

Работа ведется по прямым договорам.

Представители машиностроительного и металлургического комплекса. Автомобилестроение, индустрия транспорта, промышленное применение, судостроение, авиационная индустрия, возобновляемая энергетика (ветро- и солнечная энергетика). Машиностроительные, приборостроительные, литейные и металлургические предприятия стран СНГ и Прибалтики.

Список использованных источников

1. Калиниченко М.Л., Калиниченко В.А. Сборник научных трудов X МНТК. Современные методы и технологии создания и обработки материалов. – Минск: ФТИ, 16-18.09.2015. – Кн. 2. – С. 196-199.

УДК 669:620.197

МЕТОД РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

*Качанов И.В., Жук А.Н., Филипчик А.В., Шаталов И.М., Ковалевич В.С., Качанова Е.В.
Белорусский национальный технический университет*

Существует большое количество способов очистки плоских стальных поверхностей от коррозии. Обзор технологий очистки показывает, что их реализация в случае использования ручного труда (очистка с помощью шаберов, скребков, секачей, металлических щеток, зубила и т.д.) является малопроизводительной, осуществляется в плохих санитарно-гигиенических условиях труда, требует больших физических затрат [1-4].

Механизированные способы очистки (шарошки и щетки с пневмоэлектроприводом, пневмомолотки) также характеризуются рядом недостатков (сильный шум, неполная очистка сварных и заклепочных швов, наличие насечек на поверхности металла, низкая производительность, быстрое изнашивание шарошек и щеток).

Серьезные недостатки присущи и методу пескоструйной очистки. К их числу следует отнести высокую концентрацию абразивной пыли, достигающую до 15000 мг/м^3 , значительный расход абразива ($25\text{-}30 \text{ кг/м}^2$), дополнительные работы, связанные с предварительной просушкой песка, а также с последующей его уборкой и регенерацией. Большинство этих недостатков присущи и дробеструйной очистке.

Одним из направлений повышения производительности и улучшения условий труда при очистке корпусов судов от коррозии является использование метода гидроабразивной очистки (ГАО). Процесс очистки состоит в эрозионном воздействии высокоскоростной водяной струи и твердых абразивных частиц на обрабатываемый материал. Вода при этом выполняет лишь функцию носителя. В основе гидроабразивного метода, широко используемого в последнее время, лежит комбинированный механизм очистки, хрупкого и усталостного разрушения и местного оплавления [1]. Обработка осуществляется за счет определенного количества отдельных «съемов» материала, вызываемых ударением в него твердых частиц. Скорость процесса эрозии зависит от кинетической энергии формы частиц, угла атаки потока, механических свойств очищаемого материала.

Однако, отрицательным моментом рассмотренной технологии следует считать неполное использование кинетической энергии струи жидкости, взаимодействующей с преградой.

Для устранения отмеченного недостатка, с одновременным повышением производительности труда и снижением энергозатрат предлагается при очистке использовать реверсивно-струйное течение жидкости относительно обрабатываемой поверхности. Для получения такого течения сопловый блок помещается в корпус, который позволяет произвести разворот струи на 180° и тем самым увеличить силовое воздействие на обрабатываемую поверхность ориентировочно на 70-80 %, так же данное устройство позволяет

решить вопросы по сбору жидкости после проведения очистки поверхности и отправить ее на регенерацию.

На кафедре «Кораблестроение и гидравлика», БНТУ была разработана, исследована и запатентована [5] новая технология и устройство для формирования реверсивной струи воздействующей на преграду (рис. 1).

