

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»
(ННТУ «МИСиС»)

Ленинский проспект, 4, Москва, 119049
Тел. (495) 955-00-32; Факс: (499) 236-21-05
<http://www.misis.ru>
E-mail: kancela@misis.ru
ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749
ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
ННТУ «МИСиС»

М.Р. Филонов

2019 г.



№

На №

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Парменовой Ольги Николаевны
на тему: «Стойкость к питтинговой и щелевой коррозии нержавеющей сталей
аустенитного класса в морской воде»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение)

Развитие судостроения и освоение арктического шельфа требует применения материалов коррозионностойких в морских условиях. В первую очередь это относится к нержавеющей сталям аустенитного класса, включая азотсодержащие. К настоящему времени структура и механические свойства таких материалов достаточно хорошо изучены, разработаны способы получения сталей с различной концентрацией азота вплоть до сверхравновесного его содержания. Экспериментально показано положительное влияние азота не только на упрочнение и стабилизацию аустенита, но и на повышение коррозионной стойкости. Это нашло свое отражение в формуле расчета эквивалента питтингостойкости PRE. Исходя из возможности обеспечения высокой сопротивляемости сталей агрессивному воздействию морской воды за счет увеличения уровня PRE путем введения большого количества азота, часто предлагается использование высокомарганцевых нержавеющей сталей и отказ от легирования никелем, т.к. марганец повышает, а никель снижает растворимость азота в стали. Однако практический опыт эксплуатации свидетельствует об обратном: хромомарганцевые стали менее коррозионностойки по сравнению с хромоникелевыми.

Применительно к морским условиям правильный выбор нержавеющей сталей с различным соотношением аустенитообразующих элементов, и, следовательно, с разной устойчивостью аустенита к фазовым превращениям затруднен вследствие недостаточной исследованности влияния структурно-фазового состава (наличия мартенсита деформации и высокотемпературного δ -феррита, степени сенсibilизации) на сопротивляемость питтинговой и щелевой коррозии. Кроме того, не изучен вопрос возможности получения азотсодержащих сталей методом селективного лазерного сплавления и формирования коррозионных свойств синтезированных таким способом материалов.

В связи с этим исследования стойкости к питтинговой и щелевой коррозии, проведенные Парменовой Ольгой Николаевной и направленные на определение рациональных концентраций никеля, марганца и азота, предельного содержания ферритной и мартенситной фаз, выявление особенностей коррозионного разрушения аддитивных сталей являются важными и актуальными.

Кувакин институт		
ЦНИИ КМ «Прометей»		
Вх. № 3421	в ДЕЛО	
«04» 12 2019 г.	№	
Осн. 5 л.		

Диссертационная работа изложена на 185 страницах, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 194 источников и двух приложений (актов внедрения). Главы со второй по пятую имеют собственные выводы, а заключением к первой главе служит постановка задачи.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель работы, научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы результаты исследований отечественных и зарубежных ученых по теме диссертации, изложенные в 194 научных публикациях. На основании проведенного анализа сформулированы цель и основные задачи работы.

Во второй главе наряду с традиционным описанием выбранных материалов и методов исследования их свойств представлены результаты изучения структурного состояния сталей, сформированного при варьировании содержания аустенитообразующих элементов, термической обработки, холодной пластической деформации, обработке поверхности.

В качестве объектов исследования в работе использованы как известные марки безазотистых хромоникелевых и азотсодержащих хромоникельмарганцевых нержавеющей сталей, полученных традиционным металлургическим способом в заводских условиях, так и опытные сплавы, специально изготовленные в условиях научно-производственного экспериментального комплекса НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» и содержащие различное количество аустенитообразующих элементов, в том числе сплав со сверхравновесным содержанием азота. Варьирование концентраций никеля, марганца и азота в широком интервале значений позволило автору получить стали с разной долей ферритной фазы и различной стабильностью аустенита к мартенситному превращению при холодной пластической деформации. При этом были рассмотрены разные исходные состояния и их влияние на изменения структурно-фазового состава при холодной пластической деформации.

Кроме того во второй главе описаны собственные разработки методик испытаний на питтинговую и щелевую коррозию: две методики проведения ускоренных лабораторных испытаний и одна методика для натурных испытаний образцов в природной морской воде.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований стойкости к питтинговой и щелевой коррозии нержавеющей аустенитных сталей, получаемых традиционными металлургическими методами. Подробно рассмотрено раздельное и совместное влияние различных факторов: структурно-фазового состава (наличие и количество δ -феррита, мартенсита деформации), собственно легирования, деформационной структуры, шероховатости поверхности. Показано, что для обеспечения повышенной стойкости к питтинговой и щелевой коррозии нержавеющей хромомарганцевых, в том числе с повышенным содержанием азота, сталей необходимо их легирование ~ 7 % никеля и ограничение содержания δ -феррита не более 5%.

