

УДК 621.824.539.4

DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-49-59

## РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СУДОВЫХ ГРЕБНЫХ ВАЛОВ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАНЕСЕНИЕМ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

**В.И. Бабинец**  
супервайзер

*Ильичевское судоремонтное производство, Черноморск, Украина*

**А.В. Кобзарук**  
к.т.н., доцент кафедры «Технология материалов»

*Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина*

**Аннотация.** Представлена технология восстановления изношенных рабочих шеек судовых гребных валов газопламенным нанесением порошковых иносо- и коррозионностойких покрытий. Проведены усталостные испытания цилиндрических образцов, рабочая часть которых подвергнута вибродинамическому упрочнению, имитирующая эффективную подготовку поверхности под напыление. Повышенный предел сопротивления усталости упрочненных образцов стал основанием для внедрения данной разработки в производство – на Измаильском судоремонтном заводе восстановлены и одобрены Регистром Украины гребные валы на двух судах портфлота.

**Ключевые слова:** газопламенное порошковое нанесение покрытий, судовой гребной вал, вибродинамическое упрочнение.

УДК 621.824.539.4

DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-49-59

## РЕМОНТ І ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОВИХ ГРЕБНИХ ВАЛІВ ГАЗОПОЛУМЕНЕВИМ НАНЕСЕННЯМ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТТІВ

**В.І. Бабінець**  
супервайзер

*Іллічівське судноремонтне виробництво, Чорноморськ, Україна*

**О.В. Кобзарук**  
к.т.н., доцент кафедри «Технологія матеріалів»

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

© Бабинец В.И., Кобзарук А.В., 2021

*Представлена технологія відновлення зношених робочих шийок судових гребних валів газополуменевим нанесенням порошкових зносо- і корозійностійких покриттів.*

*Проведені втомні випробування циліндричних зразків, робоча частина яких піддана вібродинамічному зміцненню, що імітує ефективну підготовку поверхні під напилення. Підвищена межа опору втомі зміцнених зразків стала підставою для застосування цієї розробки у виробництві – на Ізмаїльському судноремонтному заводі відновлено і схвалено Регістром України гребний вал на двох судах портофлоту.*

**Ключові слова:** газополуменеве порошкове нанесення покриттів, судовий гребний вал, вібродинамічне зміцнення.

UDC 621.824.539.4

DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-49-59

## REPAIR AND RESTORATION OF SHIP PROPELLER SHAFTS BY GAS-FLAME APPLICATION OF POWDER COATINGS

**Babinets Valery**  
Supervisor

*Ilichivsk ship repair production, Chornomorsk, Ukraine*

**Kobzaruk Olexander**  
Candidate of Technical Sciences,  
Associate Proffessor of the Department of «Materials Technology»

*Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine*

**Abstract.** *The technology of restoration of worn-out working journals of ship propeller shafts by gas-flame application of powder foreign and corrosion-resistant coatings is presented. Fatigue tests were carried out on cylindrical specimens, the working part of which was subjected to vibrodynamic hardening, simulating the effective preparation of the surface for spraying. Alignment between the support in the same way, becoming a support for the stoppage of the whole construction at the shipyard – at the Izmailskiy shipyard of updates and fights by the Register of Ukraine, the ridge shaft on two ships of the port fleet.*

**Keywords:** *gas-half-dim powder coating, ship propeller shaft, vibrodynamic change.*

**Введение.** Известно, что судно это сложное техническое сооружение, представляющее собой корпусную конструкцию и комплекс судовых машин и механизмов. В процессе эксплуатации судна его корпус и детали всех судовых уст-

ройств подвергаются неизбежному износу под воздействием передаваемых нагрузок и внешней среды, что отражается на снижении эксплуатационных показателей судна, а главное – на безопасности мореплавания.

Одним из таких важных устройств является винторулевой комплекс. Износ одного из его элементов – гребного вала и потеря им своего функционального назначения приводит к невозможности дальнейшей эксплуатации судна, а в некоторых случаях приводит к разрушению гребного вала и потере гребного винта (рис.1).



