

ХРИСТО ВАЛЕРИЕВ ХРИСТОВ

**ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА БОЙНАТА
ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА КОРАБИТЕ, ЧРЕЗ РАЗРАБОТВАНЕ НА
ПОДВОДНИ АВАРИЙНИ МЕТОДИ ЗА РЕМОНТ**

Професионално направление 5.5. „Транспорт, корабоплаване и авиация”, научна специалност 02.03.04. „Технология и организация на корабостроенето и кораборемонта”

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР”

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Пламен Дичев Дичев

Варна, 2013 г.

Дисертационният труд се състои от 195 страници

Основен текст – 158 стр.

Брой на литературните източници – 140

Брой на фигурите - 59

Брой на таблиците - 11

Брой на приложенията – 9

Брой на публикациите по дисертацията - 6

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 11.07.2013 год. от 14.00 часа в зала 4206 на ВВМУ „Н.Й. Вапцаров”

Рецензиите, становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани в сайта на училището www.naval-acad.bg

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се във

ВВМУ „Н.Й. Вапцаров”, стая 2206

Адрес: Варна, ул. „Васил Друмев” №73

ХРИСТО ВАЛЕРИЕВ ХРИСТОВ

ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”

ФАКУЛТЕТ „ИНЖЕНЕРЕН”

**ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА БОЙНАТА
ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА КОРАБИТЕ, ЧРЕЗ РАЗРАБОТВАНЕ НА
ПОДВОДНИ АВАРИЙНИ МЕТОДИ ЗА РЕМОТ**

Професионално направление 5.5. „Транспорт, корабоплаване и авиация”, научна специалност 02.03.04. „Технология и организация на корабостроенето и кораборемонта”

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР”

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Пламен Дичев Дичев

Варна, 2013 г.

Дисертантът работи във ВВМУ и е задочна форма на обучение в катедра "Кораборемонт" при факултет „Инженерен“ на ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“.

Изследванията от дисертационният труд са извършени във ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“ .

Дисертационният труд е насочен за защита от Факултет „Инженерен“ при ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“ в съответствие на чл. 5, ал. 1 от ЗРАС.

Автор: Христо Валериев Христов

Заглавие: Повишаване ефективността на бойната експлоатация на корабите, чрез разработване на подводни аварийни методи за ремонт.

Тираж: 10 броя

Актуалност на проблема

Настъпилите промени в обществено политическата обстановка в република България доведоха до съществени изменения в развитието на Въръжените сили и в частност във ВМС. Новата военнополитическа среда налага нови задачи пред ВМС, които създават сериозни проблеми към логистичното осигуряване на военноморския компонент. Изисква се по-прецизно разпределение на средствата предвидени за поддръжка и ремонт на действащите сили на флота. Това налага преразглеждане на съществуващата организация на кораборемонта и внедряване на нови технологии, повишаващи ефективността му.

Използването на подводни технологии, води до чувствително намаляване на разходите за ремонт както и на времето за неговото провеждане.

Подводното рязане е една от често срещаните и достатъчно трудоемки подводно-технологични работи. Необходимостта от използването му възниква както при ремонта на кораба на вода, така и при аварийно-спасителни операции в открито море или в плавателни реки. Осъзнавайки огромната му значимост изследванията следва да се насочат в подобряване на неговата ефективност, както и лесното му и икономически изгодно прилагане в условията на ВМС на република България

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на настоящия дисертационен труд е да се създадат възможности за повишаване на ефективността на бойната експлоатация на корабите, чрез използване на подводно рязане.

За постигането на тази цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се направи анализ на съществуващата организация на кораборемнта във ВМС на Република България. Да се проучи опита на водещите в НАТО страни;
2. Да се анализират известните методи за подводно рязане, от гледна точка на тяхната приложимост в условията на аварийния кораборемонт;
3. Изследване на екзотермични електроди за подводно електро-кислородно рязане и възможност за тяхната приложимост в условията на аварийния ремонт на кораба на вода, което се свежда до:
 - Изследване на процеса на електро-кислородното рязане, чрез методите на математическата статистика и методите за оптимизация;
 - Създаване на методика и оборудване за изследването на процеса;
 - Анализирание влиянието на факторите върху скоростта на рязане. Оптимизация на процеса и изводи.
4. Разработване на технологични препоръки за подводно електро-кислородно рязане с екзотермични електроди.

Приложение

Дисертационната работа е разработена по време на задочна докторантура във ВВМУ „Н.Й. Вапцаров”.

Основните практически приноси се отнасят до разработването на технологични препоръки за подводно рязане

по електро-кислороден способ с екзотермични електроди. Разработката ще обогати учебния материал свързан с използването на подводните технологии.

Структура и обем на дисертацията

Дисертационният труд съдържа: увод, пет глави, списък на използваната литература и приложения. Дисертацията е изложена в 158 страници основен текст, 37 страници приложения, 59 фигури и 11 таблици. Библиографията включва 140 литературни източници, от които 93 на кирилица и 47 на латиница.

Дисертационният труд е докладван и обсъждан на заседание на катедра „Кораборемонт” на ВВМУ „Н.Й. Вапцаров” – Варна.

Публикации

Основното съдържание на дисертационния труд е отразено в шест научни публикации. Списъкът на публикациите по дисертацията е даден в края на автореферата.

Кратко съдържание на дисертационния труд

ГЛАВА I

Анализиране на възможностите за повишаване ефективността на бойната експлоатация на корабите, чрез ремонт на кораба на вода

Бойната експлоатация на кораба е комплекс от организационно-технически мероприятия, обединени в непрекъснат процес, насочени към поддържането на висока техническа боеготовност на корабите през целия им цикъл на експлоатация. Тя трябва да бъде организирана и координирана

по такъв начин, че да осигури заповядания от командването количествен и качествен състав на силите с постоянна готовност. От тук произлиза и основното изискване за техническото обслужване на въоръжението и техниката, то да бъде организирано така, че корабът максимално време да е в състояние на пълна бойна готовност и минимално време в състояние, което не позволява използването му по предназначение.

