

УТВЕРЖДАЮ

Начальник 3 отделения
ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»




«17» 12 2015 г.

В.М. Шапошников

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3 отделения ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

по диссертационной работе, представленной Колесником А.М. на соискание ученой степени кандидата технических наук, на тему: «Исследование влияния технологических факторов на прочность и устойчивость прочных корпусов подводной техники».

1 Актуальность темы

В настоящее время в судостроительной отрасли особое внимание уделяется ресурсосберегающим технологиям холодного формообразования элементов основного корпуса, которые по сравнению с традиционными процессами изготовления позволяют сократить как трудовые, так и материальные затраты.

Несмотря на существующие технологические и экономические плюсы, применение технологических операций холодного пластического деформирования при использовании не учитывающих их влияния методов расчета без корректировки экспериментом может приводить к оценке прочности соответствующих конструкций с существенной ошибкой в опасную сторону. Операции холодного формообразования сопровождаются глубоким пластическим и геометрически нелинейным деформированием листовых заготовок, возникновением полей остаточных напряжений и пластических деформаций. В процессе холодного пластического деформирования происходит изменение исходных свойств материала, что, в свою очередь, может повлиять на резервы прочности конструкций. Например, для концевых переборок подводных технических средств, изготовленных в холодном состоянии методом последовательного локального деформирования (ПЛД), использование поправочных коэффициентов, полученных при массовых испытаниях экспериментальных моделей с «горячей штамповкой», на основе результатов испытаний которых сформированы современные нормы и методы расчета предельной статической и циклической прочности оболочек двоякой кривизны - дает ошибку в опасную сторону.

Для анализа напряженно-деформированного состояния оболочек двоякой кривизны при формообразовании их в холодном состоянии были разработаны математические модели технологического процесса деформирования плоских заготовок методом ПЛД. Полученные результаты такого решения позволяют существенно упростить и ускорить процесс штамповки такого метода. Поэтому диссертация рекомендуется к защите по двум специальностям 05.08.01 – «Теория корабля и строительная механика» и 05.08.04 – «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства».

Потребность в проведении оценки влияния холодного формообразования элементов прочного корпуса и корпусных конструкций подводных технических средств (ПТС) в настоящее время также связана с отработкой технологий и приемкой для судостроения новых перспективных высокопрочных маломангнитных азотосодержащих сталей, т.к. их особенностью

является невозможность применения «горячих» операций формообразования корпуса в связи с резким ухудшением при этом их маломангнитных свойств.

Таким образом, разработка методов расчета предельной статической прочности с учетом технологических операций холодного формообразования является актуальной проблемой.

Научный руководитель — доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники, главный научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр» Рябов Виталий Михайлович.

Дополнительно к научному руководителю В.М. Рябову был приглашен консультант, специалист по штамповке — кандидат технических наук Рябенский Леонид Матвеевич.

2 Цель работы

Целью настоящей диссертационной работы является определение эффективности работы элементов конструкций основного корпуса ПТС при использовании методов холодного пластического формообразования и совершенствование производственных технологических процессов.

3 Краткая характеристика содержания, обоснованность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка используемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определяется его цель, задачи, а также сформулированы полученные результаты, обладающие научной новизной и выносимые на защиту.

В первой главе представлены результаты анализа современного состояния проблемы оценки влияния холодного формообразования на прочностные характеристики оболочечных конструкций объектов ПТС.

Во второй главе диссертационной работы представлены основные результаты моделирования технологического процесса формообразования заготовок двойкой кривизны методом ПЛД. Полученное решение позволяет обеспечить высокое качество сфер, серьезный экономический эффект и исключает изготовление дополнительной оснастки или использование при деформировании прокладок. Новизна решения подтверждена заявкой на изобретение.

В главе 3 диссертационной работы представлены результаты анализа напряженно-деформированного состояния сформированных методом ПЛД элементов оболочечных конструкций двойкой кривизны. Экспериментальные результаты исследований ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», хорошо согласуются со значениями, полученными в диссертационной работе.

В главе 4 приведены результаты экспериментально-теоретического исследования влияния предварительного пластического деформирования на механические свойства высокопрочных корпусных сталей. Разработанный подход позволяет полностью описать поведение материала при смене знака нагружения в зависимости от величины предварительной пластической деформации.

В пятой главе представлены результаты оценки предельной статической прочности сферических оболочечных конструкций, изготовленных в холодном состоянии методом ПЛД.

Разработана методика оценки предельной статической прочности сферических оболочечных конструкций, изготовленных методом ПЛД в холодном состоянии, с учетом технологической наследственности, выраженной в виде деградации механических свойств корпусного материала и полей остаточных технологических напряжений.

Предложены поправочные коэффициенты к действительной критической нагрузке при экспресс оценке влияния технологии холодного формообразования при использовании

зависимостей «Правил Регистра...».

