

УДК 669:620.197

ТЕХНОЛОГИЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ ПОД ЛАЗЕРНУЮ РЕЗКУ

Качанов Игорь Владимирович¹, Доктор технических наук, профессор

e-mail: hidrokaf@bntu.by

Жук Андрей Николаевич², Кандидат технических наук

e-mail: hidrokaf@bntu.by

Кундир Михаил Алексеевич¹, студент

e-mail: hidrokaf@bntu.by

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

² Государственное учреждение «Санаторий «Юность», Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В результате выполненной работы были проанализированы основные преимущества и недостатки существующих технологий очистки поверхностей от различных загрязнений, а так же разработана, исследована и запатентована отечественная инновационная технология абразивной реверсивно-струйной очистки (АРСО) металлических поверхностей от коррозии, даны рекомендации по промышленному использованию АРСО металлических поверхностей от коррозии под лазерную резку.

Ключевые слова: металлическая поверхность, коррозия, очистка, абразив, струя, реверс, лазерная резка.

REVERSIBLE-JET CLEANING TECHNOLOGY FOR CORROSION-PROOFING METAL SURFACES FOR LASER CUTTING

Igor V. Kachanov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

e-mail: hidrokaf@bntu.by

Andrey N. Zhuk², Candidate of Technical Sciences

e-mail: hidrokaf@bntu.by

Mikhail A. Kundir¹, Master's Degree student

e-mail: hidrokaf@bntu.by

¹ Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

² State Institution "Sanatorium «Yunost», Minsk, Republic of Belarus

Abstract. As a result of the work performed, the main advantages and disadvantages of existing technologies for cleaning surfaces from various contaminants were analyzed, and a domestic innovative technology of abrasive reverse-jet cleaning (ARCO) of metal surfaces from corrosion was developed, researched and patented, and recommendations were given for the industrial use of ARCO of metal surfaces from corrosion for laser cutting.

Keywords: metal surface, corrosion, cleaning, abrasive, jet, reverse, laser cutting.

Успешная реализация целого ряда современных высокоэффективных технологических процессов напрямую зависит от качества очистки и защиты поверхностей от коррозии. Так, например, процесс лазерной резки (в настоящее время в промышленном секторе Республики Беларусь используется порядка 350 лазерных комплексов, обеспечивающих разрезку порядка 110–140 тыс. тонн листовой стали), относящийся к числу таких технологических процессов, может быть эффективно реализован только при проведении предварительной обработки поверхности стального листа с целью эффективного использования энергии лазерного луча и предотвращения появления дефектов характерных для лазерной резки (образование грата, раковин, прожига заготовки и др.). Суть этой обработки сводится к формированию очищенной от продуктов коррозии поверхности с низким уровнем упрочнения, высокой светопоглощающей способностью и оптимальной величиной параметра шероховатости R_a , составляющей 0,2–0,4 мкм для современных комплексов лазерной резки. При этом должна быть минимизирована повторная коррозия, которая начинает протекать на очищенной поверхности уже через 2–5 часов под воздействием кислорода из воздушной среды.

Известные процессы струйной очистки стальных листов от продуктов коррозии (гидроабразивные, пескоструйные, дробеструйные), для которых характерно радиальное растекание струи (РРС) рабочей жидкости после удара струи в очищаемую поверхность, являются энергозатратными, экономически и экологически неэффективными [1-2].

Эти недостатки обусловлены неэффективным использованием мощности насосного оборудования и кинетической энергии высоконапорной струи, содержащей различные абразивные компоненты (мелкодисперсный корунд, бентонитовая глина, песок, мелкодисперсный лед, чугунная или стальная дробь и т.д.). Альтернативой известным струйным процессам обработки поверхности от коррозии может быть технология, основанная на реверсивно-струйном воздействии рабочей жидкости на очищаемую поверхность. Отличительным моментом от известных струйных процессов с РРС в такой технологии является разворот относительно начального направления движения струи рабочей суспензии на 180° после соударения с поверхностью, что может обеспечить существенное повышение силового струйного воздействия (теоретически в 2 раза) на эту поверхность, а также производительности труда практически при тех же затратах мощности насосного оборудования [3].