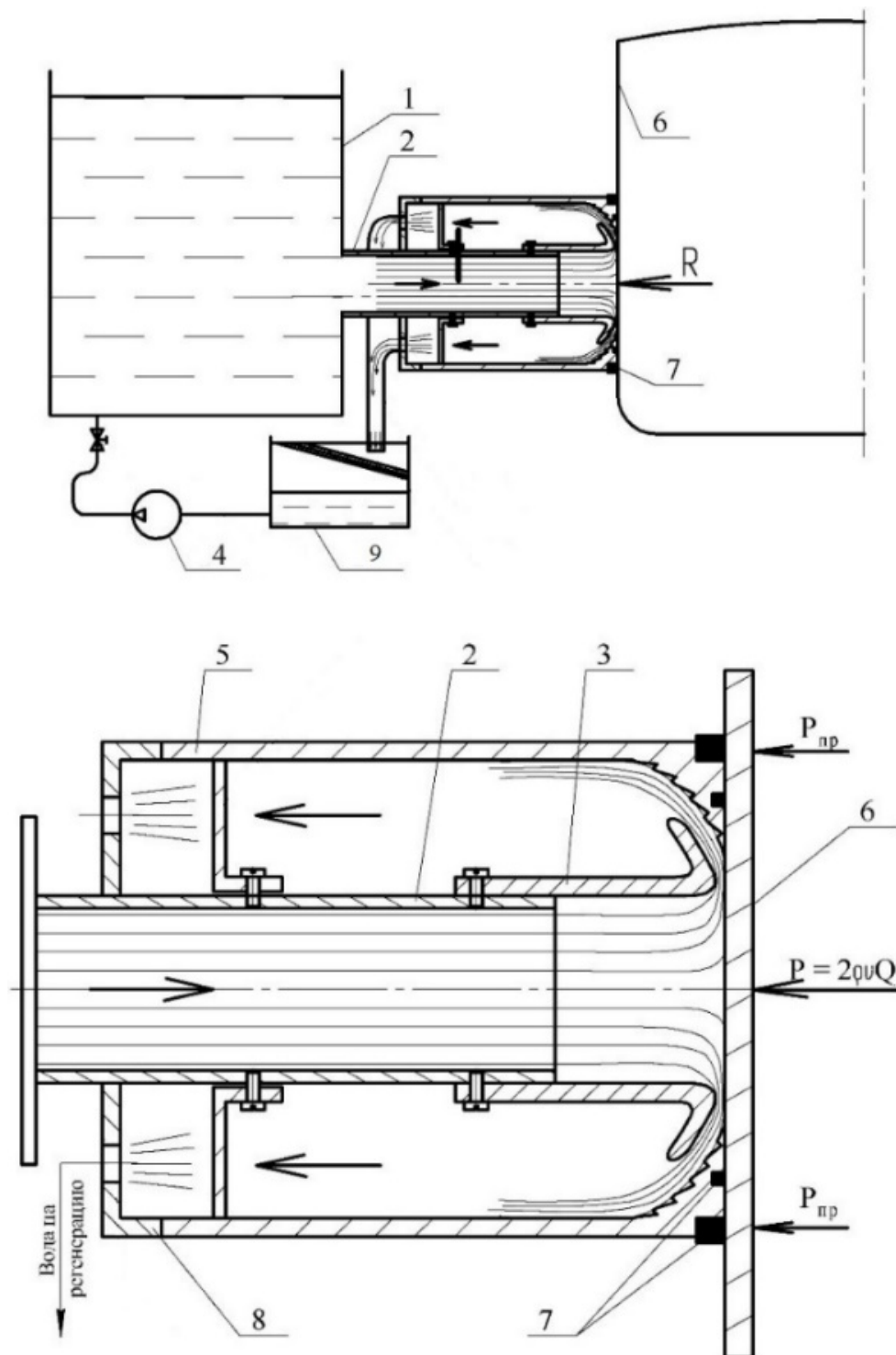


Рисунок 1 – Устройство для очистки от коррозии плоских стальных поверхностей:
 1 – бак напорный; 2 – насадок; 3 – манжета струеформирующая; 4 – насос;
 5 – стакан цилиндрический; 6 – обрабатываемая поверхность; 7 – уплотнение;
 8 – крышка; 9 – бак для регенерации

В процессе обработки при ударе струи о плоскую преграду сила давления P прямо пропорциональна плотности жидкости (ρ), площади сечения струи (ω) и квадрату скорости струи (v), т.е.

$$P = \rho \cdot \omega \cdot v^2, \quad (1)$$

или

$$P = \rho \cdot v \cdot Q, \quad (2)$$

где Q – расход жидкости, м³/с, ($Q = v \cdot \omega$);
 ρ – плотность жидкости, кг;
 ω – площадь сечения струи, м²;
 v – скорость струи, м/с.