В отговор на нуждите, наложени от новите условия в които се намират ВМС, се наложи приемането на някои нови документи осигуряващи по-голяма гъвкавост и адаптивност на съществуващата до сега организация. Бяха приети нов Военен стандарт „Ремонт на военни кораби”, „Правилник за организацията на ремонта на корабите и техническите средства във ВМС”, както и „Правилник за осигуряване и управление на качеството на отбранителни продукти за Министерството на отбраната и Българската армия”. Те регламентират организацията, планирането и финансирането на ремонта на корабите, въоръжението и техниката. Тези документи се позовават на българското законодателство и изискванията за качество на услугите на страните членки в НАТО.

В процеса на експлоатация на корабите могат да възникнат повреди на гребното, рулевото и други устройства, дъннозадбордна арматура. Корпусът може да претърпи бойни или навигационни повреди под действителната водолиния. Възможността за отстраняване на тези повреди без вдигане кораба на док многократно съкращава необходимото време и запазва боеспособността му. Подводният кораборемонт може да се осъществява както в акваториите на кораборемонтните предприятия, така и в автономни условия, когато кораба се

намира в отдалечени райони по всяко време на годината, в това число и в зимни условия.

Въз основа на извършения анализ в глава първа на възможностите за повишаване на ефективността на БЕК чрез ремонт на кораба на вода е установено следното:

1. Дейностите за повишаване на ефективността на БЕК, свързани с ремонта и техническата поддръжка на кораба на вода, не се покриват от съществуващите нормативни документи в нашите ВМС.

2. Установено е, че във ВМС на водещите в НАТО страни тези дейности са класифицирани в четири направления:

- Инспекция на корабните корпуси и дъннозадбордна арматура;
- Почистване подводната част на корпусите на вода;
- Поддръжка;
- Ремонт.

Успешното провеждане тези дейности в значителна степен зависи от правилната организация на работата. Операторите, трябва да са опитни водолази с достатъчно висока квалификация. Оборудването и документите регламентиращи дейността трябва да бъдат съобразени с международните изисквания (ИМСА).

От изложеното може да се заключи следното:

1. При съществуващата нормативна база, за повишаване ефективността на БЕК е необходимо да се извършат изследвания, свързани с разработване на технологии за ремонт на кораба на вода;

2. Процеса на развитие на подводните технологии позволява решаването на много задачи свързани с кораборемонта по алтернативни методи, пестейки време и ресурс. Това е особено актуално за ремонтите имащи аварияен характер и не се поддават на планиране;

3. Анализирани са дейностите по поддържане на кораба на вода, съгласно опита на водещите в НАТО страни. Проучени са регламентиращите дейността документи и тяхната приложимост в условията на ВМС на Република България;

4. Подводното рязане е неизменна съпътстваща част от ремонта на кораба на вода. Това налага изследванията да бъдат насочени към разработване на ефективни и достъпни методи за подводно рязане.

ГЛАВА II

Анализ на методите за подводно рязане

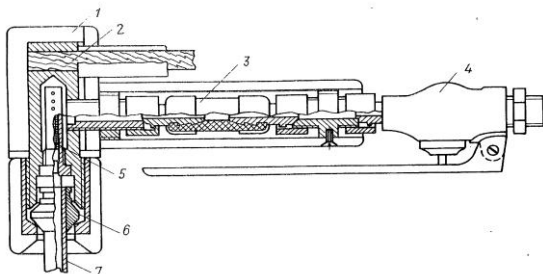
Основните подводно-технически работи с използване на рязане се изпълняват на дълбочини до 80 метра. В подводни условия се прилагат множество методи на рязане като механични, термични и взривни (кумулятивни взривове). Най-ефективните методи за подводно рязане, приложими в условията на ВМС на Р.България са групирани в пет основни групи: кислородно рязане, електродъгово рязане, плазмено рязане, рязане чрез взрив и рязане чрез водна струя със свръх налягане.

§2.1. Кислородно рязане

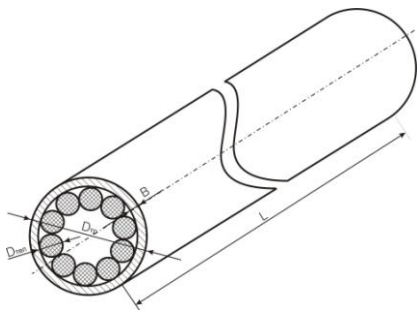
Процесът се основава на изгарянето на метала в струя от кислород и издухване на металните окиси от полосата на рязане. Анализирани са някои представители на кислородното рязане: Водородно-кислородно рязане, бензино-кислородно рязане,

рязане с кислородно копие и екзотермично рязане. Посочени са особеностите в използването на методите, както и условията за тяхното безопасно прилагане.

На фиг.2.4 и фиг.3.2 са показани принципна схема на електрододържател за екзотермично рязане и екзотермичен електрод.



Фиг.2.4 Принципна схема на елементите на електрододържател за подводно екзотермично рязане: 1- външна изолация; 2 - вход за електрокабела; 3 - изолираща муфа; 4 - кислороден клапан и лост; 5 – предпазен клапан; 6 – електродопритискащ елемент; 7 – електрод.