*Рис. 1. Разрушение гребного вала с потерей винта*

Поэтому поддержание в рабочем состоянии гребного вала и своевременный его ремонт является важной задачей в увеличении срока безопасной эксплуатации судна.

Главной задачей судоремонтного производства является совершенствование технологии, ресурсосбережение, сокращение продолжительности ремонта, повышение качества и снижение стоимости ремонтных работ. Для решения этих задач, одним из путей снижения стоимости и продолжительности ремонтных работ, эксплуатационной надежности деталей судовых устройств является не замена изношенных и дорогостоящих деталей новыми, а восстановление их рабочих поверхностей. Одной из надежных и проверенных опытом эксплуатации является технология газопламенного нанесения порошкового покрытия на изношенные поверхности деталей с применением упрочняющих технологий, повышающих их сопротивление усталости.

Статистика аварий и наиболее повреждаемые во время эксплуатации участки гребных валов описаны в работе Л.Т. Балацкого [1]. Автором проанализированы данные Регистра судоходства Ллойда, японского Классификационного общества, приведены сведения Пембертона и Смедли по результатам обследования более 8000 валов за 7-летний период, материалы освидетельствований Инспекции Регистра СССР за десятилетний срок эксплуатации судов. На основании собственного многолетнего опыта ремонта гребных валов автором [1] показаны наиболее повреждаемые участки валов и причины этих повреждений. Проблеме коррозионной усталости валов в морской воде и восстановлению деталей металлизацией посвящены работы отечественных ученых В.И. Похмурского, Т.Г. Кравцова, О.И. Стальниченко, В.П. Сторожева, и др. [2-8]

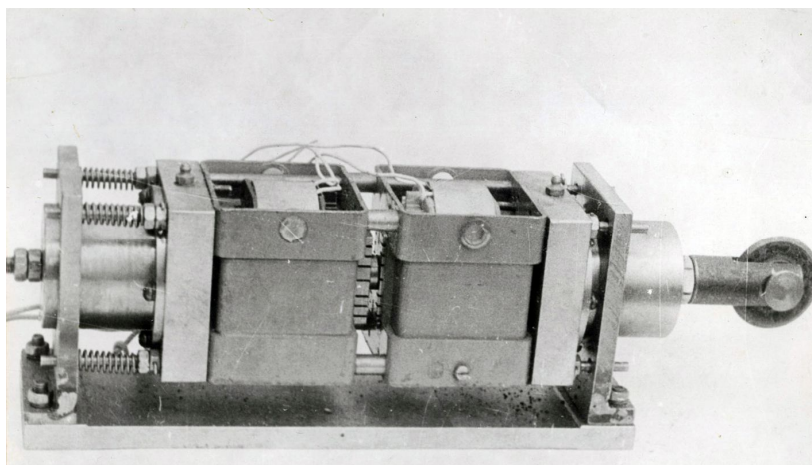
**Цель работы.** В практике эксплуатации судов нередко встречаются повреждения опорных шеек валов в дейдвудных и выносных подшипниках на кронштейне. Наблюдения показали, что при эксплуатации судов с таким устройством двигателя, особенно в речных условиях, опорная шейка концевой гребной вала подвергается интенсивному износу, ограничивая срок эксплуатации вала и судна в целом, до одной – двух навигаций. Основная причина износа – гидроабразивное разрушение из-за наличия в речной воде песка, ила, действия на вал рабочих усилий и коррозионной среды. По данным Дунайского пароходства ресурс таких валов составлял 2,0 – 3,5 тыс. часов или две навигации. Поэтому повышение эксплуатационной долговечности и надежности элементов гребного вала является нашей целью и важной технико-экономической задачей. Задача решается при ремонте гребного вала путем нанесения на изношенные рабочие поверхности напыляемого коррозионно- и износостойкого покрытия с сохранением сопротивления усталости и увеличением ресурса его работы.