При ударе струи в плоскую поверхность с обеспечением ее разворота на 180° сила давления определяется по формуле:

$$P = 2 \cdot \rho \cdot v \cdot Q \quad (3)$$

Данное выражение (3) показывает, что при неизменных параметрах обработки (скорость струи (v), расход жидкости (Q)), в результате разворота струи на 180° сила удара струи на плоскую поверхность возрастает в два раза. Недостатком формулы (3) следует считать неучет прочностных характеристик (пределов прочности, либо текучести) разрушаемого слоя коррозии.

Для получения решения по определению давления от воздействия реверсивной струи на преграду с учетом прочностных характеристик разрушаемого слоя коррозии, был использован метод, который в механике деформируемого твердого тела известен как метод верхней оценки (приближенный энергетический метод) [6, 7]. В результате предложено принимать в качестве критерия коэффициент обжатия струи λ , используя расчетные зависимости (4) и (5) [8], что позволяет прогнозировать минимальное давление разрушения слоя коррозии и установив, для данного λ величину струйного давления $p_{стр}$, корректно подбирать насосное оборудование.

$$p = 2\tau_n \left((1 + \lambda) \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta) \cos \alpha} + \lambda \frac{\cos(\alpha - \beta) \sin \beta}{\cos \alpha \sin^2 \xi} + \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \frac{\cos \alpha}{\sin \beta \cos(\alpha - \beta)} \right) + \rho v^2 \left(\lambda^2 \frac{\sin^2 \beta \sin(\xi - \beta) \cos(\alpha - \beta)}{\sin^3 \xi \cos \alpha} + (1 + \lambda)^2 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2(\alpha - \beta)} \right), \quad (4)$$

где p – гидродинамическое давление, возникающее в точке соударения струи с преградой, Н/м²;

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_{cm}}{d\alpha} &= 2\tau_n \left((1 + \lambda) \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta) \cos \alpha} + \lambda \frac{\cos(\alpha - \beta) \sin \beta}{\cos \alpha \sin^2 \xi} + \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \frac{\cos \alpha}{\sin \beta \cos(\alpha - \beta)} \right)' = 0 \\ \frac{dp_{cm}}{d\beta} &= 2\tau_n \left((1 + \lambda) \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta) \cos \alpha} + \lambda \frac{\cos(\alpha - \beta) \sin \beta}{\cos \alpha \sin^2 \xi} + \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \frac{\cos \alpha}{\sin \beta \cos(\alpha - \beta)} \right)' = 0 \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Дифференцирование системы уравнений (5) позволило получить выражения для расчёта углов линий поля скольжения струи рабочей жидкости по поверхности обрабатываемого металла α и β , обеспечивающих минимальное значение p_{cmp} :

$$\begin{cases} \alpha = \beta + \arccos \frac{\sqrt{9\left(\lambda + \frac{1}{\lambda}\right) + 14}}{3\left(\sqrt{\lambda} + \frac{1}{\lambda}\right)}, \\ \beta = \arctg \frac{\sqrt{9\left(\lambda + \frac{1}{\lambda}\right) + 14}}{3 \cdot \lambda + 5} \end{cases}, \quad (6)$$

Для проверки полученных теоретических решений были проведены экспериментальные исследования процесса реверсивно-струйной очистки (РСО) стальных поверхностей на специальном стенде, разработанном на кафедре «Кораблестроение и гидравлика», он позволяет исследовать основные параметры, влияющие на процесс РСО (давление, расход, конфигурация сопел, соотношение диаметров сопла и заготовки и т.д.).

Для эксперимента были выбраны 6 типов заготовок с различными коэффициентами обжатия λ . При этом коэффициент λ определялся по формуле 7:

$$\lambda = \frac{d_{cmp}}{D_0 - d_{cmp}} \quad (7)$$

где d_{cmp} – диаметр струи, принятый равным диаметру сопла, мм;
 D_0 – диаметр полости заготовки, мм.

Для формирования струи рабочей жидкости РСО использовалось сопло с диаметром, равным 1,5 мм.

В результате проведенных исследований установлено влияние расстояния до обрабатываемой заготовки на силу воздействия струи. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при увеличении расстояния до обрабатываемой поверхности, уменьшается сила воздействия струи. Это уменьшение связано с тем, что при увеличении вышеуказанного расстояния происходит образование зоны «факела» внутри струи, а это в свою очередь снижает мощность струи.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что максимальное значение давления струи на преграду p (не зависимо от величины давления $p_{вх}$ на входе в сопло и от расстояния L) достигается при коэффициенте обжатия струи $\lambda = 0,063$.

