

**КАЧЕСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ПОСЛЕ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ  
ОТ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ  
THE QUALITY OF THE METAL SURFACE AFTER REVERSE JET CLEANING  
FROM CORROSION PRODUCTS**

Филипчик А.В., к.т.н., филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» Государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, д. Светлая Роща, д. 1, 202135 Борисовский район, Минская область, Республика Беларусь, +375 (177) 77 27 74,  
Ковалевич В.С., инженер, ОАО «Белсудопроект», Гомель, +375 (0232) 34 25 74,  
Жук А.Н., инженер, ГУ Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова, аг. Лесной, Минский район, +375 (17) 389 99 10

Качанов И.В., д.т.н., профессор,

Шаталов И.М., инженер,

Власов В.В., инженер,

Белорусский национальный технический университет, Минск, +375 (017) 293 96 13;  
Filipchik A., candidate of technical sciences, Branch «Institute for Retraining and Advanced Studies» of the State Educational Institution «University of Civil Protection» of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, vill. Svetlaya Roscha, 1, 202135

Borisovsky district, Minsk region, Republic of Belarus, +375 (177) 77 27 74

Kovalevich V., engineer, JSC «Belsudoproekt», 11 Pushkina Street, 246050, Gomel, Republic of Belarus, +375 (0232) 34 25 74

Zhuk A., engineer, N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, 223040 Lesnoy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus

Kachanov I., doctor of technical sciences, professor, Belarusian National Technical University, 65, Independence Avenue, 220013 Minsk, Republic of Belarus, +375 (017) 293 96 13,

Shatalov I., engineer, Belarusian National Technical University, 65, Independence Avenue, 220013 Minsk, Republic of Belarus, +375 (017) 293 96 13

Vlasov V., engineer, Belarusian National Technical University, 65, Independence Avenue, 220013 Minsk, Republic of Belarus, +375 (017) 293 96 13

**Аннотация.** Цель исследования – проведение экспериментальных исследований для оценки влияния режимов реверсивно-струйной очистки (PCO) на параметры шероховатости поверхности обрабатываемых образцов.

В статье приводятся результаты проведенных практических исследований проведенные авторами в лаборатории кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» (ГЭСВТГ) Белорусского национального технического университета, на разработанном экспериментальном стенде. Отличительной особенностью экспериментального стенда следует считать наличие в нем оригинального узла, представляющего собой струеформирующее устройство, предназначенное для создания реверсивно-струйного течения жидкости. В ходе проведенных исследований установлено, что технология PCO с использованием рабочей жидкости, позволяет получать поверхности с заданными значениями шероховатости для дальнейших технологических операций.

**Ключевые слова:** технология, реверсивная струя, гидроабразив, очистка, обработка, коррозия, металл.

**Abstract.** The purpose of the study is to conduct experimental studies to assess the effect of reverse jet cleaning (RJC) on the surface roughness parameters of the treated samples.

The article presents the results of practical research conducted by the authors in the laboratory of the Department of Hydrotechnical and Power Engineering, Water Transport and Hydraulics (HESWTG) of the Belarusian National Technical University, on the developed experimental stand. A distinctive feature of the experimental stand should be considered the presence in it of the original unit, which is a jet-forming device designed to create a reverse jet flow of liquid. In the course of the research, it was found that the RSO technology using a working fluid makes it possible to obtain surfaces with specified roughness values RSO for further technological operations.

**Key words:** technology, reverse jet, waterjet, cleaning, processing, corrosion, metal.

**Введение.** Современное промышленное производство Республики Беларусь характеризуется существенной зависимостью от импортных материальных ресурсов и энергоносителей, поставляемых по мировым ценам. При работе в таких условиях эффективность производства может быть достигнута за счет оптимального использования энерго- и ресурсосберегающих технологий, которые обеспечивают получение высококачественной, технологичной продукции.

Эффективность производственного изготовления деталей машин и механизмов напрямую зависит от качественной очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии с помощью струйных технологических процессов и одновременного получения заданных параметров шероховатости для дальнейших технологических операций [1–4].

Для очистки металлических поверхностей от коррозии применяются гидравлические способы, исключаящие запыленность воздуха, температуру в зоне обработки. Гидравлические способы очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии можно разделить на три группы: гидродинамический; кавитационный (очистка струей жидкости с использованием эффекта кавитации в струйном потоке); гидроабразивный [1–3].