**Методика.** Увеличение срока службы деталей в узлах трения обеспечивают путем образования на поверхности этих деталей покрытий, обладающих высоким уровнем антифрикционных свойств, износо- и коррозионной стойкостью. В данном случае необходимо обеспечить этими свойствами рабочую поверхность гребного вала. В качестве метода, дающего возможность сохранить требуемые качества, был использован один из широко применяемых в технике метод восстановления изношенных поверхностей – напыление до температуры плавления частицами мелкодисперсного порошкового материала.

Анализ результатов эксплуатации гребных валов, восстановленных путем нанесения на изношенные шейки порошковых покрытий свидетельствует, что качество ремонта и их ресурс находятся в прямой зависимости от качества подготовки поверхности под металлизацию и ее упрочняющей обработки.

Для подтверждения этого нами проведены сравнительные испытания на усталость трех моделей валов двух марок сталей 35 и 20Х13, применяемых для изготовления гребных валов. Цилиндрические образцы диаметром рабочей части 27мм были испытаны на машине ФМИ-30 с частой изгиба 50 Гц на воздухе на базе  $20 \times 10^6$  циклов.

Первая серия образцов с острым концентратором в виде узкого кольцевого надреза глубиной 1мм, углом раскрытия  $90^\circ$  и радиусом закругления во впадине 0,1 мм испытывалась без упрочнения дна концентратора. На рабочей поверхности образцов второй серии была нанесена винтовая нарезка глубиной 0,5 мм, шагом 1,5 мм, с углом раскрытия  $90^\circ$  и радиусом скругления около 0,3 мм. Часть образцов испытана без упрочнения дна резьбы, другая – с упрочнением дна резьбы при помощи специального вибродинамического приспособления [9] конструкции ФМИ НАН Украины совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» (рис.2). В третьей серии испытывались образцы из стали 20Х13 с аналогичной винтовой нарезкой и упрочнением.



*Рис. 2. Приспособление для вибродинамического упрочнения*

Результаты испытаний представлены на рис. 3. Образцы с кольцевым надрезом глубиной 1мм имели коэффициент концентрации напряжений  $\alpha_\sigma = 5,9$ , образцы с винтовой нарезкой – 4,9 [10]. Испытания показали эффективность упрочняющей обработки дна винтовой нарезки. Упрочнение образцов из стали 35 повысило сопротивление усталости ( $\sigma_{-1} = 165$  МПа) почти до предела выносливо-

сти гладких шлифованных образцов ( $\sigma_{-1}=180$  МПа). Вибродинамическое упрочнение дна винтовой нарезки валов из стали 20X13 (кривая 6 в сравнении с кривой 3) позволило увеличить сопротивление усталости более чем вдвое.

