

*Волков Ю.В., Соловых Е.К., Азеев М.С.*

## СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СУДОСТРОЕНИИ

*Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям деталей судовых машин и механизмов при выполнении капитального ремонта показал, что значительное количество деталей восстанавливается разными методами, однако часть бракуется по причине недопустимо износа и отсутствия технологий их восстановления. Поэтому решение задачи расширения номенклатуры восстанавливаемых деталей требует внедрения в практику судоремонта технологических процессов восстановления, таких как электродуговое напыление для нанесения антикоррозионных покрытий и электроконтактное припекание покрытий дискретной структуры для восстановления валов судовых дизельных генераторов.*

**Ключевые слова:** суда, судовые дизельные генераторы, ремонт, эксплуатация, восстановление, сварка, газопламенное напыление, электродуговое напыление, электроконтактное припекание, дискретные покрытия.

**Состояние проблемы.** Современное судно, независимо от его назначения (перевозка грузов по морям и океанам или по внутренним водным путям, вылов и переработка морепродуктов, добыча углеводородов или других полезных ископаемых, проведение научно-исследовательских работ) представляет собой сложное инженерное сооружение, предназначенное для автономного плавания, в том числе, в экстремальных гидрометеорологических условиях [1].

К сожалению, переход на рыночную экономику имел негативные последствия: суда и их технические средства начали эксплуатироваться на «износ» при не всегда оправданном сокращении численности судовых экипажей; крайне сократилось поступление новых современных судов; большинство судов, находящихся в эксплуатации, имеют предельный возраст [2]. Техническая эксплуатация судов с изношенными корпусными конструкциями и техническими средствами требует особой ответственности и внимания для предотвращения аварийных выходов из строя технических средств и обеспечения безопасности плавания. Необходимо большое внимание уделять оценке тепловой и механической напряженности двигателей, вопросам технического использования главных двигателей различных конструкций с ограничительными характеристиками с целью предотвращения аварий судовых дизелей [3-4]. С целью обеспечения работоспособности, надежности, экономичности и безопасности судна в процессе эксплуатации экипаж судна и береговые службы должны осуществлять его техническое обслуживание и ремонт [5-9].

Ремонт судна включает капитальный ремонт, техническое обслуживание, переоборудование, ремонт крупных и незначительных повреждений [10]. Техническое обслуживание и судоремонт включают следующие работы [11-13]:

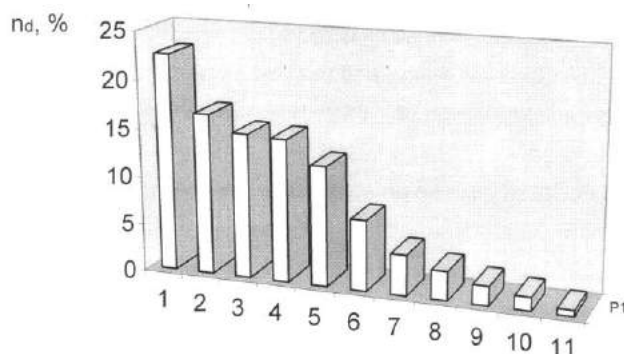
- ✓ продувку и повторную покраску корпуса судна, надводного борта, надстроек, внутренних поверхностей резервуаров и производственных помещений;
- ✓ реконструкцию и монтаж основного машинного оборудования (дизельных двигателей, турбин, генераторов и насосных станций);
- ✓ капитальный ремонт, техническое обслуживание и монтаж систем (промывка, испытание и монтаж системы трубопровода).

Судоремонт является важной частью судоходства [1,10]. Работы по ремонту на судостроительных заводах составляют приблизительно 25% [1,10]. Обычный ремонт судов длится от 3 дней до 2 месяцев, в то время как более важные типы ремонта и

переоборудования могут длиться более года. Работы по переоборудованию и ремонту иногда являются более рентабельными, чем строительство новых судов. Процесс судоремонта во многом сходен с судостроением, за исключением того, что он является менее масштабным и выполняется более быстрыми темпами. Объемы ремонтных работ для поддержания работоспособности судов с каждым годом увеличиваются, так как большинство судов находится в эксплуатации более 20 лет [1,4-5]. В настоящее время технологическое обеспечение судоремонтного производства в некоторых случаях не соответствует современным технологическим, экономическим и экологическим требованиям, вызывает необходимость отбраковки деталей в связи с невозможностью их восстановления. Это создает дефицит запасных частей, повышает материальные затраты на ремонт, увеличивает его продолжительность [1, 4-5].

Многолетний опыт эксплуатации и ремонта показывает, что в большинстве случаев причиной неисправностей в узлах агрегатов судовых машин и механизмов (СММ) и выход их из строя является износ деталей [1, 4, 11-12]. В трибосопряжениях узлов и агрегатов СММ происходят механические, физические, химические процессы, вызывающие повреждения и разрушения поверхностей [1,4,11-12]. Основной причиной разрушения деталей является внешнее трение, которое приводит к интенсивному износу, повреждению поверхностей, потере мощности и уменьшению надежности и долговечности механизмов в целом.

Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям деталей судовых машин и механизмов (СММ) [1-10] при выполнении капитального ремонта показывает, что значительное количество деталей восстанавливается разными методами [11-19], однако часть бракуется по причине недопустимо износа и отсутствия технологий их восстановления. Номенклатура таких деталей очень широкая, а количество их составляет около 22% от количества продефектованных деталей. На рис.1 представлены статистические данные распределения количества бракованных деталей в зависимости от характера неисправности. Такое положение дел приводит к появлению дефицита запасных частей, увеличению стоимости и продолжительности ремонта СММ. Поэтому решение задачи расширения номенклатуры восстанавливаемых деталей требует внедрения в практику ремонта СММ технологических процессов восстановления [14-19].



**Рис. 1. Статистические данные распределения количества бракованных деталей СММ в зависимости от характера неисправностей:**

1 – износ; 2 – забоины, вмятины, деформация; 3 – перегрев, прогар; 4 – трещины; 5 – срыв резьбы; 6 – повышенное биение; 7 – неперпендикулярность; 8 – коррозия; 9 – газовая коррозия; 10 – исчерпание ресурса; 11 – повреждения при демонтаже.

**Постановка задачи.** Ежегодно на судоремонтных предприятиях восстанавливается и ремонтируется 75...80% изношенных деталей СММ путем восполнения потери металла на изношенных участках и даже придания рабочей поверхности специальных свойств [20]. Восстановление деталей при одновременном повышении их ресурса – важный резерв развития ремонтного производства, повышения его эффективности. Использование

---

---

восстановленных деталей позволяет уменьшить расходы судоремонтных предприятий на запасные части, сохранить большое количество металла. Внедрение технологических процессов ограничивается отсутствием научно-обоснованных рекомендаций по их применению при восстановлении деталей СММ. Существующие методики восстановления и упрочнения деталей СММ в ряде случаев не соответствуют существующим требованиям, так как они не позволяют комплексно учитывать эксплуатационные, экологические и экономические требования. В связи с этим разработка технологий восстановления и упрочнения с целью продления ресурса деталей СММ – актуальная задача, которая поможет сделать ремонтное производство рентабельным.

**Результаты исследований.** В настоящее время существуют различные способы восстановления путем нанесения защитных покрытий разного функционального назначения [17-19], многообразие которых объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность: каждый способ имеет свою область применения; один и тот же материал покрытия может быть нанесен разными способами; большинство способов можно рассматривать как альтернативные [21-23].

Среди существующих способов восстановления и упрочнения наибольшую часть занимают сварочные технологии. Сварка – один из основных технологических процессов соединения деталей в современном судостроении и судоремонте [10, 14-19]. Способы электросварки – сварка плавлением и давлением [24-29].

Сварка плавлением выполняется почти на каждом участке судостроительной верфи [1,10,14,17,24-25]. При сварке плавлением металл сварного шва формируется из расплавленного основного металла, к которому добавляется присадочный материал. Свойства сварного соединения зависят от свойств химических элементов, количественного содержания основного и присадочного материалов, от окружающей среды, конструкции элементов, режимов сварки и др. факторов. Контакт расплавленного металла с воздухом приводит к окислению металла и растворению в нем азота и водорода. Поэтому при сварке плавлением используют защиту – шлаковую, газовую и комбинированную. Шлаковая защита может быть активной и пассивной. Функции активной защиты – раскисление, связывание фосфора и серы, дополнительное легирование и т.п. При газовой защите (в среде инертных газов) раскислители и легирующие элементы вводятся через сварочную проволоку. Образование соединения происходит путем термодинамического преобразования вещества. Монолитность и прочность сварного соединения достигаются атомно-молекулярными связями между элементарными частицами соединяемых материалов.

Нагрев при сварке плавлением осуществляется пламенем сварочной горелки или электрической дугой. Наиболее распространены ацетиленокислородная (газовая) сварка и электросварка [24-25].

Газовая сварка использует тепло, вырабатываемое при сжигании горючего газа. Наиболее общепринятым горючим газом является ацетилен, используемый в сочетании с кислородом (газовая сварка ацетиленокислородным пламенем) [24-25].

Ацетиленокислородная (газовая) сварка может применяться при сварке металлов различных толщин и физико-химических свойств [24-25]. Процесс газовой сварки является сравнительно медленным, трудно поддается автоматизации. Она используется на судостроительных заводах для сварки тонких листов (приблизительно до 7 мм), а также для сварки труб малого диаметра, вентиляции и кондиционирования воздуха (стальные листы), электрических кабелей, также как и для пайки твердым и мягким припоем [10, 17].

Пайка твердым припоем и пайка мягким припоем являются технологическими приемами для соединения двух металлических поверхностей без расплава основного металла [24-25]. Если температура присадочного металла ниже  $450^{\circ}\text{C}$ , процесс называется «пайка мягким припоем», если температура выше  $450^{\circ}\text{C}$ , то процесс называется «пайка твердым припоем». Швы, выполненные при помощи пайки мягким или твердым припоем, не обладают такими свойствами прочности, как сварные швы. Поэтому пайка твердым припоем и пайка мягким

---

---

припоем применяется в судостроении для выполнения швов на трубах малого диаметра, изготовления тонких металлических пластин, для технического обслуживания [10,17].

Электродуговая сварка, является наиболее универсальным процессом сварки, которая используется в судостроении [10, 17]. Процессы при электродуговой сварке требуют защиты сварного соединения от атмосферного воздуха и подразделяются на флюсозащитные и газозащитные [24-25].