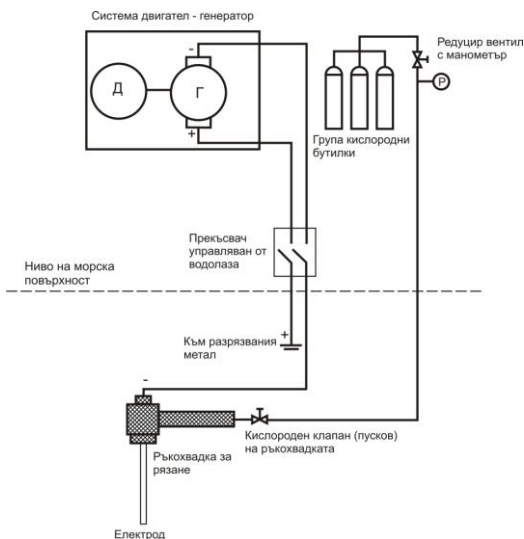
Фиг.3.2 Схема на екзотермичен електрод за подводно електро-кислородно рязане. $D_{тр}$ -външен диаметър на тръбата; $D_{тел}$ - диаметър на електродния тел; B -дебелина на стената; L - дължина на електрода.

Това екзотермично рязане е вид кислородно рязане със специални тръбни електроди, които изгарят със силна

екзотермична химическа реакция. Образувашката се плазма с температура 5500 C° осигурява необходимата температура за рязане не само на всички метали, но и на бетон и композитни материали.

На фиг.2.6 е показано стандартно оборудване необходимо за прилагане на електро-кислородно рязане под вода, включваща захранващ токоизточник (за прав ток), група кислородни бутилки, дистанционно управляем прекъсвач и специален хидро и електроизолиран електрододържател.

Методът е характерен с просто и непретенциозно оборудване, достъпна техника на прилагане, както и с възможност да се използва за всякакви материали и повърхности. Използването му без подаване на електрически ток дава допълнителна свобода в приложенията му.



Фиг.2.6 Стандартна уредба за подводно електро-кислородно рязане

§2.2. Електро-дъгово рязане

Подводното електро-дъгово рязане се отличава от подводното електро-дъгово заваряване с повишените стойности на силата на заваръчния ток и способите на използване. Поради тази причина електро-дъговото рязане е под вода може да се изпълнява със същото оборудване. Целесъобразно е използването на постоянен ток с права полярност, като по този начин се осигурява отделяне на по - голямо количество топлина в мястото на рязане.

За рязане под вода е ефективно да се използват специализирани полуавтомати с използване на тръбно флюсови телове, а за източник на захранване - палубен заваръчен преобразувател или заваръчен изправител. Оптимална, за рязането с ТФТ, дебелина на метала е 10÷20 mm. В този случай налягането на газовия поток и дъгата са достатъчни за продухването на полосата на среза от метални остатъци. При по-голяма дебелина, с цел разпределение на топлинната енергия на дъгата по цялата режещата повърхност, са необходими възвратно-постъпателни движения на електрода.

Рязането по този метод на метали с дебелина под 5 mm. е малко ефективно поради честото излизане на телта от прореза.

§2.3. Плазмено рязане

За плазмено-дъгово рязане са разработени специални уредби, осигуряващи рязане в сладка и солена вода. Плазмено рязане е за метал с дебелина 8÷40 mm. На дълбочина до 10 m, се извършва при сила на тока от 200 А до 600 А и напрежение на електрическата дъга 120÷140 V със скорост от 5÷24 m/h

Прилагането на плазмотрон с циркониев катод, позволява използването на стъстен въздух, който повишава топлинната мощност на електрическата дъга и подобрява нейните режещи способности. Присъствието на кислород във въздуха повишава ефективността на рязането на корабостроителни стомани. Технологията на подводно въздушно-плазменото рязане се отличава с висока производителност и икономичност.

На дълбочини 7÷10 m средната скорост на рязане на стомана с дебелина 15 mm е 20 m/h т.е. от порядъка на високите скорости на електро-кислородното рязане, което не е маловажно отчитайки ограниченото време за пребиваване на водолаза под вода.

Ограничаващ фактор към пълното внедряване на плазменото рязане е осигуряване на безопасна експлоатация на електрооборудването и сравнително бързо износване на дюзата. Алтернативен метод, изключващ споменатите недостатъци е подводното плазмено рязане с фокусирана водна струя. Същността му се състои в използването на МИГ процес, при който защитния газ е заменен с водна струя.

§2.4. Рязане чрез взрив

Подводното взривно рязане се прилага при строителство, ремонт и демонтаж на морски стационарни платформи, естакади, тръбопроводи, за изрязване на люкове, при повдигане на разделени корабни отпадъци, както и при други подводно технически операции.

Техническите средства за подводно рязане с взрив представляват комутативни заряди профилирани по формата на разрязваната повърхност със защитна конструкция и

специални устройства за допълнително гасене на ударната вълна.

§2.5. Рязане чрез водна струя със свръх налягане

Характерно за процеса е високата точност, което обуславя използването му в производството на машинни елементи, инструменти, космически технологии и други области на машиностроенето. Предпочитан е за материали, чувствителни към високата температура генерирана от останалите методи.

При оценка на техническите методи за подводно рязане е необходимо да се отчитат три основни критерия: производителност, качество и приложимост.

След сравнителен анализ на разгледаните методи за подводно рязане, от гледна точка на тяхната приложимост в условията на аварийния кораборемонт може да се направят следните изводи:

1. Подводното плазмено рязане има най-висока производителност, но практическото му приложение се ограничава от необходимите високи стойности на напрежението, надвишаващи безопасните водолазни норми. Сложна апаратура с недостатъчна мобилност и портативност.