В шестой главе представлены результаты оценки предельной статической прочности подкрепленных цилиндрических оболочечных конструкций с учетом технологической наследственности при холодной гибке в вальцах.

Получены на основе многопараметрических расчетов обобщенные кривые, позволяющие оценить с учетом изменения механических свойств материала после предварительного пластического деформирования и характера распределения остаточных технологических напряжений значения действительных критических нагрузок сферических и подкрепленных цилиндрических оболочек в зависимости от амплитуды и вида начальной погиби, что фактически определяет возможность их использования, как при проектировании, так и при аттестации оболочечных конструкций прочных корпусов ПТС, изготовленных в холодном состоянии.

В заключительном разделе диссертационной работы представлены основные научные выводы и результаты.

В целом работа выполнена на высоком научно-техническом уровне с применением современных методов математического моделирования, методов теории упругости и пластичности, строительной механики, а также теории тонких оболочек. Теоретический анализ органично сочетается с экспериментальными исследованиями. Диссертация и автореферат имеют четкое логическое построение, написаны хорошим научным языком, с полным охватом принципиальных вопросов. Основные положения и выводы хорошо сформулированы и обоснованы.

4 Степень новизны результатов

При выполнении диссертационной работы получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- впервые выявлены основные закономерности изменения остаточной кривизны (или параметра пружинения) заготовок, изготовленных штамповкой в холодном состоянии методом ПЛД, в зависимости от габаритов листовой заготовки, ее толщины и условного предела текучести высокопрочного корпусного материала;
- получены на основе экспериментальных данных на одноосное знакопеременное нагружение поправочные коэффициенты, позволяющие модифицировать диаграмму деформирования корпусных материалов, что определяет возможность полностью описать поведение материала при смене знака нагружения в зависимости от величины предварительной пластической деформации;
- впервые разработана методика оценки предельной статической прочности сферических оболочечных конструкций, изготовленных методом ПЛД в холодном состоянии, с учетом характера изменения механических свойств материала после предварительного пластического деформирования и характера распределения остаточных технологических напряжений, а также различных вариантов задания не только величины, но и формы начальных отклонений;
- произведена расчетная оценка местной устойчивости (несущей способности) подкрепленных цилиндрических оболочек с многоволновой формой начальных отклонений от идеальной формы с учетом изменения механических свойств материала, вызванного предварительным пластическим деформированием в процессе изготовления в холодном состоянии в вальцах, а также технологических остаточных напряжений;
- получены на основе многопараметрических расчетов обобщенные кривые, позволяющие оценить с учетом технологической наследственности значения действительных критических нагрузок оболочечных конструкций в зависимости от амплитуды и вида начальной погиби.

5 Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации

Представленная диссертационная работа является самостоятельным творческим исследованием автора. В диссертации даны необходимые ссылки на работы других авторов, использованные в исследовании.

6 Практическая значимость результатов диссертации

- решена прикладная задача для судостроительного производства по определению остаточного радиуса (или коэффициента пружинения) заготовок, изготовленных штамповкой в холодном состоянии методом ПЛД. Полученное решение обеспечивает высокое качество сфер, серьезный экономический эффект, исключает изготовление дополнительной оснастки или использование прокладок при доводке;
- внедрение полученных результатов в работах, связанных с проектированием и строительством перспективных объектов подводной техники, за счет обоснованного использования ресурсосберегающих технологий холодного формообразования и соответствующего применения материалов, для которых воздействие «горячих» технологий корпусообработки приводит к резкому ухудшению тех или иных эксплуатационных свойств;
- разработанные аналитические методы расчета предельной статической прочности оболочечных конструкций (как двоякой, так и нулевой кривизны), учитывающие влияние технологической наследственности методов холодного пластического формообразования, позволяют определить необходимые параметры конструкций на стадии проектирования, что обеспечивает безопасную эксплуатацию подводного объекта.

7 Ценность научных работ соискателя ученой степени

7.1 Впервые выполнено расчетно-теоретическое исследование влияния технологической наследственности, выраженной в деградации механических свойств высокопрочного корпусного материала и остаточных технологических напряжений, методов холодного пластического формообразования, а также начальных отклонений от правильной формы на прочностные характеристики прочных корпусов подводных технических средств.

7.2 Разработаны аналитические методы оценки изменения остаточной кривизны (или параметра пружинения) заготовок из высокопрочных корпусных материалов, изготовленных штамповкой в холодном состоянии методом ПЛД при использовании специальной технологической оснастки.

8 Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность проведенных исследований подтверждается сходимостью результатов расчетов численного моделирования процесса деформирования заготовок методом ПЛД с имеющимися экспериментальными данными ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», а также практически полным совпадением полученных ранее рядом авторов результатов расчета действительных критических нагрузок оболочечных конструкций с результатами расчетов несущей способности многослойных КЭ моделей оболочечных конструкций без учета технологической наследственности, разработанных в рамках настоящей работы.