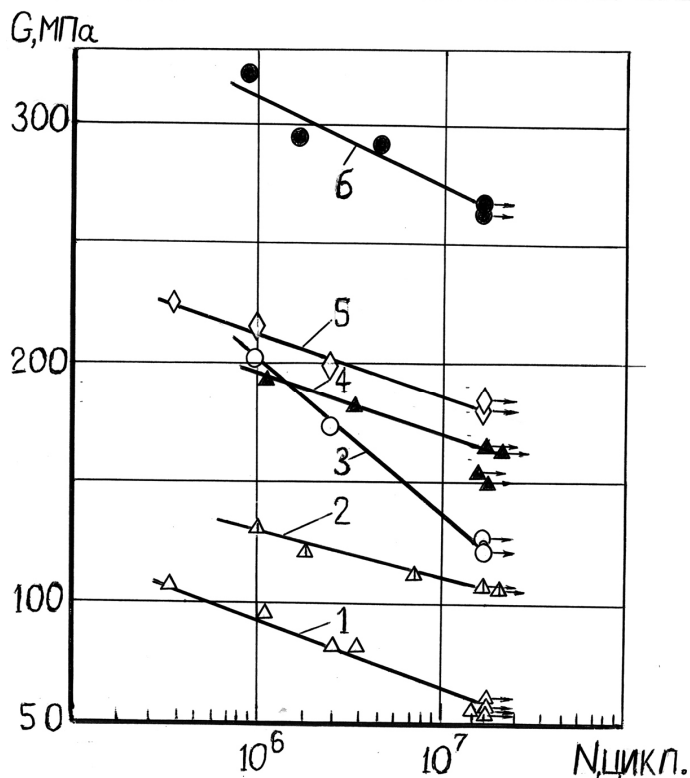


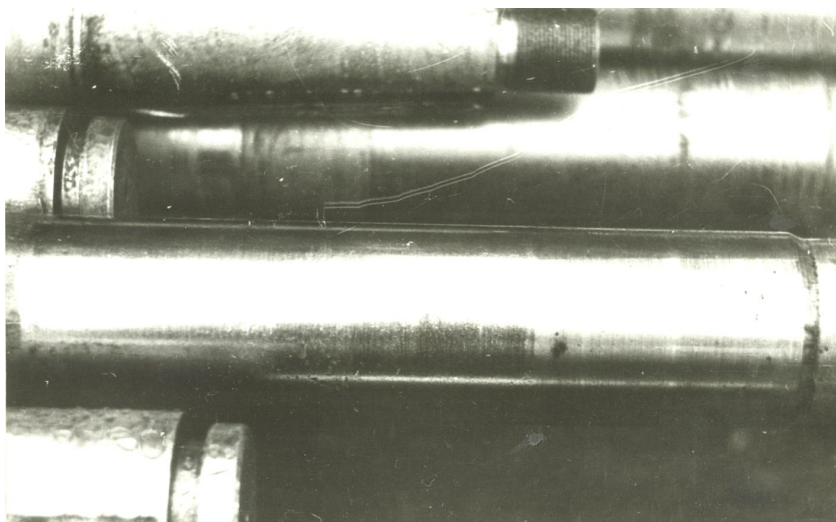
Рис. 3. Выносливость образцов из сталей 35 (кривые 1,2,4,5) и 20X13 (кривые 3,6):  
1 – с кольцевым надрезом; 2 – с «рваной» резьбой без упрочнения;  
4 – с «рваной» резьбой и упрочненным дном резьбы; 3 – с неупрочненной резьбой;  
6 – с упрочненной резьбой; 5 – гладкий шлифованный

Результаты проведенных исследований легли в основу разработки технологии восстановления газопламенным нанесением порошковых покрытий на рабочие шейки гребных валов для судов эксплуатирующихся в условиях река-море. В результате была выпущена и одобрена Морским Регистром технологическая инструкция ТИ 8410-030.001, согласно которой по заказу Дунайского пароходства был выполнен ремонт гребных валов двух судов эксплуатирующихся в условиях река-море.

**Технология восстановления** предусматривала целый комплекс мероприятий – подготовку поверхности под напыление, ее обезжиривание, вибродинамическое упрочнение перед напылением, предварительный подогрев рабочих шеек вала,

газопламенное нанесение износостойких и коррозионностойких порошковых покрытий, механическую обработку восстановленных поверхностей, обработку анаэробным герметиком для защиты пористого покрытия от коррозии, коррозионной усталости и гидроабразивного износа.

Подготовка поверхности под нанесение покрытия осуществляется следующим образом. Изношенная поверхность восстанавливаемой детали (рис.4) предварительно обрабатывается на токарном станке до получения чистой цилиндрической поверхности, на которую затем наносится «рваная» резьба глубиной 0,5 мм и шагом 1,5 мм.



*Рис. 4. Вали после 1500 часов работы до восстановления*

Резьбу наносят специальным резцом, установленным ниже центра оси вращения детали при пониженной скорости резания. В результате такой обработки образуются заусенцы на боковых поверхностях ниток резьбы, что увеличивает площадь контакта напыляемого материала и поверхности, обеспечивая высокую степень зацепления слоя с основой (так называемый «анкерный эффект») и применяется для подготовки восстанавливаемых напылением поверхностей деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок.