2. Подводното плазмено рязане с фокусирана водна струя притежава висока производителност, осигурява се от ниско напрежение, но има високи изисквания към оператора водолаз за равномерно водене на резача;

3. Електро-дъговото рязане се осигурява от сравнително проста (стандартна) апаратура, няма високи изисквания към водолаза оператор, но има ниска

производителност. Същите изводи може да се отнесат и към газопламъчното рязане.

4. Най-достъпен и приложим в условията на аварийния кораборемонт е електро-кислородния метод. Отличава се със своята автономност, простота на осигуряващата апаратура и достъпна приложимост.

ГЛАВА III

Методика за изследване на процеса на подводно електро-кислородно рязане с екзотермични електроди

Изследванията във глава втора показват, че най-ефективен в условията на аварийния кораборемонт е метода на подводното електро-кислородно рязане с екзотермични електроди.

В процеса на изследване на подводното електро-кислородно рязане от особено важно значение е да бъдат избрани онези параметри на режима, осигуряващи безпроблемното му и ефективно прилагане в конкретни условия на работа. Големият им брой създава трудности при оценяване на тяхната роля върху протичането на процеса.

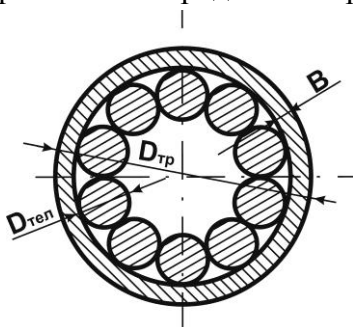
Класически подход при такъв тип задачи е използването на подходящ математичен модел.

§3.1. Избор на главни променливи (фактори) за моделиране на процеса

Разгледани са три основни групи фактори характеризиращи процеса на електро-кислородното рязане: фактори характеризиращи конструктивните параметри на електродите, фактори характеризиращи химическия състав на

използвания електроден тел и фактори характеризиращи енергетичната уредба и осигуряващи процеса на рязане.

Факторите характеризиращи конструктивните параметри на електродите са: $D_{тр}$ - външен диаметър на тръбата. $D_{тел}$ - диаметър на електродните телове, B - дебелина на стената и L - дължина на електрода. На фиг.3.2' е показано сечение на екзотермичен електрод за електро-кислородно рязане



Фиг 3.2' Сечение на екзотермичен електрод за електро-кислородно рязане

Като обобщаващ фактор, характеризиращ конструктивните параметри на електродите се явява коефициентът на пълнота (k) – сечението през което преминава кислорода.

След провеждане на предварителни експерименти е уточнена оптималната конструкция на електрода ($D_{тр}$, $D_{тел}$, B , L), характеризираща от една страна лесна и икономически изгодна изработка и от друга страна осигуряваща стабилно горене на електрода без загасвания по времетраенето на целия процес. Вземайки тези стойности на параметрите, характеризиращи конструктивните особености на електрода ($D_{тр}=10$, $D_{тел}=2.5$, $B=0.8$, $L=500$), параметъра k остава непроменен по време на целия експеримент ($k=21.04=const.$).

Като главни променливи фактори, определящи еднозначно процеса са избрани:

- Въглеродния еквивалент на използвания стоманен електроден тел $C_{\text{екв.}}(\%)$. За целта на изследването са избрани електродни телове с въглеродни еквиваленти 0.32%, 0.38%, 0.44% със стъпка на промяна на въглеродния еквивалент по между им 0.06%;

- Налягането на подавания кислород $P(\text{MPa})$. След предварително проведени експерименти са избрани следните нива на промяна на налягането на кислорода: ниско ниво - 0.55 MPa, средно ниво – 0.6 MPa и високо ниво – 0.65 MPa, със стъпка на промяна по между им ± 0.05 MPa;

- силата на електрическия ток. За целите на експеримента са избрани стойности на тока: 150 A, 200 A, 250 A, със стъпка на промяна по между им ± 50 A.

§3.2. Избор на план на експеримента и структура на модела

Съображенията по избирането на плана на експеримента са свързани с броя на изследваните фактори и изпълнението на технологични режими, даващи максимална информация за процеса на подводното електро-кислородно рязане при възможно най-малко на брой проведени опити.

Изборният алгоритъм включва два етапа. Реализиране на план пълен фактурен експеримент. Изпълняват се всички етапи по проверка на възпроизводимост на експеримента (при необходимост), определяне на коефициентите на модела и проверка на тяхната значимост както и проверка на адекватност на математическото описание. При положителни резултати, изследването приключва с анализ на модела. При отрицателен резултат следва усложняване на модела, което означава

допълване на плана с нови експериментални точки, без да се отхвърлят реализирани вече експерименти.

Най-общия вид на структурата на регресионното уравнение за използвания план на експеримента има следния вид:

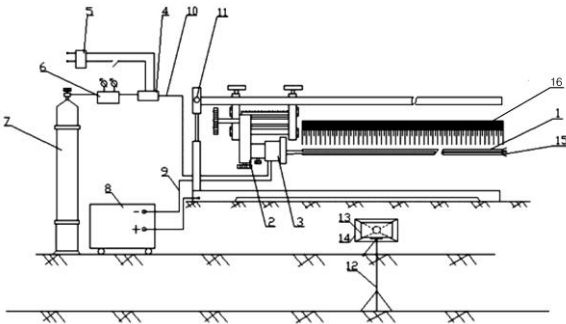
$$y_u = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (3.6)$$

§3.3 Провеждане на експеримента

С цел изясняване влиянието на факторите върху режима на подводното рязане са проведени два типа експерименти:

- Промяна на налягането на кислорода Р (МРа) и химически състав на електродният тел ($C_{ЕКЕ}$);
- Промяна на налягане на кислорода Р (МРа), химически състав на електродният тел ($C_{ЕКЕ}$) и силата на електрическия ток I (А).