На судостроительных верфях используется электродуговая сварка с флюсозащитой [10,17], называемая сваркой под флюсом [24-25]. Электрод служит в качестве наполнителя. Дуга, погруженная в поверхностный слой флюса, расплавляет его для создания защитного изолированного расплавленного экрана в зоне сварочного соединения. После выполнения сварки, расплавленный металл предохраняется при помощи слоя наплавленного флюса, который впоследствии удаляется и может регенерироваться. Сварка под флюсом идеально подходит для торцевой сварки листов на линиях сборки секций, на участках сварки листов и в монтажных зонах [10,17]. Процесс сварки под флюсом является автоматическим.

Газоэлектрическая сварка – разновидность электродуговой сварки, включающая газозащитные процессы. Эти процессы используют электродную проволоку с внешней подачей защитного газа, который может являться инертным или активным газом, или сочетанием того и другого [24-25]. В точке, где электрод встречается со сварочной дугой, в сварочный пистолет подается аргон или гелий, используемый в качестве защитного газа. Для сварки стали может использоваться сочетание  $CO_2$  и/или инертного газа. Газоэлектрическая сварка – непрерывная сварка без прерывания работы с целью замены электродов.

Процессом сварки с газовой защитой является дуговая газовая сварка вольфрамовым электродом, иногда называемая вольфрамовой сваркой в инертном газе или по имени торговой марки – Heliarc, так как гелий первоначально использовался в качестве газовой защиты [24-25]. Дуговая газовая сварка вольфрамовым электродом применяется на судостроительных верфях для сварки алюминия, стальных листов, а также труб и трубопроводов малого диаметра [1,10,17]. Дуга вырабатывается между обрабатываемым изделием и вольфрамовым электродом, который является неплавящимся электродом. Дуга не передает присадочный материал, а просто расплавляет материал и электродную проволоку, приводя к более чистой сварке [24-25].

Дуговая сварка трубчатым электродом используется при резке металла в судостроении и требует дополнительной газовой защиты согласно требованиям судостроительной промышленности [1,10,17]. Электрод является трубчатой электродной проволокой с флюсовой сердцевиной, обеспечивает более высокое качество сварных швов при высокой производительности сварочного аппарата по сравнению с процессами дуговой сварки с защитой зоны сварки [24-25].

Плазменная сварка в инертном газе является процессом сварки с газовой защитой. Плазменная сварка имеет большое сходство с дуговой газовой сваркой вольфрамовым электродом, за исключением того, что дуга усиливается реактивной струей движущейся плазмы [24-25]. Плазмой является ионизированный поток газа, несущий дугу, который вырабатывается путем сжатия дуги для прохода через малое отверстие в горелке.

Существуют дополнительные типы сварочных работ [1,10,17], которые могут применяться в судостроении. Электрошлаковая сварка и электрогазосварка являются эффективными процессами в судостроении для автоматического выполнения вертикальных торцевых швов и имеют значительное преимущество при сварке тонких листов [1,10,17]. Термическая сварка является процессом, который имеет сходство с литьем и, прежде всего, используется для ремонта литейных или поковочных форм, а так же для сварки объемных конструкций, таких как ахтерштевень [1,10,17,24-25]. Стержневая сварка является формой электрической дуговой сварки, в которой стержень сам по себе является электродом [24-25]. Сварочный пистолет удерживает стержень, в то время как образуется дуга. Стержневая сварка является полуавтоматическим процессом, который обычно используется в судостроении для

---

---

облегчения монтажа неметаллических материалов, таких как изоляция для стальных поверхностей [1,10,25].

К сварке давлением относятся: контактная, точечная, роликовая (шовная) и стыковая [26-28]. Наиболее распространенная точечная сварка используется для сварки легких переборок и выгородок, вентиляционных труб, деталей судового оборудования, и др. изделий из стали и алюминиевых сплавов [1,10,17].

С помощью сварки и наплавки восстанавливаются детали путем нанесения на их рабочие поверхности покрытий, которые противодействуют коррозионному и другим видам износа и разрушения. При этом используются способы электродуговой, газовой, плазменной, индукционной наплавки, а также газотермического напыления, гальванические и химико-термические методы.

Покраска выполняется почти на каждом участке судостроительной верфи [1,10,17]. Природа судостроения и ремонта требует несколько типов покраски. Типы покраски классифицируются от покрытий на водной основе до высококачественных эпоксидных покрытий. Тип покраски зависит от типа окружающей среды, которому будет подвергаться покрытие. Оборудование для нанесения покраски варьируется от простых кистей и валиков до безвоздушных распылителей и автоматических механизмов.

Судовая покраска [1,10,17] предусматривается на следующих участках: подводная часть (нижняя часть корпуса); ватерлиния; надстройки в верхней части; внутренние площади и резервуары; верхние палубы; оборудование для подъема якоря. Большинство судостроительных заводов имеют специальные производственные помещения и участки, где происходит покраска. Крытые производственные помещения являются дорогостоящими, но обеспечивают высокое качество и эффективность покраски. Покраска на открытом воздухе имеет более низкую эффективность и ограничивается хорошими погодными условиями. Покраска используется для выполнения ряда целей на различных участках судов. Одна краска не может выполнить все требуемые функции: предотвращение ржавчины, биологического обрастания и щелочного образования. Краски состоят из трех ингредиентов: пигмента, связующего материала и растворителя. Пигмент (оксид цинка, тальк, углерод, каменноугольный деготь, свинец, слюда, алюминий и цинковая пыль) определяет цвет и свойства, связанные с покрытием. Связующий материал (эпоксидная смола, алкидная смола, уретан, винил, фенол) удерживает пигменты краски между собой. Связующее вещество определяет характеристики покрытия (гибкость, химическое сопротивление, стойкость, шероховатость). Растворитель (ацетон, уайт-спирт, ксилол, метилэтилкетон и вода) добавляется для разжижения краски. Часть растворителя краски испаряется по мере высыхания краски.