Наиболее перспективным способом очистки металлических поверхностей от коррозии является технология *гидроабразивной обработки*, которая широко применяется при удалении с деталей машин и механизмов нагара, окисных пленок. В качестве абразивных частиц в струйном потоке применяются такие материалы как песок, гранит, известняк, тальк, стекло [1].

**Материалы и методы исследования.** Анализ преимуществ и недостатков современных технологий, применяемых для очистки металлических поверхностей от коррозии, позволил разработать на кафедре «ГЭВТГ» Белорусский национальный технический университет новый ресурсосберегающий способ борьбы с коррозией с применением бентонитовой глины, кальцинированной соды, полиакриламида, обеспечивающий наряду с очисткой формирование защитного пленочного покрытия. Следует отметить, что разработанная технология РСО обладает патентной новизной [5–7].

Для оценки влияния режимов РСО на параметры шероховатости поверхности, очищенной от продуктов коррозии, были проведены лабораторные испытания образцов из сталей: Ст 3, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100×100 мм, толщиной  $S = 4$  мм, обработанные струей рабочей жидкости.

Исследование морфологии поверхности покрытий проводилось на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «Cam Scan» (Великобритания, фирма «Oxford Instruments») в режиме отраженных электронов при ускоряющем напряжении 20 кВ и увеличениях 50–5000 крат.

На рис. 1 представлено влияние расстояния  $L$  от торца сопла до обрабатываемой поверхности ( $a$ ), скорости струи  $V_{стр}$  ( $b$ ), времени обработки ( $\varepsilon$ ), концентрации бентонита ( $\varepsilon$ ) на шероховатость поверхности  $R_a$  при скорости струи  $V_{стр} = 200$  м/с, выходном диаметре сопла  $d_k = 1$  мм.

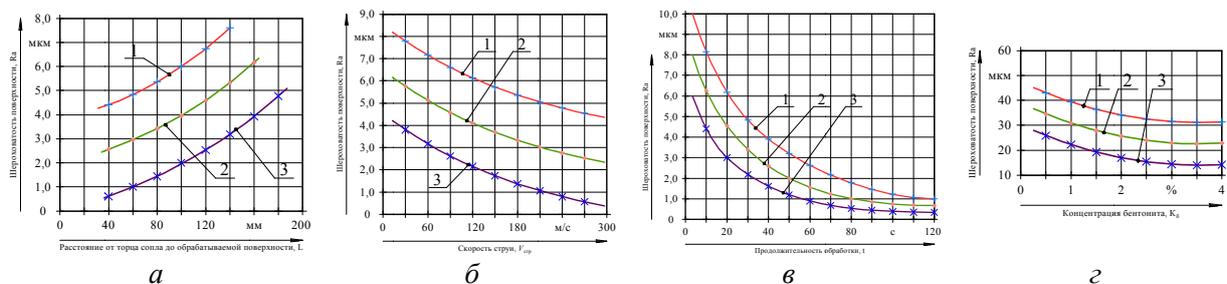


Рис. 1. Зависимость шероховатости обрабатываемой поверхности от расстояния обработки (а), от скорости (б), от продолжительности (в), от концентрации бентонита (г) между торцом сопла и обрабатываемой поверхностью:

1 – Сталь 45; 2 – Сталь 20; 3 – Сталь 3

Fig. 1. Dependence of the roughness of the treated surface on the contact between (a), the speed of the jet (б), of the treated surface (в), the concentration of bentonite (г) the end of the nozzle and the treated surface:

1 – Steel 45; 2 – Steel 20; 3 – Steel 3

На рис. 2, а, б представлены фотографии участков поверхности, пленочные покрытия которых исследовались на морфологию. Время сушки образцов на открытом воздухе после обработки составляло 20–24 часа при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Из рассмотрения рис. 2, а видно, что на поверхности стального образца после струйной обработки образуется плотное покрытие, состоящее из отдельных чешуек (позиции 1–4 на рис. 2, б).