В настоящее время теоретические и экспериментальные исследования процесса с реверсивно-струйным воздействием струи рабочей жидкости на обрабатываемую поверхность отсутствуют, что не позволяет создавать технологию реверсивно-струйной обработки (РСО) различных металлов перед их последующей лазерной резкой, сваркой, покраской, газоплазменным напылением и т.д.

На кафедре Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика Белорусского национального технического университета (ГЭСВТГ БНТУ) были проведены экспериментальные исследования, а также опытно-конструкторские работы по созданию реверсивно-струйного потока на обрабатываемую поверхность, что позволило разработать технологию РСО с одновременной защитой от коррозии применительно для листового стального проката перед лазерной резкой и другими технологическими процессами.

Для реализации способа ГАО используется сравнительно недорогое оборудование, состоящее из насоса, бункера, шланга и насадка; к тому же не требуется персонал высокой квалификации [2].

Однако способ ГАО обладает рядом существенных недостатков, к которым относятся:

неполное использование кинетической энергии струи рабочей суспензии, взаимодействующей с преградой и, как следствие, высокое энергопотребление с низкой производительностью труда (5–12 м²/ч);

повышенная опасность при производстве работ, вызванная реальной возможностью поражения обслуживающего персонала, растекающейся по очищаемой поверхности под углом 90° и под большим давлением (до 25 МПа) струей рабочей суспензии;

низкая экономичность процесса очистки, связанная с большими затратами мощности для получения необходимого качества очистки металлических поверхностей под лазерную резку.

Вышеперечисленные недостатки можно устранить полностью или свести к минимуму, используя схему течения жидкости в турбинах Пелтона, которая реализуется с помощью реверсивной струи рабочей суспензии, развернутой на 180° в сторону, противоположную начальному направлению движения струи после соударения с очищаемой поверхностью (рисунок 1, б). Этот разворот обеспечивает формирование дополнительной реактивной силы, которая, складываясь с силой от воздействия струи, приводит к увеличению силы давления $p_{\max}$ струйного воздействия в 1,5–2 раза по сравнению с традиционной схемой, при которой струя после взаимодействия с поверхностью растекается под углом 90° относительно своего первоначального направления (рисунок 1, а).

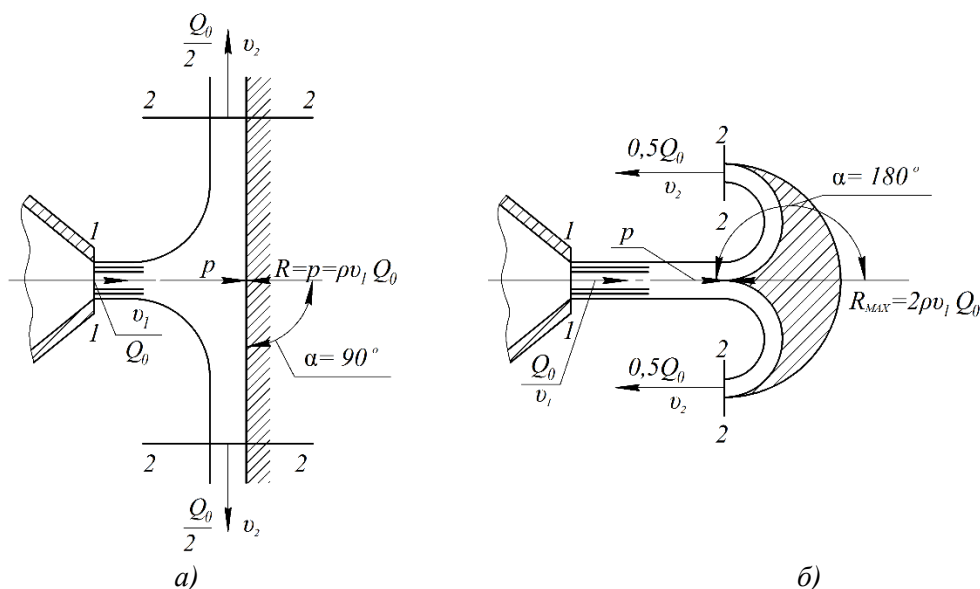


Рисунок 1 – Схемы воздействия струи на поверхность:

