



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЦЕНТР ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА

Промышленная ул., д. 7, Санкт-Петербург, 198095, тел.: (812)786-1910 факс: (812)786-0459 E-mail: inbox@sstc.spb.ru
ОКПО 07502259 ОГРН 1097847011371 ИНН 7805482938 КПП 997850001

№ _____
от _____
На № _____
от _____

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора
по научно-производственной
деятельности, канд. техн. наук

И.Г. Горбов
« _____ » 2016 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Колесника Алексея Михайловича

на тему «Исследование влияния технологических факторов на прочность и устойчивость прочных корпусов подводной техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 - «Теория корабля и строительная механика» и специальности 05.08.04 – «Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства»

В настоящее время произошел технологический прорыв в области формообразования элементов основного корпуса подводных технических средств (ОК ПТС), который связан с переходом от горячей штамповки к холодной гибке методами последовательного локального деформирования (ПЛД). Технологии холодной гибки методами ПЛД позволяют выполнять формообразование большинства деталей ОК ПТС толщиной от 10 до 130 мм из высокопрочных сталей и титановых сплавов, технологии прошли опытную проверку, рекомендованы решениями МВК и апробированы основными организациями, включая АО «ЦКБ МТ «Рубин», АО «СПМБМ «Малахит», ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», АО «ЦТСС», в целях широкого внедрения технологий выпущен ОСТ5Р.95078-2012.

Переход к технологиям гибки методами ПЛД для предприятия позволяет сократить производственные затраты, в частности, снизить расход энергоресурсов, отказаться от изготовления специальных штампов для формообразования каждого элемента переборки, поскольку применяется имеющаяся на предприятии универсальная штамповая оснастка; отказаться от привлечения контрагента для выполнения формообразования деталей заказов методом горячей штамповки; значительно снизить количество окалины и газонасыщение поверхностного слоя металла; получать готовые элементы (листовые детали) переборки сразу, без горячей гибки и дополнительной подгибки (правки) в холодном состоянии при минимальном объеме термообработки с требуемой точностью. Кроме того, переход к холодной гибке позволяет отказаться от ряда технологических операций, необходимых при горячей гибке: нагрев перед горячей гибкой; очистка поверхности гнутой листовой детали от окалины или защитного покрытия.

ФГУП «Крыловский
государственный научный центр»
«03» 06 2016г.
входящий № 12032-2016

При холодной гибке методами ПЛД, как правило, требуется минимальный объем термообработки: в большинстве случаев требуется термообработка при низких температурах после завершения гибки без проверки механических свойств, тогда как после горячей гибки требуется высокотемпературная термообработка с обязательной проверкой механических свойств металла.

На основании проведенных исследований можно утверждать, что выполнение низкотемпературной термообработки (отпуска для стали и низкотемпературного отжига для титанового сплава) восстанавливает пластические свойства металла, которые были до этого ухудшены в результате холодной гибки. По требованию ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» рабочая технология в обязательном порядке предусматривает низкотемпературную термообработку после завершения холодной гибки. Таким образом, свойства металла после гибки, как правило, гарантированы, остаточные напряжения снижены до минимума, а диаграмма деформирования металла восстановлена до исходной. Однако всегда существует опасность нарушения технологического процесса, при котором какая-либо (промежуточная или завершающая) термообработка не будет проведена, или термообработка будет проведена с нарушением термического режима. В результате этого будет иметь место ухудшение пластических и, соответственно, снижение усталостных свойств металла, в частности, сопротивления зарождению трещин, т. е. снижение длительной (многоцикловой) усталостной прочности конструкции. Наряду с этим возможно снижение прочности и устойчивости конструкции при разовом нагружении, чему и посвящена рассматриваемая работа соискателя. Другой характерной ситуацией является наличие малых деформаций при гибке (1-2 %), которые не приведут к недопустимому ухудшению свойств металла и микротрещинам в металле, при этом необходимость термообработки будет определяться снижением прочности конструкции при ее разовом нагружении вследствие наличия остаточных напряжений, эффекта Баушингера и отклонений конструкции от требуемой формы.