Естественно нарезанная резьба снижает несущую способность восстанавливаемой детали. В данном конкретном случае расчетный коэффициент концентрации, учитывающий фактор нарезки, составил  $\alpha_{\sigma} = 5,9$  [10]. Для гребного вала такое снижение сопротивления рабочим нагрузкам недопустимо. Поэтому в технологический процесс восстановления изношенной рабочей поверхности вала введена операция вибродинамического упрочнения [11-13] специальным устройством [13] для винтовой нарезки «рваной» резьбы. Для активации поверхности под нанесение

покрытия и упрочнения дна винтовой нарезки в суппорт станка под прямым углом к оси детали устанавливается приспособление (рис. 2) с вилкой, в которой укреплены тарельчатые ролики и выбирается продольная подача, равная шагу нарезанной резьбы.

При включении станка и подпружиненного виброударного приспособления импульсы через вилку и палец передаются на тарельчатые ролики, которые введены во впадину «рваной» резьбы. В связи с тем, что ролики имеют трапецеидальные выступы и прорезы и выступы ролика входят в прорезы другого, передача импульса в каждый момент вращения детали будет передаваться попеременно то одним, то другим тарельчатым роликом. Установка боковых поверхностей тарельчатых роликов в устройстве под углом, а также их клиновидная форма в сечении под воздействием ударного импульса внедрит выступ во впадину «рваной» резьбы под углом и образует в ней «полуласточкин хвост». Затем по мере проворота тарельчатых роликов в контакт вступит выступ второго ролика и «полуласточкин хвост» будет отчеканен на противоположной стороне впадины «рваной» резьбы. Таким образом, замки в виде «полуласточкиного хвоста» за время одного прохода будут располагаться во впадине резьбы в шахматном порядке. Такая обработка, за один проход, с образованием поочередно расположенных углублений (отчеканенных отрезков дуги), представляющих собой в сечении замок в виде «ласточкиного хвоста». Образующийся во впадине резьбы замок упрочняет углубление резьбы и обеспечивает высокую механическую прочность сцепления напыленного материала с поверхностью восстанавливаемой детали. Напыленные частицы соединяются с основой преимущественно за счет адгезии и механического зацепления с выступами и впадинами шероховатой поверхности, прошедшей предварительную подготовку.

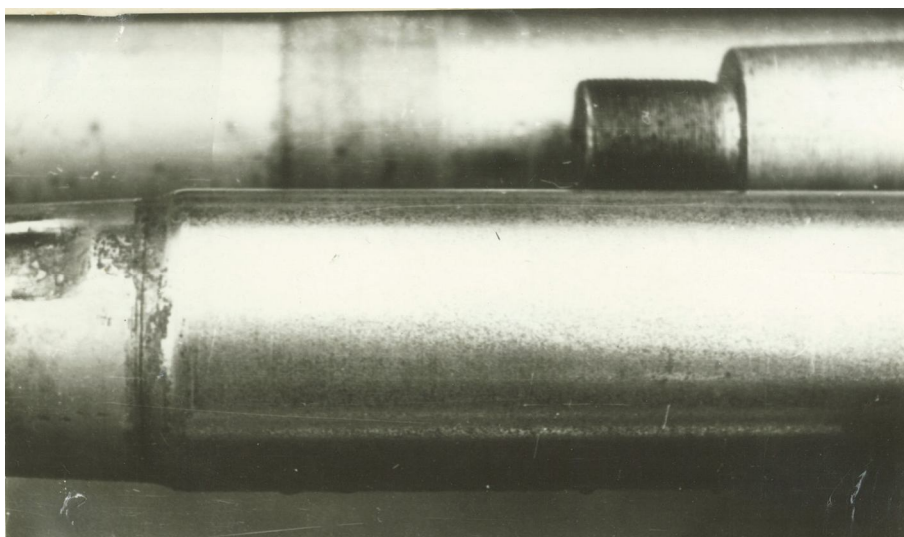
Поверхность перед напылением обезжиривают и осуществляют предварительный нагрев в пределах 50-100 °С нейтральным или слегка восстановительным пламенем (с небольшим избытком ацетилена). Напыление производится на станке со скоростью вращения 20-30 м/мин с механической подачей суппорта 5-8 мм/об. Наносится подслоем порошком ПТ-Ю5Н или ПТ-Ю10Н в 1-2 прохода. Дальнейшее напыление осуществляется порошком ПТ-ЮНХСР2 или ПТ-ЮНХСР3 до требуемых размеров с учетом припуска на механическую обработку, но не более 3 мм на сторону. Толщина слоя за один проход не превышает 0,15 мм, температура нагрева шеек вала (напыляемого слоя) не должна превышать 200-250 °С. При остывании вала не допускаются сквозняки.