Интересные научные результаты получены при исследовании коррозионной стойкости холоднодеформированных сталей. Впервые показано, что зависимость скорости питтинговой коррозии стабильной аустенитной азотсодержащей стали от степени холодной деформации имеет минимум (в данных условиях при обжате на 37 %). С помощью EBSD-анализа полученный эффект повышения питтингостойкости объяснен разворотом зерен плотноупакованной плоскостью параллельно рабочей поверхности образца, кристаллографической зависимостью сопротивления коррозии.

В третьей главе приведены также экспериментальные данные по коррозионной стойкости аустенитных сталей в зависимости от степени сенсibilизации, количества неметаллических включений, шероховатости поверхности, которые имеют важное прикладное значение.

В четвертой главе приведены интересные в научном и прикладном отношении результаты изучения коррозионных свойств трех марок нержавеющей аустенитных сталей, изготовленных новым, развивающимся в последнее время методом селективного лазерного сплавления (СЛС), в т.ч. из специально распыленного порошка азотсодержащей стали. Автором экспериментально показано, что характер развития питтинговой коррозии различается в

зависимости от состояния СЛС-материала. В исходном состоянии после сплавления большое значение имеет формирование дважды переплавленного слоя окантовки образца. После механической обработки коррозионная стойкость в значительной степени определяется количеством пор. В целом, показано, что беспористое СЛС-изделие из нержавеющей стали в аустенитизированном состоянии с низкой шероховатостью поверхности после механической обработки может соответствовать уровню сопротивляемости питтинговой коррозии материала, изготавливаемого традиционными металлургическими способами.

На основании изучения влияния особенностей строения СЛС-образцов на коррозионную стойкость автором предложены достаточно логичные конкретные механизмы локальной коррозии, что можно отнести к **научной новизне** работы.

Пятая глава является обобщающей, в ней выполнен сравнительный анализ результатов коррозионных испытаний, представленных в третьей и четвертой главах. Так из сравнения данных, полученных при использовании двух методик ускоренных коррозионных испытаний, автором предложен порядок их проведения и температурно-временные условия выполнения в зависимости от степени легированности хромом, молибденом и азотом. Следует также выделить важность получения корреляционной зависимости, связывающей значения глубины питтинговой коррозии при ускоренных лабораторных и длительных натурных испытаниях в Черном море.

При сопоставлении коррозионной стойкости всех исследуемых вариантов сталей, испытанных в одинаковых условиях, определена степень влияния факторов структурно-фазового состава. Также выполнена сравнительная оценка питтингостойкости нержавеющей сталей, полученных традиционными металлургическими технологиями и методом селективного лазерного сплавления.

В итоге автором разработаны рекомендации по выбору нержавеющей аустенитных сталей для эксплуатации в морской воде, согласно которым необходимо ориентироваться на значение индекса питтингостойкости с обязательным учетом содержания никеля и структурно-фазового состояния стали (наличия ферритной и мартенситной фаз, деформационной структуры, вторичных фаз и сенсibilизации), а также качества поверхности и особенностей строения материалов, изготовленных методом селективного лазерного сплавления.

В заключении диссертационной работы по результатам проведенных исследований автор сформулировала основные выводы, отвечающие на все поставленные задачи.

Практическая значимость работы также не вызывает сомнений и заключается в разработке подхода, позволяющего проводить выбор нержавеющей сталей аустенитного класса по параметру стойкости к питтинговой и щелевой коррозии в морской воде.

С практической точки зрения также очень важно, что разработанные в работе и выпущенные в виде нормативно-технической документации (Руководящих документов) методики коррозионных испытаний внедрены в практику проведения сдаточных и аттестационных испытаний нержавеющей сталей в Испытательной лаборатории конструкционных материалов «ПРОМТЕСТ КМ», аккредитованной в Российском морском регистре судоходства. Методики также опробованы в ТК «ОМЗ-НИЦ «Ижора» (г. Санкт-Петербург, Колпино) и на 13-м судоремонтном заводе Черноморского флота Министерства обороны РФ (г. Севастополь). В работе представлены акты внедрения методик на данных предприятиях.

Достоверность и надежность полученных в работе результатов обеспечивается применением современных исследовательских методов и оборудования, а также большим объемом экспериментальных данных, согласованностью результатов, полученных разными методами и непротиворечивостью выводов.

Личное участие автора в получении научных результатов диссертации заключается в формулировке задач и тщательном проведении лабораторных экспериментов, корректном сопоставлении результатов коррозионных испытаний с особенностями строения нержавеющей сталей, полученных методом селективного лазерного сплавления. Отмечено, что часть результатов по влиянию аустенитообразующих элементов и структурно-фазового состава

азотсодержащих сталей на стойкость к локальной коррозии получена совместно с научным руководителем.