а) – схема воздействия струи на плоскую поверхность; б) – схема воздействия струи на стенки чашеобразной формы

Однако, несмотря на отмеченную эффективность, теоретические и экспериментальные данные, необходимые для промышленного освоения процесса реверсивно-струйной обработки (очистки) в настоящее время, практически отсутствуют, что сдерживает широкое промышленное использование РСО в современном машиностроительном производстве.

Для проведения экспериментальных исследований процесса РСО стальных поверхностей, в лаборатории центра гидравлических гидромашин кафедры ГЭСВТГ БНТУ был разработан и создан стенд, представленный на рисунке 2, 3.

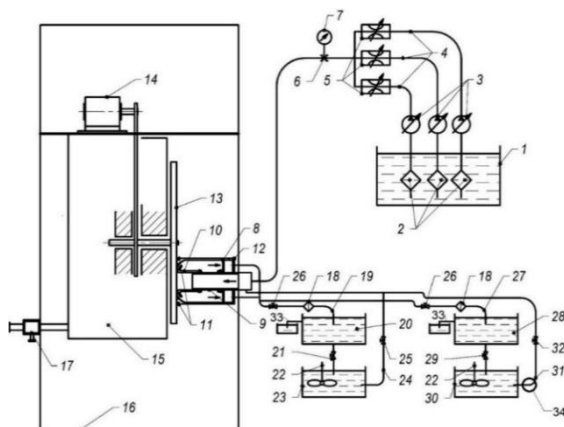


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда для исследования процесса РСО



Рисунок 3 – Стенд для РСО в лабораторных условиях кафедры ГЭСВТГ БНТУ

По результатам проведенных на стенде исследований были установлены оптимальные параметры для реализации технологии РСО в три этапа, включающие коэффициент обжата струи $\lambda = 0,063$, диапазон оптимальных углов конусности сопла $\alpha_{\text{опт}} = 40\text{--}42^\circ$, скорость струи в выходном сечении КС $v_{\text{стр}} = 190$ м/с, давление на входе в КС $p_{\text{вх}} = 20$ МПа, расстояние от торца КС до очищаемой поверхности $L = 30$ мм. Кроме того для трех этапов процесса РСО были рекомендованы составы рабочих суспензий, содержащие: для первого этапа РСО речной песок с концентрацией $k_{\text{р.п.}} = 8,7\text{--}10\%$, полиакриламид $k_{\text{п}} = 10^{-6}\text{--}10^{-2}\%$, техническую воду (остальное); для второго этапа – техническую воду ($k_{\text{тв}} = 100\%$); для третьего этапа РСО – техническую воду ($k_{\text{тв}} = 95,5\%$), кальцинированную соду ($k_{\text{к.с}} = 0,2\text{--}1\%$), бентонитовую глину ($k_{\text{б}} = 3,5\%$). Плотность рабочих суспензий для проведения РСО на указанных этапах равна соответственно $\rho_{\text{I эт}} = 1065$ кг/м³, $\rho_{\text{II эт}} = 10^3$ кг/м³, $\rho_{\text{III эт}} = 1045$ кг/м³ [4].

На основе полученных результатов была разработана технология РСО стальных образцов (материал – Ст3пс), которая при использовании указанных параметров и составов рабочих жидкостей обеспечивает повышение производительности процесса РСО в 1,3–1,65 раза, снижение потребной мощности насосного оборудования на 9–10%, повышение силового воздействия на 39–41% по сравнению с широко известным процессом ГАО с РРС ($\lambda = 0$). Причем процесс очистки включает в себя три этапа: первый – очистка в режиме РСО, второй – промывка струей высокого давления поверхности от остатков черновой обработки мелкодисперсных фракций, третья – реверсивно струйная обработка поверхности с использованием рабочей суспензии на основе технической воды [3, 5].