По истечении не менее 12 часов с момента окончания напыления производится механическая обработка на токарном станке резцом с пластинкой ВК-3, или Т15К6 с параметрами: передний угол – 5 °, задний угол – 5 °. Режим резания – 25-32 м/мин, подача при черновой обработке – 0,2 мм/об, при чистовой – 0,08 мм/об. Глубина резания при черновой обработке – 0,5 мм, при чистовой – 0,05 мм. В первую очередь следует обработать торцы покрытия под углом 45 ° к образующей вала. Обработку вести в направлении от наружной поверхности к оси вала. Наружную поверхность покрытия обрабатывать от центра к краям.



Для увеличения ресурса эксплуатации и защиты вала от коррозии и эрозии поверхность восстанавливаемого вала обезжиривают, высушивают и обрабатывают анаэробным пропитывающим и уплотняющим составом (герметиком) марки Ана-терм-IV по ТУ6-01-2-610-81. Герметик наносят мягкой кистью на все напыленные участки шеек вала, включая 10-15 мм зоны не подвергавшейся напылению. Операцию проводят 2-3 раза через 15-20 минут. Время полной полимеризации герметика при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 24 часа.

**Обсуждение результатов.** Изношенные в результате эксплуатации валы в течение 1500 часов в условиях коррозионного и гидроабразивного износа (рис. 4) после восстановления на Измаильском СРЗ газопламенным нанесением покрытия порошком ПТ10НХСР2 были приняты в эксплуатацию. Осмотр предъявленных Морскому Регистру восстановленных валов после эксплуатации в течение 3125 часов (рис. 5) показал высокую износостойкость поверхностей трения.



*Рис. 5. Шейка восстановленного гребного вала, обработанная герметиком после 3125 часов эксплуатации*

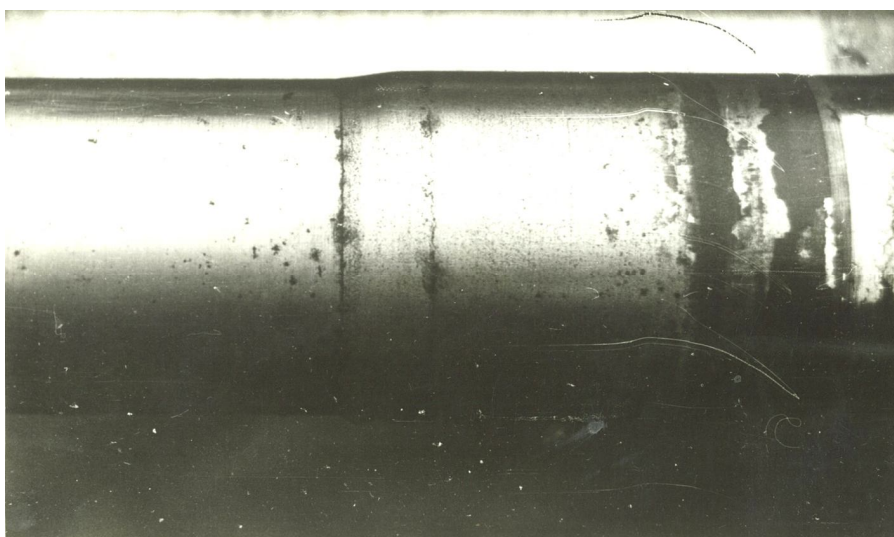
На рабочих шейках валов выбоин, отслаиваний, коррозионных и усталостных повреждений обнаружено не было и валы были допущены к дальнейшей эксплуатации. На необработанных герметиком рабочих шейках отмечен начальный гидроабразивный износ (рис. 6).