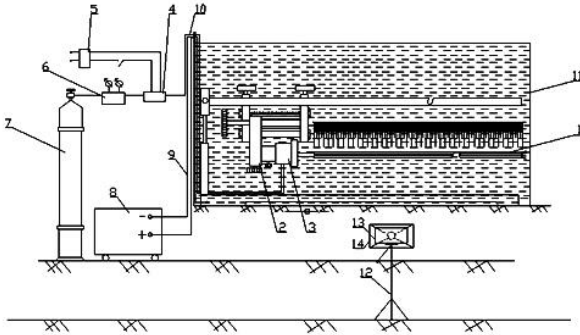
За да се изпълнят изискванията на технологичния процес е разработено оборудване за опитна уредба, показана на фиг.3.3,



Фиг.3.3

Технологична схема на експеримента за определяне скоростта на горене на екзотермичен електрод на въздух

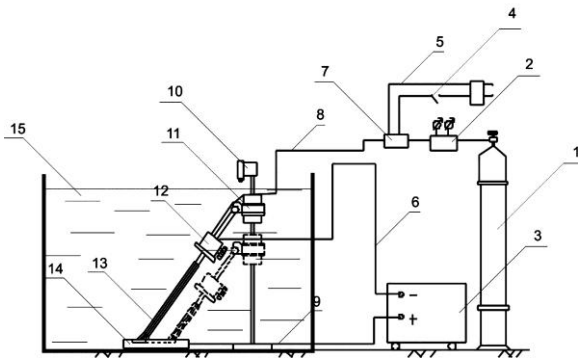
1 -електрод; 2 –механизъм за придвижване на електрода; 3 – глава за захващане на електрода; 4 –електромагнитен клапан; 5 –захранващ трансформатор; 6 –редуцир вентил; 7 –бутилка за кислород; 8 – източник на ток; 9 – токоподаващи проводници; 10 – маркуч за кислород; 11 –метална стойка; 12- статив; 13- фотокамера; 14 филтър; 15 –пламък; 16- еталон за разстояние



Фиг.3.4

Технологична схема на експеримента за определяне скоростта на горене на екзотермичен електрод във водна среда

1 - електрод; 2 – механизъм за придвижване на електрода; 3 – глава за захващане на електрода; 4 – електромагнитен клапан; 5 – захранващ трансформатор; 6 – редуцир вентил; 7 – бутилка за кислород; 8 – източник на ток; 9 – токоподаващи проводници; 10 – маркуч за кислород; 11 – аквариум пълен с вода; 12- статив; 13 - фотокамера; 14 - филтър.



Фиг.3.5

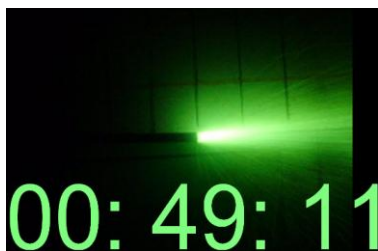
Технологична схема на експеримента за определяне скоростта на рязане на екзотермичен електрод под вода

1-кислородна бутилка; 2-редуцир вентил; 3-заваръчен апарат; 4-прекъсвач; 5-ел. проводници; 6,9-силиви кабели на заваръчния апарат; 7-електромагнитен клапан; 8-кислороден маркуч; 10-приспособление за автоматично гравитационно рязане; 11-плъзгач на гравитационната уредба; 12-глава за електро-кислородно рязане; 13-екзотермичен електрод за електро-кислородно рязане; 14-стоманена планка 09Г2; 15-аквариум.

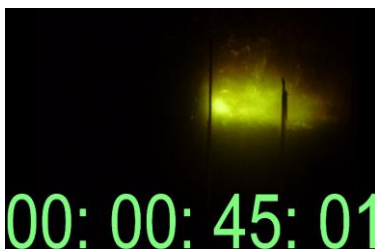
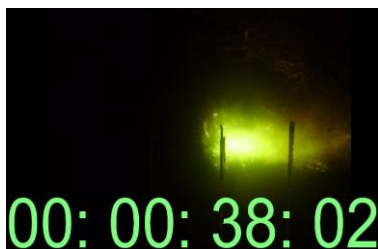
Методиката за изследване на процеса на подводното електро-кислородно рязане с екзотермични електроди включва следните етапи: определяне скоростта на горене на електроди за електро-кислородно рязане във въздушна среда, определяне скоростта на горене на електроди за електро-кислородно рязане във водна среда и определяне скоростта на рязане под вода на екзотермични електроди по електро-кислороден способ.

Определянето на съответните скорости става след запис на конкретния процес със специално подготвена за целта видеокамера с последваща обработка на видеоматериала.

На фиг.3.6 и фиг.3.7 са показани моментни снимки от процесите на горене на електрода във въздушна и водна среда.

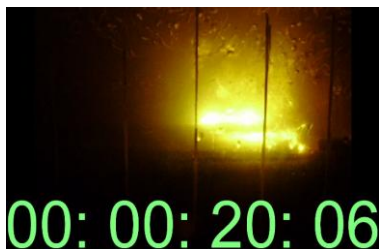


Фиг.3.6 Горене на електрод за подводно електро-кислородно рязане във въздушна среда. Начало и край на отчитане.



Фиг.3.7 Горене на електрод за подводно електро-кислородно рязане във водна среда. Начало и край на отчитане.

На фиг.3.8 са фотографирани моменти от процеса на подводно рязане на корабостроителна стомана по електро-кислороден способ в различни интервали от време:



Фиг.3.8 Подводно рязане на корабостроителна стомана по електро-кислороден способ. Начало и край на отчитане.