Антикоррозионные краски и краски с защитой от биологического обрастания обычно используются для корпуса судна в судостроительной промышленности [1,2,10,17].

Антикоррозионные краски являются системами покрытия на основе винила, лака, уретана, эпоксидной смолы. В настоящее время эпоксидные системы характеризуют качество покрытия, которое используется в морских условиях [1,2,10,17].

Краски с защитой от биологического обрастания используются для предотвращения роста и скопления морских микроорганизмов на корпусе судна [1,2,10,17]. Краски на медной основе широко используются для защиты от биологического обрастания. Для получения различных оттенков в краску добавляется ламповая сажа, красный оксид железа или диоксид титана.

Для нанесения покраски существует множество типов оборудования, которое используется в судостроительной промышленности [1,2,10,17,21]. Используются распылитель на сжатом воздухе и безвоздушный распылитель. Система сжатого воздуха распыляет и воздух, и краску, что приводит к высыханию некоторого количества краски до того, как она достигнет предназначенной поверхности. Эффективность распыления такого распылителя 65%...80%. Такая низкая эффективность распыления происходит из-за утечки при распылении, отброса ветром и неэффективности распылителя. Наиболее широко

---

---

используемым инструментом для нанесения краски в судостроительной промышленности является безвоздушный распылитель [1,2,17,21-22]. Перемещение краски происходит за счет гидравлического давления, а не давления воздуха. Для снижения утечки и пролива судостроительные заводы увеличивают использование безвоздушных распылителей краски. Безвоздушные распылители более чистые в применении и имеют меньше проблем, связанных с утечкой, в отличие от распылителей на сжатом воздухе, потому что система требует меньшего давления. Эффективность безвоздушных распылителей в зависимости от условий приближается к 90%. Новая технология, которая может служить дополнением к безвоздушному распылителю, называется «сильная струя при низком давлении» [17,22]. Технология сильной струи при низком давлении предусматривает более высокую эффективность распыления.

После зоны разборки и сборки детали, узлы и многосекционные модули транспортируются на участки продувки, где происходит их подготовка для покраски. На этой стадии детали проходят пескоструйную обработку до образования обнаженного металла. Наиболее часто используемым методом для подготовки поверхности является продувка воздушным соплом. На следующей стадии на стальные листы и компоненты наносится система первичного покрытия, которое является грунтовкой и относится к «цеховой грунтовке» [1,10,17]. Цеховая грунтовка имеет две важные функции: 1 – предохранение металла до момента окончательной отделки продукции и 2 – содействие продуктивности строительства. Большинство типов грунтовки обогащаются цинком с органическими или неорганическими связующими веществами. Силикат цинка является доминирующим среди неорганических цинковых грунтовок. Системы цинковой грунтовки предохраняют покрытие тем же способом, что и гальванизированные покрытия. Если цинк наносится на сталь, кислород вступает в реакцию с цинком и образует оксид цинка. Это создает плотный слой, который не допускает соприкосновения воды или воздуха со сталью. Грунтовка наносится на стальные листы, профили, секции трубопроводов и воздухопроводов. Следующий этап – покраска. Маляры обычно используют безвоздушные распылители. После нанесения покрытия детали и сборочные узлы направляются на участки оснащения, где происходит комплектация принадлежностей. Перед процессом сборки необходимо нанести покраску на множество деталей, которые включаются в комплект судна. Например, трубопроводные катушки, воздухопроводы, фундаменты и двери окрашиваются до того, как они устанавливаются на сборочные узлы. Малогабаритные детали, в основном, подготавливаются под покраску на специальных участках судостроительной верфи. Покраска малогабаритных деталей может выполняться на других участках, если они отвечают производственной необходимости. Некоторые из малогабаритных частей окрашиваются в различных цехах, в то время как покраска остальных деталей осуществляется на предназначенных для этого участках.

Покраска выполняется практически на каждом участке судостроительной верфи – от первоначальной грунтовки стали до окончательной покраски судна [1,10,17]. Смешивание краски выполняется как вручную, так и механическим способом. Покраска обычно выполняется на участках, окруженных бермами или защитными стеллажами. Некоторые из них являются закрытыми зонами. Часто используются ограждения, выполненные из стали, пластмассы или арматурной сетки. В судостроительной и судоремонтной промышленности процессы покраски судна на судостроительной верфи могут быть описаны на основании следующих основных участков :

✓ покраска корпуса выполняется как на судах, подлежащих ремонту, так и на вновь строящихся судах. Подготовка поверхности корпуса и нанесение краски на судах, подлежащих ремонту, обычно выполняется, когда судно находится в сухом доке (док на суше или плавающий сухой док). При постройке нового судна корпус подготавливается и окрашивается в помещении с использованием одного из методов, описанных выше. Продувка водой и/или воздухом при использовании мелких твердых частиц является наиболее общим типом подготовки поверхности корпуса;