В рамках разработанной технологии на третьем этапе РСО установлен эффект формирования от действия реверсивной струи, развернутой на 180° относительно очищающей поверхности, защитного пленочного покрытия толщиной $\delta \geq (1,1\text{--}1,2)\text{Ra}$, характеризуемого патентной новизной и обладающего при $k_{\text{б}} = 3,5\%$ минимальным удельным объемным износом $\omega_{\text{min}} = (630\text{--}635) \cdot 10^{-5}$ м³/Нм, высокой коррозионной стойкостью, характеризуемой степенью поражения покрытия $X_A = 0,77\%$, которая соответствует 9 баллам (из 10 возможных по ГОСТ 9.305–85 высокой коррозионной стойкости сформированного ЗПП [6].

Разработанная трехэтапная технология РСО с использованием трех составов рабочих суспензий на основе технической воды с добавками речного песка и полиакриламида (на первом этапе), а также бентонитовой глины и кальцинированной соды (на третьем этапе) может быть использована на различных предприятиях машиностроения для повышения качества очищенной поверхности, производительности труда и скорости лазерной резки в

1.2-1.3 раза. Промышленное опробование разработанной технологии было проведено в СООО «Элезер» (г. Дзержинск) и ООО «Амкодор–Можа» (г. Крупки) при изготовлении соответственно деталей ОЗС-100.01.163 «Плита» с экономическим эффектом 4372,64 белорусского рубля (в ценах января 2018 г.) и НЗ-100.13.101 «Полоса» с экономическим эффектом 6335,33 белорусского рубля (в ценах сентября 2018 г.).

Настоящая работа в 2022 году приняла участие в конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года» в рамках выставки «НИ-ТЕСН» (организатор – выставочное объединение «РЭСТЭК», г. Санкт-Петербург). Решением конкурсной комиссии, представленная работа была удостоена диплома I степени с вручением золотой медали.

Список литературы:

1. Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей в машиностроительном производстве / И. В. Качанов, А. В. Филипчик, В. Е. Бабич, А. Н. Жук // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф. (70-й науч.-техн. конф. проф.-преподавательского состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ), Минск, 2017 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2017. – Т. 1. – С. 413-414.
2. Технология струйной гидроабразивной очистки от зашпаклеванной коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины / И. В. Качанов, А. В. Филипчик, В. Е. Бабич, А. Н. Жук, С. И. Ушев. – Минск : БНТУ, 2016. – 167 с.
3. Жук, А. Н. Технология реверсивно-струйной очистки стальных листов от коррозии перед лазерной резкой / А. Н. Жук, И. В. Качанов, А. В. Филипчик // Наука и техника. Серия 1. Машиностроение. – 2017. – № 3. – С. 232-241.
4. Состав рабочей жидкости для гидродинамической очистки металлических поверхностей от коррозии перед лазерной резкой : пат. ВУ 21455 / И. В. Качанов, А. Н. Жук, В. Н. Яглов, А. В. Филипчик. – Опубл. 30.10.2017.
5. Жук, А.Н. Инновационная технология реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей от коррозии / А.Н. Жук, И.В. Качанов, И.М. Шаталов, А.А. Кособуцкий, В.А. Денисов // Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию кафедры гидромеханики и гидромашин им. В.С. Квятковского НИУ "МЭИ" (г.Москва), Москва, 8 декабря 2021 г. / Московский энергетический институт совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Москва, 2021. – С. 94-99.
6. Жук, А. Н. Морфология и химсостав поверхностного пленочного покрытия, сформированного при реверсивно-струйной обработке / А. Н. Жук // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф. (70-й науч.-техн. конф. проф.-преподавательского состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ), Минск, 2017 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2017. – Т. 2. – С. 139.