Оценка прочности изготовленных с использованием холодной обработки корпусных конструкций объектов подводной техники, в частности их несущей способности (предельной статической прочности), должна учитывать фактическую диаграмму деформирования металла после холодной обработки, однако современные нормы прочности и методы расчета не учитывают изменение механических свойств металла после холодной гибки без последующей термообработки, что может привести к оценке прочности соответствующих конструкций с существенной ошибкой в опасную сторону. Оценка несущей способности корпусных конструкций в общем случае усложняется наличием отклонений геометрии от идеальной по результатам операций формообработки, сборки и сварки. Соответственно, при расчете несущей способности (предельной статической прочности) должны быть учтены как изменения диаграммы деформирования материала, так и наиболее опасные возможные формы дефектов геометрии.

Основная часть рассматриваемой работы была выполнена ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в соответствии с договором № 81-32/12/53470 от 21.03.2012 с АО «ЦТСС» по частному техническому заданию на тему «Оболочка-К» («Разработка методических указаний по определению допустимых пластических деформаций и дефектов формы листовых деталей при холодной гибке, разработка технологии акустико-эмиссионного контроля конструкций при гидравлических испытаниях») – составную часть ОКР «Оболочка» («Разработка комплекса универсальных производственных технологий и оборудования для формообразования листовых деталей сложных оболочечных металлоконструкций надводной и подводной морской техники путем глубокого пластического и геометрически нелинейного деформирования»), выполненную по государственному контракту № 11411.1007400.09.075 от 23.09.2011 г.

В работе соискателя рассмотрены три основных фактора, влияющие на прочность и устойчивость конструкции при разовом ее нагружении и отсутствии термообработки после холодной гибки: наличие остаточных напряжений в металле; эффект Баушингера; отклонения конструкции от идеальной формы. При этом столь подробное исследование влияния остаточных напряжений и эффекта Баушингера на прочность и устойчивость конструкции ОК ПТС было выполнено, практически, впервые.

Необходимо отметить, что эффект Баушингера мало изучен. В данном случае он заключается в том, что нагружение в процессе эксплуатации приводит к деформациям противоположного знака относительно пластических деформаций, возникших при обработке, что приводит к существенному падению предела текучести металла. По некоторым данным для ряда высокопрочных сталей уже при 1-2 % пластической деформации падение предела текучести может достигать 40 %. Однако достаточно точных и полных данных на момент проведения исследований не имелось. Поэтому в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» были выполнены экспериментальные исследования влияния эффекта Баушингера на механические свойства высокопрочных сталей на образцах, предоставленных АО «ЦТСС», и получены зависимости отношения условного предела текучести на сжатие к пределу текучести при предварительном растяжении от предварительной пластической деформации растяжения для применяемых на практике высокопрочных сталей. Важно также отметить, что имеет место не только количественное различие пределов текучести материала при прямом и противоположном направлениях нагружения, но значительно меняется форма диаграммы деформирования при эксплуатационной нагрузке.

Основными целями исследований по теме «Оболочка-К» являлись разработка методов расчета предельных состояний корпусных конструкций ОК ПТС с учетом пластических деформаций металла листовых деталей после холодной гибки методами ПЛД и дефектов геометрии конструкций. На основании расчетов предполагалось определить допустимые сочетания пластических деформаций деталей после холодной гибки для выявления необходимости проведения термообработки деталей после гибки, а также влияния отклонений геометрии на работоспособность конструкций для определения требований к точности их изготовления. Работа соискателя явилась одним из этапов в достижении указанных целей.

Целью диссертационной работы соискателя явилось определение эффективности работы элементов конструкций ОК ПТС при использовании методов холодного пластического формообразования и совершенствование производственных технологических процессов.

Методами исследования явились методы теории упругости, теории пластичности, строительной механики, а также теории тонких оболочек, экспериментальные методы исследований поведения корпусных материалов при знакопеременных нагрузках.

Достоверность научных результатов обеспечена выполнением имитационного моделирования с применением системы ANSYS, а также использованием результатов опытных работ, проведенных при внедрении технологии холодной гибки методами ПЛД на АО «ПО «Севмаш» совместно с АО «ЦТСС» и ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей».

Научная новизна заключается в исследовании особенностей процесса формообразования и параметров напряженно-деформированного состояния листовой детали при помощи сферического штампа и кольцевой матрицы, уточнении математического описания диаграммы деформирования материала при смене знака нагружения, оценке изменения статической прочности сферических и местной устойчивости (несущей способности) подкрепленных цилиндрических оболочек при наличии начальных внутренних напряжений и изменении диаграммы деформирования металла, а также отклонении конструкции от идеально точной формы.