---

✓ покраска надстроек на судах, подлежащих ремонту, осуществляется на якорной стоянке. Надстройки судна включают открытую палубу, рубку и другие конструкции, расположенные над главной палубой. Покрасочный или продувочный материал может попадать в воду. Во избежание этого устанавливается защитное ограждение. Подготовка поверхности осуществляется при помощи воздушного сопла. После подготовки поверхности и ее очистки может начинаться покраска. Покраска обычно наносится при помощи безвоздушных распылителей. Защитное ограждение, которое использовалось при продувке, остается на месте во время распыления краски;

✓ резервуары и отсеки на борту судна должны иметь предварительное и повторное покрытие для увеличения срока службы судна. Повторное покрытие резервуаров на судах, подлежащих ремонту, требует тщательной подготовки поверхности перед покраской. Большинство емкостей (балластные цистерны, трюмы, топливные баки) находятся в нижней части судна. Подготовка резервуаров под покраску осуществляется при помощи растворителей и детергентов для удаления жировых и масляных отложений. Сточные воды, образующиеся во время очистки резервуаров должны тщательно очищаться и сбрасываться. После осушки резервуаров они продуваются абразивным методом. Во время абразивной продувки резервуар должен иметь подачу рециркуляции воздуха, а абразивный материал должен вакуумироваться. Вакуум должен быть высоким для удаления абразивного материала из резервуара. Вакуумные и вентиляционные системы располагаются на поверхности дока, а доступ к ним осуществляется через отверстия в корпусе. Покраску можно начинать после продувки поверхности и удаления абразивных материалов. Для подготовки и покраски поверхности резервуаров и отсеков (т.е. в закрытых и ограниченных пространствах) требуются респираторы и соответствующая вентиляция.

Наиболее распространенными способами нанесения антикоррозионных покрытий на поверхности деталей является напыление [21-25,29-30]. Сущность способа напыления заключается в следующем: металл в виде проволоки или порошка подается в специальный аппарат; на выходе из него расплавляется и распыляется струей сжатого воздуха или инертных газов; осаждается на специально подготовленную поверхность детали при ударном столкновении с этой поверхностью. Основные достоинства напыления как способа нанесения защитных покрытий – простота используемого оборудования; возможность нанесения покрытий как на локальные участки поверхности деталей любой формы, так и на большие площади толщиной от 0,03 мм до нескольких миллиметров. Методы напыления по сравнению с другими методами нанесения покрытий имеют ряд преимуществ, которые способствуют более широкому внедрению их в производство: высокая производительность, управляемость процессов, универсальность используемых материалов (нанесение материалов различных составов) и другие [21-25,29-30]. Они являются самыми массовыми и наиболее гибкими способами нанесения покрытий. К преимуществам напыления, особо ценным для ремонтного производства, относится возможность осуществления процесса в различных производственных условиях (на ремонтных предприятиях, в ремонтных мастерских).

Термическое напыление, известное как газопламенное напыление или напыление металла, является нанесением алюминиевых или цинковых покрытий на сталь для защиты от коррозии [21-25]. Имеется два основных базовых типа механизмов термического покрытия: проволочный способ газопламенного (ГПН) и электродугового напыления (ЭДН) [29-30]. Электродуговым (ЭДН) и газопламенным (ГПН) напылением наносится более 75% покрытий [22-25,29-30]. Это связано с тем, что они являются самыми дешевыми и простыми методами нанесения покрытий, которые не требуют применения высокостоимостного оборудования и обладают технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей.

Проволочный способ газопламенного напыления (ГПН) находит широкое применение при нанесении антикоррозионных покрытий. При газопламенном напылении (ГПН) источником тепловой энергии является газовое пламя, образующееся в результате горения смеси кислород (сжатый воздух)-горючий газ (ацетилен, пропан-бутан, природный газ и др.)

---

[29-32]. Температура продуктов сгорания горючих газов при использовании в качестве окислителя кислорода достигает 2000...3000 градусов. Наивысшим удельным тепловым потоком обладает ацетиленоокислородное пламя. К преимуществам газопламенного напыления покрытий относятся: возможность гибкого регулирования газового режима работы горелки, что позволяет управлять химическим составом среды (восстановительная, окислительная, нейтральная) и энергетическими характеристиками пламени и напыляемых частиц; высокая производительность процесса (до 8-10 кг/ч) и высокий коэффициент использования материала (более 95%); относительно низкий уровень шума и излучений, позволяющий работать оператору без дополнительных средств защиты; возможность нанесения покрытий в любом пространственном положении; гибкость и мобильность, что позволяет производить напыление на месте, без демонтажа изделий; лёгкость введения в существующие технологические линии, возможность автоматизации и встройки в автоматическую линию с небольшими затратами.

В условиях сложившейся экономической ситуации в Украине возрастает востребованность в обеспечении судоремонтных и судостроительных предприятий недорогими технологиями нанесения защитных покрытий, такими как электродуговое напыление (ЭДН) [1,10,17,34-35]. Сущность процесса электродугового напыления заключается в нагреве (до плавления) электрической дугой сходящихся проволок (электродов) и распылении расплавленного металла сжатым воздухом [29,33]. В мировой практике антикоррозионной защиты электродуговым методом напыления получил значительное распространение. Оборудование, на котором производят напыление, является сравнительно простым, легким и его можно достаточно быстро перемещать. Целесообразность применения ЭДН обеспечивается его такими преимуществами [33]: доступностью источника энергии; технологической гибкостью применения к различным типоразмерам деталей; высокой производительностью нанесения покрытия (до 20 кг/час стали); получением покрытий толщиной от 0,1 до 10 и более миллиметров; отсутствием значительного термического влияния на деталь (температура нагрева детали 100-150°C); отсутствием деформации деталей; простотой и технологичностью процесса; возможностью нанесения покрытия на поверхности деталей из различных материалов (сталь, чугун, и др.); получением покрытий из различных материалов проволоки с заданными свойствами;

Поверхность должна быть тщательно подготовлена для соответствующей адгезии напыляемых материалов. Наиболее общим методом подготовки поверхности является продувка воздухом с мелкими твердыми частицами (например, оксид алюминия) [24-25, 29].