Въз основа на изложеното в глава трета може да се направят следните изводи:

1. Създадена е методика за изследване и подходящ за целта алгоритъм за приложението и. Формирана е целевата функция, избрани са факторите, диапазона на тяхното изменение и измерване.
2. Конструирана е и реализирана уредба за експерименталното изследване и процедура за провеждане на експериментите.
3. Избран е план на експеримента.
4. Систематизирани са основните подходи по прилагане на резултатите от експерименталните изследвания при решаване на задачата за оптимизация.

ГЛАВА IV

Анализ на експерименталните резултати и определяне на оптималните параметри

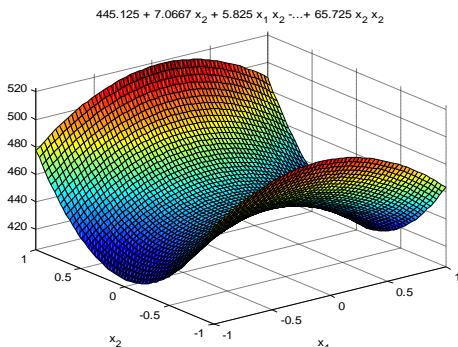
Установена е зависимостта на скоростта на горене и скоростта на рязане от избраните фактори: Въглероден еквивалент на електродния тел, налягането на кислорода и силата на електрическия ток.

§4.1. Изследване на зависимостта на скоростта на горене на електрод за електро-кислородно рязане от въглеродния му еквивалент (Секв,%) и налягането на кислорода (Р,МРа) във водна среда

След пресмятане на коефициентите на регресионното уравнение, определяне на тяхната значимост и проверка за адекватност, модела описващ процеса на горене на екзотермичен електрод във въздушна среда придобива следния вид

$$y=445.125 + 7.0667x_2 + 5.825x_1x_2 - 34.625x_1^2 + 65.725x_2^2 \quad (4.20)$$

На фиг.4.3 е дадено тримерно изображение на зависимостта на скоростта на горене на електрод за електро-кислородно рязане от кодираните стойности на факторите x_1 и x_2 . (въглероден еквивалент на електродния тел Секв,% и налягане на кислорода Р,МРа)



фиг.4.3

*Зависимост на
скоростта на горене на
електрода от $C_{екв}$ и
налягането на кислорода
във водна среда*

След решаване на оптимизационната задача и като се отчетат кодиращите уравнения, за оптимални стойности на двата фактора и функцията се получават следните стойности

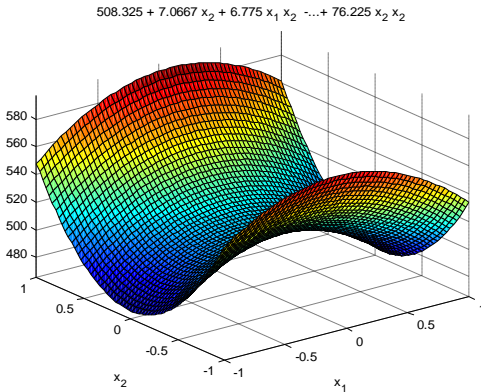
$X_{1opt} = 0,3744\%$; $X_{2opt} = 0,5441$ МРа; $y_{opt} = 519,8123$ mm/min.

§4.2. Изследване на зависимостта на скоростта на горене на електрод за електро-кислородно рязане от въглеродния му еквивалент (Секв,%) и налягането на кислорода (Р,МРа) във въздушна среда

Следвайки описания алгоритъм, окончателния вид на получения модел, описващ процеса на горене на електрод за електро-кислородно рязане е

$$y = 508,325 + 7,0667x_2 + 6,775x_1x_2 - 36,825x_1^2 + 76,225x_2^2 \quad (4.34)$$

На фиг.4.5 е дадено тримерно изображение на зависимостта скорост на горене на електрод за електро-кислородно рязане от кодираните стойности на факторите x_1 и x_2 . (въглероден еквивалент на електродния тел Секв,% и налягане на кислорода Р,МРа).



фиг.4.5

Зависимост на скоростта на горене на електрода от $C_{екв}$ и налягането на кислорода във въздушна среда

Оптималните стойности на естествените фактори и функцията са

$X_{1opt} = 0,385 \%$; $X_{2opt} = 0,65 \text{ MPa}$; $y_{opt} = 591,93 \text{ mm/min}$.

§4.3. Моделиране на процеса на рязане на корабостроителна стомана по електро-кислороден способ. Изследване на зависимостта на скоростта на рязане от въглеродния еквивалент на метала на електрода Секв(%), налягането на кислорода P(MPa) и силата на електрическия ток I(A)

При спазване на горния алгоритъм моделът на зависимостта на скоростта на рязане (y) от въглеродния еквивалент на метала на електрода x_1 , Секв(%), налягането на кислорода x_2 , P(MPa) и силата на електрическия ток x_3 I(A) е

$$y = 317.2062 - 10.96x_1 + 10.17x_2 - 13.2562x_1^2 + 13.9938x_2^2 + 10.2938x_3^2$$

Направените изследвания с модела дават основание за оптимални стойности на кодираните фактори да се приемат:

$x_{1opt} = -0.4143$; $x_{2opt} = 1$ и $x_{3opt} = 1$ и стойност на $y = 353,9292$

Като се използват нормиращите уравнения, оптималните стойности на реалните фактори са

$X_1 = 0,355$ % Секв., $X_2 = 0,65$ Мра, $X_3 = 250$ А, с които се получава скорост на рязане на метала $V_p = 353,9292$ mm/min.

Изводи от четвърта глава

1. Получени са три модела, свързани с определяне на оптимални технологични режими на подводното електро-кислородно рязане с екзотермични електроди. При оценяването качествата на същите са използвани два критерия: На Фишер и коефициента на множествена корелация.