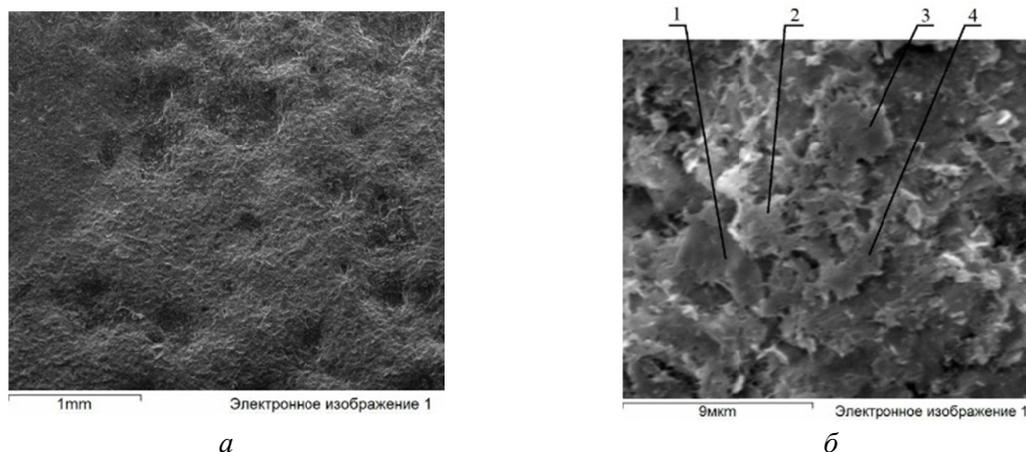


Рис. 2. Внешний вид защитного пленочного покрытия, сформированного на поверхности образцов, после РСО рабочей жидкостью на основе бентонитовой глины:

1, 2, 3, 4 – чешуйки – основная структурная составляющая сформированного защитного покрытия; а – увеличение  $\times 40$ ; б – увеличение  $\times 5000$ ; материал – Ст 3;  $K_b = 3\%$ ,  $K_p = 10\text{--}5\%$ ,  $K_{k,c} = 2\%$ , остальное вода,  $V_{стр} = 185\text{ м/с}$

Fig. 2. Appearance of the protective film coating formed on the surface of the samples, after RJC diffraction with a working fluid based on bentonite clay:

1, 2, 3, 4 – flakes – the main structural component of the formed protective coating  
а) – magnification  $\times 40$ ; б) – magnification  $\times 5000$ ; material – Steel 3;  $K_b = 3\%$ ,  $K_p = 10\text{--}5\%$ ,  $K_{k,s} = 2\%$ , the rest is water,  $V_{jet} = 185\text{ м/с}$

Одним из основных параметров при исследовании пленочного покрытия является его адгезионная прочность, определяемая в момент разрушения индентором (рис. 3).

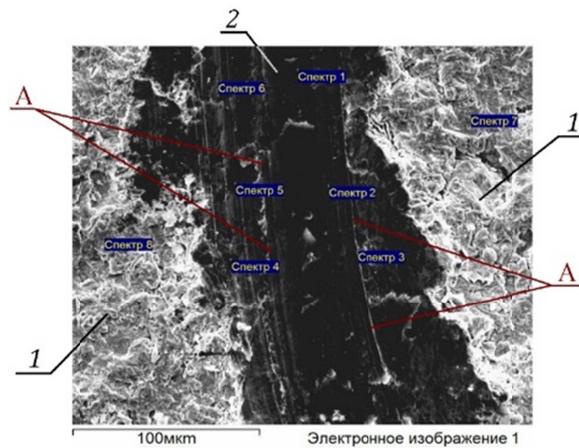


Рис. 3. Внешний вид защитного пленочного покрытия, разрушенного на очищенной поверхности исследуемого образца после проведения испытаний на адгезионную прочность: 1 – участки поверхности с неразрушенным пленочным покрытием; 2 – вид участка поверхности после разрушения индентором пленочного покрытия

Fig. 3. Appearance of the protective film coating, destroyed on the cleaned surface of the propeller after testing for adhesion strength:

1 – surface areas with undestroyed film coating; 2 – view of the surface area after the destruction of the film coating by the indenter

При ширине царапины 105 мкм и критической нагрузке 0,5 Н адгезионная прочность пленочного покрытия составила 28 МПа. Рис. 4 подтверждает наличие пленочного покрытия на участках 1 обработанной поверхности. Здесь же видны следы А, которые образовались при перемещении индентора в процессе разрушения пленочного покрытия на участке 2 поверхности исследуемого образца.

Для оценки влияния параметров режимов РСО на подготовку поверхности были проведены производственные испытания по лазерной резке для трех сравнительных групп стальных образцов марок сталей: Сталь 3, Сталь 20, Сталь 45 с линейными размерами 100×100 мм, толщиной  $S = 0,5–10$  мм.