Заводская себестоимость термического напыления высока по сравнению с покраской, хотя, если принимать во внимание срок службы, термическое напыление более экономичный процесс. Многие судостроительные верфи имеют собственные механизмы термического напыления, а другие заводы заключают субподряд на проведение термического покрытия. Термическое напыление может выполняться в цеху или на борту судна [1,10,17,34-35].

При выборе способа нанесения защитных покрытий необходимо учитывать основные условия их формирования [36-37]:

- ✓ термические воздействия на деталь должны полностью предотвращать фазовые или структурные превращения в основном металле;
- ✓ доля участия основного металла в покрытии должна быть близка к нулю;
- ✓ в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, которые способны изменить ее структуру и фазовый состав.

Из широкого спектра современных методов нанесения защитных покрытий разного функционального назначения этому условию формирования покрытий наиболее полно отвечают электроконтактные методы (наплавка, наварка, припекание) [38-41]. Процесс электроконтактного припекания покрытий (ЭКПП) [38-41] характеризуется использованием электрического тока силой 1,5...32 кА, вторичным напряжением 1...6 В, давлением до 100 МПа и отличается высокой скоростью нагрева. Однако, температура нагревания порошка находится в пределах  $0,9...0,95T_{пл}$ . При ЭКПП нанесение покрытий осуществляется



---

---

в твердой фазе. Главным принципом электроконтактного припекания является сохранение наследственности, т.е. начальных свойств материала покрытия. ЭКПП имеет незначительное влияние на металл восстанавливаемых поверхностей, температура детали не превышает 60...80<sup>0</sup>С, отсутствуют термическое коробление и поводки деталей. Покрытия, которые наносятся способом ЭКПП, характеризуются малой зоной термического влияния. Получение покрытий без расплавления присадочного материала позволяет наносить слои с требуемыми физико-механическими свойствами. Технология ЭКПП относится к категории «холодных» и «сухих», не требует жидких технологических сред. Покрытия характеризуются прочностью сцепления 150 ... 350 МПа, пористостью до 10%, низкой энергоемкостью процесса, высокой производительностью, отсутствием излучения и газовой выделением, минимальными припусками на финишную обработку [42]. Однако, широкое применение метода ЭКПП в ремонтном производстве ограничивается неравномерностью нагрева восстанавливаемой поверхности и наносимого материала покрытия по сечению, что приводит к ухудшению эксплуатационных свойств восстановленных деталей. Основным недостатком технологии ЭКПП – краевой эффект, который приводит к неравномерному распределению температуры и давления по ширине электрода [43]. Следствием этого является неоднородная пористость покрытия, максимальная в зонах кромки электрода, а также неравномерность адгезионной прочности со снижением ее в зоне кромки [43].

Краевой эффект, который имеет место при восстановлении деталей электроконтактным припеканием, предложено устранять путем нанесения на восстанавливаемые поверхности покрытий дискретной структуры [44]. Суть принципа формирования покрытий состоит в том, что традиционный сплошной слой заменяется на прерывистый слой мозаично-дискретной структуры покрытия [45]. Использование подобного решения для газотермического напыления дискретных покрытий протекторного типа на длинномерных теплообменниках повысило граничное состояние детали, которая деформируется, больше, чем в 3 раза за счет повышения когезионной и адгезионной стойкости покрытия [45]. На основании литературных источников показано, что использование преимуществ дискретных покрытий, которые получают традиционными электроискровым и вакуум-плазменным методами, не представляется возможным для восстановления деталей со значительной величиной износа (больше 1мм) [45]. Электроконтактный способ обеспечивает нанесение дискретных покрытий с повышенными механическими свойствами толщиной более 1мм [44]. Размеры и конфигурация отдельных участков покрытия устанавливаются из условия минимизации уровня напряженно-деформированного состояния [36-37]. ЭКПП покрытий дискретной структуры позволяет получать восстанавливаемые поверхности деталей с равномерными свойствами [44].

Способ электроконтактного припекания покрытий дискретной структуры целесообразно использовать при восстановлении деталей типа «вал» судовых дизельных генераторов, в частности распределительных и коленчатых валов. Восстановление и упрочнение валов дизельных генераторов является одной из сложных проблем судоремонтного производства. На запасные части приходится основная доля затрат (40...75%) в себестоимости капитального ремонта ДГ. К настоящему времени на судоремонтных предприятиях проблема повышения ресурса деталей типа «вал» судовых дизельных генераторов (СДГ) до нормативных значений остается весьма актуальной.

**Выводы.** Результаты проведенных исследований и их анализ показал, что разработка эффективных ресурсосберегающих технологий с использованием современных методов упрочнения и восстановления, организация специализированных участков ремонта на предприятиях водного транспорта представляет собой серьезную задачу. Перспективным и эффективным решением проблемы нанесения антикоррозионных покрытий является использование электродугового напыления, а применение электроконтактного припекания покрытий дискретной структуры актуально при восстановлении и повышении ресурса валов СДГ.

