 2001, no.4, pp.29-31.
9. Veselovsky A.P., Kyubarsep S.V., Ushomirskaya L.A. Osobennosti elektrolitno-plazmennoy obrabotki metallov v netoksichnykh elektrolitakh [Features of Electrolytic and Plasma Processing of Metals in Nontoxic Electrolytes]. *Metal working*. 2001, no.4, pp.29-31.
10. Volenko A.P., Boychenko O.V., Chirkunov N.V. Elektrolitno-plazmennaya obrabotka metallicheskiykh materialov [Electrolytic and plasma processing of the metal materials]. *Science Vector of Tolyatti state university*. 2012, no.4(22), pp.144-147.
11. *Energeticheskie i elektrotekhnicheskie sistemy* [Power and Electrotechnical Systems]. International collection of scientific papers. Under the editorship of S. I. Lukyanov, N. V. Shvidchenko. Magnitogorsk. 2015, iss.2.
12. Ushomirskaya L.A., Novikov V. I. Polirovanie legirovannykh staley v netoksichnykh elektrolitakh pri vysokom napryazhenii [Polishing of Alloyed Steels in Nontoxic Electrolytes at High Voltage]. *Metal working*. 2008, no.1, pp.22-24.