Достоверность проведенных исследований также подтверждается корректным использованием методов математической статистики, современных средств и методов математического моделирования, методов теории упругости и пластичности, строительной механики, а также теории тонких оболочек.

9 Научная специальность

Научная специальность диссертационной работы соответствует специальности 05.08.01 – «Теория корабля и строительная механика» и 05.08.04 – «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства».

10 Опубликованные научные работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на 5-ти научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано 13 научно - технических статей (из них 8 в соавторстве), а также подана заявка на изобретение № 2015138514 от 09.09.2015 г.; в том числе опубликованы следующие статьи в изданиях, входящих в перечень учитываемых ВАК РФ при рассмотрении диссертационных работ:

1. Колесник А.М., Фрумен А.И «Исследование напряженно-деформированного состояния и чувствительности к начальным несовершенствам концевых переборок корпуса подводного аппарата» //Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, № 53, 2010 г.

2. Колесник А.М. «Исследование влияния одиночных вмятин обшивки на цилиндрической оболочке, подкрепленной шпангоутом». Журнал «Морские интеллектуальные технологии» № 1 (15), 2012 г.

3. Шитов А.И., Колесник А.М. «Предельные эпюры напряжений при образовании пластических шарниров в цилиндрических оболочках подводной техники» //Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Том: 6 № 71, 2012 г.

4. Колесник А.М. «К оценке влияния холодного пластического деформирования на значения критических нагрузок оболочечных конструкций подводной морской техники» //Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, № 75 (359), 2013 г.

5. Колесник А.М., Рябенький Л.М. «Моделирование технологического процесса локального холодного пластического деформирования заготовок оболочечных конструкций двойкой кривизны» //Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова № 83 (367), 2014 г.

6. Колесник А.М., Рябенький Л.М. «Моделирование технологического процесса стыковки блоков прочных корпусов подводных технических средств и определение допустимых амплитуд несовпадения их срединных поверхностей». Журнал «Судостроение» №1, 2014 г.

7. Колесник А.М., Рябенький Л.М. «Анализ напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций двойкой кривизны, изготовленных методом холодного локального пластического деформирования». Журнал «Судостроение» №3, 2015 г.

11 Замечания по работе

11.1 Кроме рассмотренного в работе ряда высокопрочных корпусных сталей необходимо рассмотреть альтернативные высокопрочные корпусные материалы, также применяемые при создании ПК подводных технических средств, например титановые сплавы.

11.2 Основные исследования оценки влияния «холодных» технологических процессов формообразования в работе выполнены, основываясь на результатах численного эксперимента при использовании современных методов математического моделирования. Для верификации математических моделей, разработанных в рамках исследования оценки влияния технологической наследственности, желательно проведение испытаний модельных конструкций.

Представленные замечания не изменяют общую положительную оценку диссертационной работы.

12 Рекомендации к защите

Учитывая научную и практическую значимость представленной работы, 3 отделение рекомендует диссертацию Колесника А.М. к защите в диссертационном Совете при ФГУП «Крыловский государственный научный центр» по специальности 05.08.01 – «Теория корабля и строительная механика» и 05.08.04 – «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства». Учитывая, что специальность «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства» не входит в номенклатуру специализированного совета ФГУП «Крыловский государственный научный центр», для проведения защиты необходимо пригласить временных членов совета д.т.н. по специальности «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства».

3 отделение предлагает:

1 Пригласить в качестве официальных оппонентов:

– доктора технических наук Ильина Алексея Витальевича, зам. генерального директора ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»;

– кандидата технических наук Новикова Сергея Сергеевича, главного конструктора по корпусу АО «СПМБМ «Малахит».

2 Ведущей организацией назначить АО «ЦКБ МТ «Рубин».

3 В список рассылки автореферата включить:

– АО «ЦКБ «Лазурит»;

– АО «Адмиралтейские верфи»;

– НИИ КиВ ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»;

– Российский морской регистр судоходства;

– ФГБОУ ВПО ИТС (НГТУ им. Р.Е. Алексеева);

– ФГБОУ ВПО СПбГМТУ;

– ФГБОУ ВПО «Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова»;

– ФГБОУ ВПО СПбПУ Петра Великого;

– АО «ЦТСС»;

– АО «ПО «Севмаш»;

– АО «ЦС «Звездочка»;

– АО «НИПТБ «Онега»;

– ФГБОУ ВПО СПбГАСУ;

– ОАО «Концерн «МПО – Гидроприбор»;

– ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»;

– АО «СПМБМ «Малахит».

Настоящее Заключение составлено по результатам рассмотрения диссертации в присутствии ведущих специалистов 3 отделения.

Начальник 32 лаборатории, к.т.н.



Г.А. Тумашик

Уч. секретарь



Л.И. Витковский