---

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин А. А. Судостроение и судоремонт: Сборник научных трудов. С.-Петербург. гос. ун-т вод. коммуникаций. СПб: Изд-во СПбГУВК 2000, 189 с.
2. Бочкарев В. Н., Яхьяев Н. Я. Технологическая наследственность в управлении качеством судовых машин и механизмов. Монография. Дагестанский филиал АН СССР. Махачкала, 1990, 200 с.
3. Возницкий И. В., Иванов Л. А. Предотвращение аварий судовых двигателей внутреннего сгорания. М. Транспорт 1971.
4. Возницкий И. В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин. С - Петербург, 2006.
5. Захаров Г. В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Учебник. М.: ТрансЛит, 2009, – 256 с., ил.
6. Камкин С. В., Возницкий И. В., Большаков В. Ф. и др. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок. М. Транспорт, 1996.
7. Возницкий И. В., Михеев Е. Г. Судовые дизели и их эксплуатация М. Транспорт, 1990.
8. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. С-Петербург, 2007.
9. Овсянников М. К., Петухов В. А. Эксплуатационные качества судовых дизелей. Л., Судостроение, 1982.
10. Ремонт речных судов. Справочник / Ю. К. Аристов, Ф. Ф. Бенуа, А. А. Вышеславцев и др.: под ред. А. Ф. Видецкого. – М.: «Транспорт», 1988. – 431 с.
11. Тилипалов В. Н. Ремонт машин: технологии, эффективность, прогнозирование / Тилипалов В.Н., Схиртладзе А.Г., Минаков А.П. и др./ – Калининград: изд-во КГТУ, 2005. – 315 с.
12. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др. – М.: Колос, 2000. – 776 с
13. Ершов К. Задачи сервисных организаций по ремонту оборудования. Гл. механик. 2005, № 10, С. 54-59.
14. Сторожев, В. П. Восстановление деталей судовых технических средств / В. П. Сторожев // Серия «Судоремонт» 1990. – вып. 1(17) – С. 1-60.
15. Семькин В. Н., Золототрубова Ю. С., Проценко В. Н. Обзор современных способов восстановления деталей машин. Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении: Меж. вуз. сб. науч. трудов. Воронеж. гос. тех. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2004, С. 82-86.
16. Кондратьев В. А., Кондратьев М. В. Классификация видов технологических процессов восстановления деталей. Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: Меж. сб. науч. трудов. Вып. 4. Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ 2005, С. 32-34.
17. Половинкин В. Н. Новые высокие технологии на пути к внедрению в судостроении. Успехи ожидаемые и неожиданные / Материалы конференции. СПб.: «Моринтех», 2001. С. 9-10.
18. Нахимович Е. Комплексный подход к решению задач по повышению долговечности и износостойкости материалов и деталей машин / Е. Нахимович // Трение, износ и смазка. – 2003 – 5, № 4. – С. 61-64.
19. Пантелеенко Ф. И. Новое в восстановительно-упрочняющих технологиях. Производство и ремонт машин: Сб. матер. Междун. науч-техн. конф., Ставрополь, 28 февр.-6 марта, 2005. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС». 2005, С. 58-63.
20. Голубев И. Г., Быков В. В., Батищев А. Н. и др. Мониторинг технологических процессов восстановления деталей. Науч. тр. Моск. гос. ун-т леса. 2000, № 306, С. 31-34.
21. Покрытия и их использование в технике // В кн. «Прочность материалов и конструкций», п/ред. В. Т. Трошенко – 2-е изд. – К.: Академперіодика, 2006. – С.981-1074.
22. Современные достижения в области нанесения защитных и упрочняющих покрытий / Борисов Ю. С. // Порош. металлургия (Киев). – 1993. – № 7. С. 5-14.
23. Интегрированный банк данных по защитным покрытиям / Борисов Ю. С., Бернадский В. Н., Овсиенко А. В., Соляник Т. Н., Пашина Н. В. // Соврем. достиж. в обл. техн. и применения газотерм. и вакуум. покрытий. АН УССР. Ин-т электросварки. – Киев, 1991. – С. 102-107.
24. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