В результате использования предлагаемого устройства решается проблема со сбором отходов образовавшихся в результате очистки плоских стальной поверхностей, что расширяет область применения ГАО, кроме того, увеличивается эффективность и качество очистки плоских стальных поверхностей, более рационально используется кинетическая энергия струи, снижается энергоёмкость производимых работ, повышается культура работы.

Список использованных источников

1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – К.: Техника, 1989. – 177 с.
2. Второв Е.Л., Мещеряков А.В., Беляев М.А., Шманев В.Л. Повышение технологической надежности деталей ГТД за счет внедрении гидроабразивной обработки на окончательных операциях изготовления // Материалы IX Всесоюзной научно-технической конференции «Конструкционная прочность двигателей». – Куйбышев, 1983.

3. Кошелев А.А., Эйзнер Л.А. Технологии и оборудование для автоматизированной гидроабразивной обработки деталей // Автоматизация технологических процессов в области машиностроения для животноводства и кормопроизводства. – Ростов-на-Дону: НИИТМ, 1981.

4. Банников И.И., Финкель Г.Н., Хейфец В.Л. Механизация очистки и окраски подводной части судов. – Л.: Судостроение, 1980. – 116 с.

5. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности: пат. №16526, Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/00; В 63В 59/08 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, В.Н. Шарий, Р.О. Мяделец; дата публ. 30.10.2012.

6. Пат. Российской Федерации RU 2 231 554 С2 МПК В 24 С 5/04, 9/00. Устройство для абразивно-струйной обработки поверхности. / Крючков В.П., Бугаев В.С., Кулаков В.В., Клестов Ю.М., Клепиков С.А., заявка 2005136900/02 от 28.11.2005, опубликовано 20.11.2007. – Бюл. № 32.

7. Пат. Российской Федерации RU 2 237 127 С2, МПК В 24 С 5/04. Устройство для струйно-абразивной обработки поверхности. / Кондрашов Б.И., заявка 2004136895/02 от 17.12.2004, опубликовано 20.12.2009. – Бюл. № 35.

8. Качанов И.В. Теоретические исследования процесса реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии / Качанов И.В., Жук А.Н., Ключников В.А., Кособуцкий А.А., Шаталов И.М., Ковалевич В.С., Качанова Е.В. // *Materials XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Nauka i inowacja – 2018».* – Volume 2 Przemysł: Nauka i studia. – 84 s.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НА АСМ

Кузнецова Т.А., Рысик А.Н.

Белорусский национальный технический университет

В процессе эксплуатации деталей и приборов микромасштаба возникает необходимость исследования состояния и свойств поверхностей, которые испытывают воздействие фрикционной нагрузки. Механизмы процессов трения на наноуровне отличаются необходимостью учета адгезионных, капиллярных и межмолекулярных сил и существенно отличаются от макроскопических. Контакт деталей микромасштаба представляет собой взаимодействие отдельных микронеровностей [1]. Экспериментальным моделированием такого взаимодействия является контакт острия зонда атомно-силового микроскопа (АСМ) с неровностями поверхности детали. Особенно актуально испытание на трение с использованием АСМ для тонких покрытий толщиной 100-300 нм, где макроиспытания часто вызывают деформацию подложки и разрушение покрытий. Для изучения сил и коэффициентов трения в данной работе использовался АСМ НТ-206 (Беларусь).

Исследование проводили в контактном режиме с использованием стандартного кремниевого кантилевера NSC11 V-образного типа с коэффициентом жесткости консоли 3 Н/м производства «Микромаш» (Эстония). Предварительно зонд «затупляли» до диаметра закругления 100 нм для обеспечения стабильности размера контакта в процессе испытаний. Использовали двухпроходную методику режима латеральных сил при многоцикловом (200 циклов) сканировании площади 20×3 мкм. Испытания на трение проводилось на многослойных пленках состава AlN/SiN с общей толщиной 300 нм. В работе исследовали влияние режимов отжига покрытий на коэффициент трения поверхности.

График полученных зависимостей коэффициента трения покрытий от числа циклов можно наблюдать на рисунке 1.