### **Выводы**

1. В результате проведенных лабораторных исследований и эксплуатационной проверки предложенного метода повышения ресурса гребных валов, разработан технологический процесс восстановления, включающий в себя подготовку

поверхности, с применением вибродинамического упрочнения перед нанесением износ-и коррозионностойких покрытий. Предложенный метод может быть рекомендован для применения в судостроении и судоремонте.

2. После механической обработки напыленных шеек восстановленного вала для увеличения ресурса эксплуатации следует обязательно подвергнуть пропитке анаэробным полимерным покрытием.



*Рис. 6. Шейка восстановленного гребного вала  
не обработанная герметиком после 1200 часов эксплуатации*

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Балацкий Л.Т. Ремонт гребных валов. Одесса. Бюро технической информации ЧМП. Изд. «Маяк». 1970. 59 с.
2. Похмурский В.И., Крахмальний А.М., Хома М.С. и др. Повышение сопротивления коррозионной усталости нержавеющей сталей для судовых валов // Тез. докл. Всесоюзн. науч.-техн. конф. «Проблемы повышения надежности судовых валопроводов» Ленинград, 1988. С.54-55.
3. Похмурский В.И., Кравцов Т.Г., Сирак Я.М. Циклическая прочность крупногабаритных образцов валов при наплавке аустенитной сталью по высокопрочному подслою // Тез. докл. Всесоюзн. науч. техн. конф. «Проблемы повышения надежности судовых валопроводов». Ленинград, 1988. С.56-57.
4. Сторожев В.П. Причины и закономерности постепенных отказов основных триботехнических объектов энергетических систем судна и повышение их ресурса. 2001. 341 с.

5. *Стальниченко О.И., Кравцов Т.Г. Перспективы использования напыления для восстановления и упрочнения судовых деталей. М.: ВО «Мортехинформреклама, 1984. 32 с.*
6. *Похмурський В.І., Студент М.М. та інші. Зносостійки газотермічні покриття з порошкових дрітів системи Fe-Cr-C // Проблеми трибології (НТК «Зносостійкість і надійність машин»). Хмельницький Техн.ун-т. «Поділля», 1997.*
7. *Похмурський В.І., Студент М.М., Сидорак І.Й. та інші. Електродугові відновні та захисні покриття. Львів: Фіз.-мех.інст.ім. Г.В. Карпенка, 2005. 192 с.*
8. *Стальниченко О.И. Прогрессивные технологические процессы восстановления деталей судовых дизелей, механизмов и устройств: Сб. докл. ДВИМУ. Владивосток. 1986. С.79-84.*
9. *Кычин В.П., Сахаров М.Г., Бабинец В.И. и др. Способ подготовки поверхности изделия под напыление и устройство для его осуществления. Авторское свидетельство №4314304/08 по заявке №1048871 с приоритетом 22.06.1987г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 25.02.1988 г.*
10. *Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М. Машиностроение, 1977. 232 с.*
11. *Кравцов Т.Г. Упрочнение наплавленных валов ультразвуком. Серия: Судоремонт. М.: Мортехинформреклама, 1985. Вып.14(543). 10 с.*
12. *Стальниченко О.И. Применение ультразвуковой ударной обработки в судоремонте. Тез. доклада III Международного научно-методического семинара «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров»: Сб. докл. Тунис, Сус. 2009. С.84-88.*
13. *Олейник Н.В., Кычин В.П., Луговской А.Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. К.: Техника, 1984. 152 с.*

*Стаття надійшла до редакції 08.02.2021*

**Посилання на статтю: Бабинец В.И., Кобзарук А.В.** Ремонт и восстановление судовых гребных валов газопламенным нанесением порошковых покрытий // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2021. № 3(66). С. 49-59. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-3-49-59.

*Article received 08.02.2021*

**Reference a JournalArtic: Babinets Valery, Kobzaruk Olexander.** Repair and restoration of ship propeller shafts by gas-flame application of powder coatings // Herald of the Odessa national maritime university. 2021. № 3(66). 49-59. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-3-49-59.