- 
25. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей машин. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
  26. Кочергин К. А. Сварка давлением. – Л.: Машиностроение, 1972. – 272 с.
  27. Кочергин К. А. Контактная сварка. – Л.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
  28. Сварка трением. Справочник / В. К. Лебедев, И. А. Черненко и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 236 с.
  29. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. М.: Машиностроение, 1985. – 239 с.
  30. Харламов Ю. А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю. А. Харламов //Тяжелое машиностроение-2000 №2. – С. 10-13.
  31. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Обзор. Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление. Мчедлов С. Г. Свароч. пр-во. 2007, № 10, С. 35-45, 63.
  32. Витязь П. А. Теория и практика газопламенного напыления / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, Е. Д. Манойло и др. Наука и техника, Минск – 1993. – 294 с.
  33. Бороненков В. Н., Коробов Ю. С. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. Екатеринбург: УрГУ; Екатеринбург: Унив. изд-во. 2012, 267 с.
  34. Дубчак В. С. Опыт Мурманского СРЗ по восстановлению деталей методами газотермического напыления./В.С. Дубчак. – В/О «Мортехинформреклама», серия «Судоремонт», вып.20, Москва, 1987 г. – С. 1-10.
  35. Корнев А. Б. Разработка стратегии ремонта трибосопряжений крупногабаритных деталей с применением газотермического напыления в судоремонтном производстве: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.08.04 / Корнев Андрей Борисович. Н. Новгород, 2006. – 23 с.
  36. Кондратьев В. А., Кондратьев М. В. Выбор рационального метода восстановления. Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: Меж. сб. науч. трудов. Вып. 4. Воронеж. гос. техн. ун-т. Воронеж: Изд-во ВГТУ 2005, С. 35-38.
  37. Кравченко И. Н. Комплексный анализ методик выбора рациональных способов восстановления деталей машин. Военно-технический университет при Федеральном агентстве специального строительства РФ, Балашиха. Ремонт, строительство, модернизация. 2007, №3, С.40-44.
  38. Карпенко В. М., Катренко В. Т, Пресняков В. А. Электроконтактная наплавка порошковых материалов в металлической оболочке: Учебн. пособие. – Краматорск: ДГМА, 2002. – 128 с.
  39. Пономарев А. И. Разработка технологии восстановления поверхностей качения электроконтактной наваркой проволокой: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Моск. гос. техн. ун-т, Москва, 2004, 16 с.
  40. Черновол М. И., Лопата Л. А., Красота М. В. Получение износостойких покрытий электроимпульсным припеканием композиционных порошков / Тезисы докладов конференции «Композиционные материалы в промышленности», Киев: Институт сверхтвердых материалов НАН Украины. – 1999. – С. 194.
  41. Лопата Л. А., Златопольський Ф. Й., Красота М. В. Спосіб зміцнення поверхонь електроімпульсним припеканням композиційних зносостійких покриттів // Проблеми підвищення надійності та довговічності машин. Збірник наукових праць., Кіровоград, КІСМ, 1996 р. – С. 32-38.
  42. Лопата Л. А., Красота М. В. Поєднання процесів електроконтактного припекання порошків і теплового пластичного деформування // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – Київ, НТУ, 2001. – вип. 12, с. 79-86.
  43. Лопата Л. А., Красота М. В. Досягнення рівномірного нагріву порошкових шарів при електроімпульсному припеканні металевих порошків // Труды Таврической государственной агротехнической академии. Вып. 2. Том 7, Мелитополь 1999. – С. 67-69.
  44. Лопата Л. А., Ляшенко Б. А., Волков Ю. В. Получение износостойких дискретных покрытий электроконтактным припеканием. Научно-технический сборник «Проблема тертя та зношування». – Київ, НАУ, 2009. – № 51. – С.139 - 148
  45. Ляшенко Б. А., Мовшович А. Я., Долматов А. И. Упрочняющие покрытия дискретной структуры // Технологические системы – 2001 – № 4 (10). – С.17-25.

---

---

**Волков Ю.В., Солових Є.К., Агєєв М.С.**

### **ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕННІ ПРОЦЕСИ У СУДНОБУДУВАННІ**

*Аналіз статистичних даних по дефектах і несправності деталей суднових машин і механізмів при виконанні капітального ремонту показав, що значна кількість деталей відновлюється різними методами, однак частина бракується через неприпустимий знос і відсутність технологій їх відновлення. Тому рішення задачі розширення номенклатури відновлюваних деталей вимагає впровадження в практику судноремонту технологічних процесів відновлення, таких як електродугове напилення для нанесення антикорозійних покриттів і електроконтактне припікання покриттів дискретної структури для відновлення валів суднових дизельних генераторів.*

**Ключові слова:** судна, суднові дизельні генератори, ремонт, експлуатація, відновлення, зварювання, газополуменеve напилення, електродугове напилення, електроконтактне припікання, дискретні покриття.

**Volkov Y., Solovykh E., Ageev M.**

### **INCREASES OF RESOURCE OF SHIP PUMPS ONBASIS OF THE COMBINED TECHNOLOGY OF RENEWAL**

*The statistical analysis of defects and defective parts ship machinery when performing overhaul show that a significant number of parts is reduced by different methods, but the part is rejected because of unacceptable wear and technologies for their recovery. Therefore, the solution of expanding the range of recoverable parts requires implementation in practice of ship repair recovery processes such as arc spraying for the application of anti-corrosion coatings and Electrocontact sintering coating discrete structure to restore shaft marine diesel generators.*

**Keywords:** ships, marine diesel generators, repair, maintenance, repair, welding, flame spraying, arc spraying, electric contact sintering, discrete coating.

УДК 629.05

**Доронін В.В., Алєйніков М.В.**

### **МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ECDIS/INLAND ECDIS ЗА РАХУНОК ВЗАЄМНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ З РЛС У РЕЖИМАХ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТУВАННЯ**

*У статті запропоновано метод автоматизації у вигляді алгоритму автоматичного накладення РЛЗ на ENC за наявності між зображеннями яскравісних і геометричних відмінностей, що дозволяє здійснювати поточний контроль GPS-координат для визначення правильності роботи СНС і точності ENC.*

**Ключові слова:** безпека судноплавства, інформаційні технології, гетерогенні джерела позиціонування, візуалізація, матриця амплітуд.

**Вступ.** Аналіз динаміки аварійності на морських і річкових суднах за останні роки свідчить про те, що аварійність зберігається приблизно на одному рівні. Практично кожне третє чи четверте судно у світі валовою місткістю понад 500 рег. тонн щорічно терпить аварію.