Основные положения работы широко представлены и обсуждены на отечественных и международных научных конференциях. По результатам диссертации опубликовано 19 работ, из них 4 – в журналах, рекомендуемых перечнем ВАК РФ, в т.ч. 2 статьи изданы на английском языке и индексируются в БД SCOPUS. Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание, новизну и выводы работы.

Рекомендации по дальнейшему использованию.

Полученные научные результаты и практические рекомендации диссертационной работы могут быть использованы при разработке новых композиций легирования азотсодержащих хромомарганцевоникелевых коррозионностойких сталей и технологии холодной пластической деформации.

Разработанные методики испытаний на питтинговую и щелевую коррозию, основанные на последовательном выполнении лабораторных исследований и длительной экспозиции в природной морской воде, целесообразно использовать для аттестации и сертификации нержавеющей сталей, предназначенных для строительства морских конструкций.

Диссертационная работа Парменовой О.Н. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, основные положения, выводы и рекомендации являются логичными и достаточно хорошо аргументированными.

К работе имеются следующие **замечания:**

Общее замечание (пожелание).

В диссертационной работе исследовано весьма большое число различных марок (составов) нержавеющей аустенитных сталей и рассматривается влияние на их коррозионную стойкость довольно многих разнородных факторов. Весьма полезно было бы выделить (классифицировать) механизмы изменения сопротивления коррозии и ранжировать степень влияния различных факторов. Например, можно выделить собственно 1. химический состав (легирование), 2. фазовый состав, 3. разномасштабные дефекты. Сопоставление собственных экспериментальных данных в этом случае может привести к более общим выводам и рекомендациям для решения практических задач, в том числе по выбору методик исследования и контроля качества материала.

Частные замечания.

При описании выплавки стали 03X17AG7 со сверхравновесным содержанием азота (стр. 49-50) не указано, по каким формулам рассчитана равновесная концентрация азота.

Во второй главе (стр. 61, рисунок 2.14) приведены результаты исследования структуры холоднокатаной азотсодержащей стали методом просвечивающей электронной микроскопии, показавшие увеличение плотности дислокаций при повышении степени холодной пластической деформации, в то же время в третьей главе влияние плотности дислокаций на стойкость к питтинговой коррозии не обсуждается.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, выполненной на высоком научном уровне.

Диссертационная работа Парменовой О.Н. на тему «Стойкость к питтинговой и щелевой коррозии нержавеющей сталей аустенитного класса в морской воде», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, по актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Парменова Ольга Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Работа заслушана и обсуждена на объединенном научном семинаре кафедр металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов (МЗМ) и обработки металлов давлением (ОМД) Института экотехнологий и инжиниринга Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный

исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») 22 ноября 2019 г., протокол № 3.

Председатель семинара

Главный научный сотрудник кафедры ОМД
НИТУ «МИСиС»



Капуткина Людмила Михайловна

Капуткина Людмила Михайловна, доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением Института экотехнологий и инжиниринга НИТУ «МИСиС», заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии им. П.П. Аносова

Адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4, НИТУ «МИСиС»;

Тел. 8 (499) 230-28-20; Email: kaputkina@mail.ru; Web-сайт: www.misis.ru

Главный научный сотрудник кафедры МЗМ
НИТУ «МИСиС»



Свяжин Анатолий Григорьевич

Свяжин Анатолий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов Института экотехнологий и инжиниринга НИТУ «МИСиС».

Адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4, НИТУ «МИСиС»;

Тел. 8 (495) 638-46-14; Email: svyazhin@misis.ru; Web-сайт: www.misis.ru

Секретарь семинара

Доцент кафедры ОМД
НИТУ «МИСиС»



Смарыгина Инга Владимировна

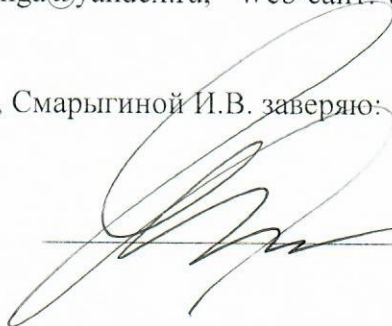
Смарыгина Инга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Института экотехнологий и инжиниринга НИТУ «МИСиС».

Адрес: 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4, НИТУ «МИСиС»;

Тел. 8 (499) 230-28-20; Email: smarygina.inga@yandex.ru; Web-сайт: www.misis.ru

Подписи Капуткиной Л.М., Свяжина А.Г., Смарыгиной И.В. заверяю:

Проректор по безопасности и
общим вопросам НИТУ «МИСиС»



И.М. Исаев