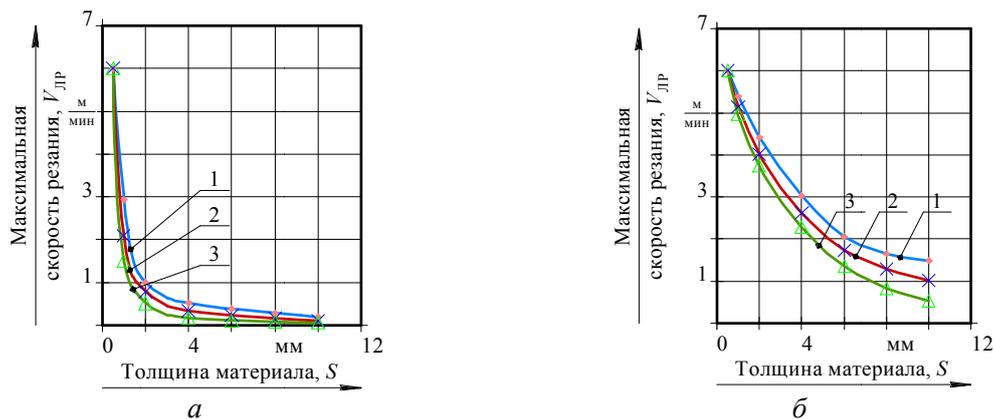


Рис. 4. Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины листа материала: 1 – Сталь 3; 2 – Сталь 20; 3 – Сталь 45

а – отсутствие очистки поверхности от продуктов коррозии; б – образцы, обработанные по технологии РСО ( $Ra = 0,2–0,4$  мкм)

Fig. 4. The dependence of fast laser cutting on the replacement of a sheet of material:

1 – Steel 3; 2 – Steel 20; 3 – Steel 45

а) – lack of surface cleaning from products; б) – evolutionary, processed according to the RJC technology ( $Ra = 0.2–0.4 \mu\text{m}$ )

Из анализа проведенных испытаний, было установлено, что для исследованных групп образцов, например из стали Ст 45 с толщиной  $S = 2$  мм отмечалось увеличение скорости лазерной резки с 0,4 м/мин (рис. 4, а), до 4,0 м/мин (рис. 4, б). Отмеченные скорости были получены из условия отсутствия грата на боковой поверхности реза.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Из анализа проведенных лабораторных испытаний видно, что при изменении параметров РСО (расстояния от сопла до обрабатываемой поверхности, скорости струи, продолжительности обработки) можно получать требуемую шероховатость поверхностей  $R_a = 3,2\text{--}12,5$  мкм для последующих сварочных операций.

При изменении концентрации бентонита в составе рабочей жидкости  $K_6 = 0,5\text{--}4$  %,  $V_{стр} = 200$  м/с,  $d_k = 1$  мм,  $L = 200$  мм можно получать требуемую шероховатость поверхностей  $R_a = 30\text{--}50$  мкм для последующей операции покраски.

Применение РСО с рабочей жидкостью на основе бентонитовой глины позволило получить минимальную шероховатость  $R_a = 0,16\text{--}2,0$  мкм очищенных от коррозии металлических поверхностей, что положительно влияет на коррозионную стойкость деталей и одновременно с этим на очищенной поверхности образуется антикоррозионная пленка длительного действия (порядка 1 года).

По результатам проведенных экспериментальных исследований было установлено что применение РСО с рабочей жидкостью на основе бентонитовой глины позволяет производить лазерную резку заготовки с повышенной скоростью в среднем до 20 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, И. В. Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты от коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины / И. В. Качанов [и др.]. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2016. – 167 с.

2. Качанов, И. В. Гидроабразивная технология очистки (ГАО) металлических поверхностей гребных винтов от коррозии / И. В. Качанов [и др.] // Вестник БарГУ (Серия технических наук). – 2021. – С. 51–60.

3. Филипчик, А.В. Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей от коррозии при эксплуатации пожарной аварийно-спасательной техники / А. В. Филипчик [и др.] // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: методы, технологии, проблемы и перспективы : сб. материалов V междунар. заочной науч.-практ. конф., д. Светлая Роща : филиал ИПП УГЗ МЧС Беларуси, 25 июня 2021. – С. 102–104.

4. Качанов, И.В. Практическое применение гидроабразивной очистки металлических поверхностей от коррозии / И. В. Качанов [и др.] // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: сб. материалов республиканской науч.-техн. конф. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 20–21 мая 2021 года – С. 104–108.

5. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности : пат. ВУ 16526 / И. В. Качанов, А. Н. Жук, В. Н. Шарий, С. О. Мяделец. – Оpubл. 30.10.2012.

6. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности : пат. ВУ 19543 / И. В. Качанов, А. Н. Жук, И. М. Шаталов, В. Н. Шарий, С. И. Ушев, А. А. Рубченя. – Оpubл. 30.10.2015.

7. 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. – Оpubл. 30.10.2017.