2. Направено е математическо описание на процеса на горене на екзотермичен електрод във водна и въздушна среда при вариране на следните фактори: въглероден еквивалент (Секв, %) и налягане на кислорода (P, МРа). Получени са следните оптимални стойности. Във водна среда: Секв=0.3744%. P=0.5441МРа осигуряващи $V_r = 519.8$ mm/min; Във въздушна среда: Секв=0.385%, P=0.65МРа и $V_r = 591.9$ mm/min.

3. Получен е математичен модел, който дава зависимостта на скоростта на рязане, на корабостроителна стомана във водна среда по електро-кислороден способ, от въглеродния еквивалент на електродната тел (Секв, %), налягането на кислорода (P, МРа) и силата на тока (А, А). На негова база са намерени следните оптималните стойности, осигуряващи максимална производителност (скорост на рязане): Секв=0.355%, P=0.65МРа, I=250А и $V_p = 353.9$ mm/min.

ГЛАВА V

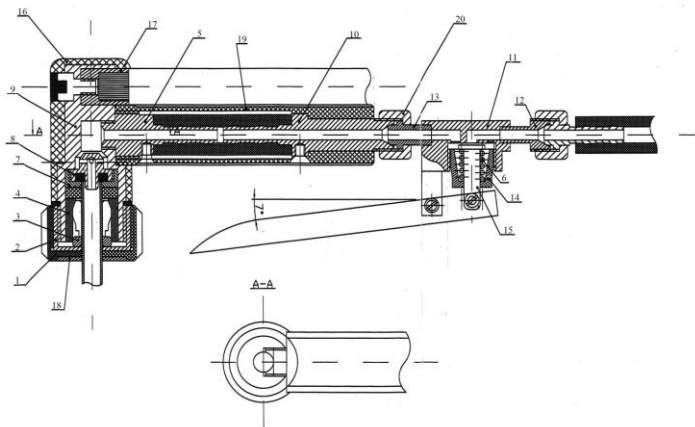
Технологични препоръки за подводно рязане по електро-кислороден способ с екзотермични електроди

Изследването на подводното електро-кислородно рязане определи енергетичните и технологични параметри на рязането под вода на използваните във ВМС корабостроителни стомани. Това дава възможност да се изработи апаратура и технологични препоръки, посредством които да се осъществи неговото внедряване в ремонта на корабите на вода.

Експерименталните изследвания показват, че подводното електро-кислородно рязане с екзотермичен електрод не се влияе от химическия състав на разрязвания метал и с него еднакво добре се режат легирани и ниско въглеродни стомани, чугун и цветни метали.

Уредбата се състои от елементи описани по-горе (фиг.2.4).

На фиг.5.2 е показана горелка за подводно електро-кислородно рязане.



Фиг.5.2 Горелка за подводно електро-кислородно рязане

Разработени са няколко варианта на горелки, при проектирането на които са спазени следните изисквания: горелката да осигури надеждно херметични закрепване на тръбния електрод, подаване на кислород управлявано от оператора, възможност за бърза смяна на електрода, добра изолация изключваща токове на утечка и не на последно място лека и удобна работа.

Използваните инструменти са стандартни прилагани от водолаза за почистване и обработване на метални повърхности, приспособления за измерване и снемане на шаблони. Към помощните приспособления са необходими: потопяема беседка за осигуряване на стабилността на водолаза, надеждни осветителни средства, задължителна комуникационна линия между водолаза и повърхността, средства за подобряване на видимостта при мътна вода и други.

Относно водолазната екипировка основните изисквания са тя да бъде с подаване на въздух от повърхността (изцяло суха екипировка, костюм и ръкавици) – водолазен шлем (например тип КМ 27), наличието на постоянна аудио връзка, станция за подаване на въздух и комуникации, отговарящи на международните стандарти (ИМСА).

Организацията на водолазната работа е съгласно изискванията на „Правилника за водолазна служба” и международните стандарти (ИМСА).

В резултат на изследването на процеса на подводното електро-кислородно рязане с екзотермичен електрод могат да бъдат направени следните препоръки. Електродите с размер Ф8 (EP-1, EP-2), следва да се използват за рязане на стомана с дебелина до 7 mm от гледна точка на максимална икономия на електроди при рязането. Тези електроди правят сравнително

тесен разрез и са за предпочитане при по-прецизно рязане. Въпреки това, при лоша видимост и по-дебели материали, електродите с размер $\Phi 10$ (EP-3) дават по-висока производителност и са предпочитани. Същите могат да се използват за рязане на стомана с дебелина до 25 mm.

В таблица 5.1 са показани данни за производителността на някои електроди в зависимост от дебелината на разрязвания метал. Варирането на данните зависи от квалификацията на водолаза оператор.

Т.5.1. Данни за електродите в процеса на рязане

Електрод	Дебелина на разрязвания метал, mm	Дължина на разреза, mm
EP-1 ($\Phi 8$)	7	500-600
	12	250-350
EP-3 ($\Phi 10$)	12	300-500
	25	200-350

Препоръчват се следните технологични режими, показани в таблица 5.2, в зависимост от дебелината на разрязвания метал.

Т.5.2. Режимни параметри при подводно електро кислородно рязане

Електрод	Сила на тока, I	Налягане на кислорода, MPa	Дебелина на разрязвания метал, mm
EP-1 ($\Phi 8$)	250	0.65	7÷12
EP-3 ($\Phi 10$)	250	0.65	12÷25

Корекциите на налягането на кислорода в зависимост от дълбочината са показани в таблици 5.3 и 5.4

т.5.3 Кorigирани стойности на налягането в зависимост от дълбочината на работа и дължината на кислородните маркучи на базово налягане 0,65 МРа

Дължина на кислородния шланг – 15 м.		Дължина на кислородния шланг – 30 м	
Дълбочина на работа, м.	Кorigирани стойности, МРа	Дълбочина на работа, м.	Кorigирани стойности, МРа
0	0,65	3	0,68
3	0,68	6	0,71
6	0,71	9	0,75
9	0,74	12	0,77
12	0,77	15	0,81
15	0,80	18	0,84
		21	0,87
		24	0,90
		27	0,93
		30	0,96

т.5.4 Кorigирани стойности на налягането в зависимост от дълбочината на работа и дължината на кислородните маркучи на базово налягане 0,65 МРа

Дължина на кислородния шланг – 45 м		Дължина на кислородния шланг – 60 м	
Дълбочина на работа, м.	Кorigирани стойности, МРа	Дълбочина на работа, м.	Кorigирани стойности, МРа
0	0,72	0	0,75
3	0,75	3	0,78
6	0,78	6	0,82
9	0,81	9	0,84
12	0,84	12	0,88
15	0,87	15	0,91
18	0,91	18	0,94
21	0,93	21	0,97
24	0,97	24	1,00
27	1,00	27	1,03
30	1,03	30	1,06
33	1,06	33	1,09
36	1,08	36	1,12
39	1,12	39	1,15
41	1,15	41	1,18
45	1,18	45	1,22
		48	1,24
		51	1,28
		54	1,31
		57	1,34

Дълбочина на работа, м.	Коригирани стойности, МРа	Дълбочина на работа, м.	Коригирани стойности, МРа
		60	1,37

Изследваните електроди са намерили практическо приложение в дейността на българските водолазни фирми. Една от водещите в региона фирми „Хидроремонт ИГ” – гр. Варна успешно прилага електро-кислородното рязане в дейността си.

Изводи от глава пета

1. Разработени са технологични препоръки за подобряване на подводното електро-кислородно рязане с екзотермични електроди:

- Формирани са технологичните изисквания;
- Посочени са изискванията към обработваните материали, като в случая е на лице възможност за рязане на легирани и ниско въглеродни стомани, чугун и цветни метали;
- Методът използва стандартна заваръчна апаратура и инструменти, изпълняващи изискванията за работа във водна среда.

2. Технологичните режими получени в резултат на изследването са основни технологични параметри за подводно електро-кислородно рязане:

- Посочени са електроди с оптимален състав;
- Оптималните стойности на налягането и силата на тока са съответно: 0.65 МРа и 250 А;
- Предложени са корекции на стойностите на налягането на кислорода в зависимост от

дълбочината на работа и дължината на кислородната магистрала.

3. Анализирани са опита на българските водолазни фирми в използването на изследваните електроди.

Приноси от дисертационната работа

А. Научни приноси

Б. Научно приложни приноси

1. Адаптиран е опита на водещите в НАТО страни по организацията на бойната експлоатация на корабите към условията на ВМС на Р. България.
2. Моделиран е процеса на подводно рязане по електро-кислороден способ. Създадена е методика на изследване и подходящ за целта алгоритъм на приложение. Конструирана е специална установка за провеждане на експериментите.
3. Определени са оптималните стойности на факторите (въглероден еквивалент на електродния тел, налягане на кислорода, сила на електрическия ток), осигуряващи максимална производителност на рязането. Оптималните стойности на факторите са: $C_{\text{екв}}=0.355\%$, $P=0.65 \text{ MPa}$, $I=250 \text{ A}$ и $V_p=353.9 \text{ mm/min}$

В. Приложни приноси

1. Формулирани са технологични препоръки за повишаване ефективността на подводното електро-кислородно рязане с екзотермични електроди:
 - Създадени са електроди за рязане на материали (метали и неметали) във въздушни и подводни условия;

- Уточнени са технологичните характеристики и препоръчителни режими за рязане във въздушни и подводни условия на материалите;
 - Дадени са стойности на налягането на кислорода в зависимост от работната дълбочина и дължината на магистралата за кислород.
2. Изследваните електроди са внедрени в дейността на български водолазни фирми, като някои от тях са: „Хидроремонт ИГ” гр. Варна, „Водолаз 1” ЕООД – гр.Варна, „Галеон-Водолазна дейност” ЕООД – гр. Видин, „Marine diving service” ООД гр. Варна, “Елкомерс” ООД – гр. Варна.

Списък на публикациите по темата на дисертационната работа:

1. Христов Х.В., Москов Ю., Оптимизация на организацията на кораборемонта при „Бойната експлоатация на кораба”, Морски научен форум, том 3 „Корабна енергетика. Механика. Кораборемонт”, ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна, 2011 с.215
2. Люцканов Г., Дичев П., Христов Х., Оценка на заваряемостта на нисковъглеродни нисколегирани стомани, Морски научен форум, том 3 „Корабна енергетика. Механика. Кораборемонт”, ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна, 2011 с.219
3. Христов Х.В., Люцканов Г., Обзор на методите за подводно рязане на металите, Морски научен форум, том 3 „Корабна енергетика. Механика. Кораборемонт”, ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна, 2011 с.210
4. Дичев П.Д., Христов Х.В., Лаборатория за заваряване и рязане на корабни корпусни конструкции и морски съоръжения, Годишник, том 2, ТУ – Варна, 2010
5. Дичев П.Д. Христов Х.В., Определяне скоростта на горене на електроди за електро-кислородно рязане, Трети международен научен конгрес, 50 г. ТУ – Варна, 4÷6 Октомври, Варна, 2012, с.81÷86
6. Христов Х.В., Методика за определяне на скоростта на рязане под вода на електроди за електро-кислородно рязане, Научни трудове на ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, бр.30,2012, ISSN 1312-0867, Варна, 2012