Замечания по автореферату:

1 Цель исследований (стр. 4) «... определение эффективности работы элементов ...» следовало было сформулировать как «... проверка работоспособности элементов ...».

2 Расчет остаточного последствия (пружинения), см. стр. 4, 11, 12, необходим для приближенного определения радиуса сферической матрицы или подбора угла конусности конической матрицы, радиус пуансона может быть существенно меньше. Для исключения вмятин при гибке под пуансон обычно подкладывают прокладку из алюминиевого сплава толщиной 30-50 мм. Технологическим параметром, влияющим на остаточную кривизну изгиба является не радиус пуансона, а усилие гибки или прогиб листа под пуансоном. Поэтому для практики важным явилось бы определение усилия или прогиба. Также научное и практическое значение имело бы исследование напряжений и деформаций непосредственно в области контакта листа с гибочной оснасткой. К сожалению автор решил контактную задачу, но указанные результаты ее решения не привел.

3 В разделе «Основные научные результаты ...», см. стр. 5, указано, что соискатель впервые определил закономерности изменения остаточной кривизны (или параметра пружинения) заготовок, изготовленных штамповкой в холодном состоянии методом ПЛД, однако подобные зависимости давно известны (например, см. рисунок А.1. на стр. 42 ОСТ5Р.95078-2012). В данном случае уместно было бы упомянуть об уточнении известных зависимостей для определенного диапазона исходных данных.

4 В работе, см. стр. 9, приведены результаты исследования процесса формообразования деталей только сферической формы, однако в составе оболочек имеются детали торосферической и тороконической формы, технология холодной гибки методом ПЛД которых более сложная и включает несколько этапов, которые могут разделяться на подэтапы, при этом между некоторыми этапами и подэтапами гибки выполняется промежуточная термообработка.

5 Зазор между пуансоном и листовой заготовкой, выявленный автором в процессе моделирования, см. стр. 10, является обычным явлением при локальной гибке. Зазор наблюдается также при роликовой гибке, его наличие указывает на разделение одной области контакта на две, а также на локализацию пластических деформаций, ведущую к появлению микротрещин и макротрещин (разрушению листовой заготовки). Поэтому технологические параметры должны быть подобраны таким образом, чтобы зазора не было. При отсутствии подходящей гибочной оснастки возможна установка упорного стакана, указанного в работе.

6 Сделанный соискателем вывод о независимости стрелки обратного хода при пружинении от места деформирования заготовки (см. стр. 11) сделан для конкретных исходных данных (условий): диаметре заготовки, матрицы, радиусе гибки. Как показывает практика, в общем случае, при других исходных данных, этот вывод неверен.

7 Данные по деформациям металла гнутой листовой заготовки, см. стр. 13, даны только для единичного нажатия, однако формообразование методом ПЛД выполняют путем многократных нажатий на заготовку, в результате чего деформации последовательно возрастают. Результирующие деформации на поверхности заготовки складываются из деформаций изгиба и продольных деформаций (см. В.12 на стр. 52 ОСТ5Р.95078-2012), при этом, если первая зависит от толщины, радиуса заготовки и механических свойств металла, то вторая – от формы детали и размеров заготовки для ее изготовления. Поэтому приведенные зависимости и результаты расчетов охватывают лишь некоторую узкую зону варьирования исходных данных. Кроме того, при расчетах не учтены сварочные напряжения.

8 Сделанный автором на стр. 15 вывод о том, что амплитуды утонений заготовок при больших значениях относительного радиуса оболочки обычно незначительны, в общем случае неверен, поскольку утонение, кроме радиуса кривизны, зависит также от размеров заготовки.

Поэтому при больших размерах (например, диаметре доньшка) утонение может достигать достаточно больших значений, например, 2-3 % от толщины заготовки для сферических и 3-4 % для торосферических лепестков переборок ОК ПТС. Как показала практика, при гибке некоторых деталей корпуса их утонение может достигать 10-12 %.

9 На рис. 7 стр. 16 неясно, для какой из поверхностей (выпуклая, вогнутая, срединная) определены значения деформаций.

10 На стр. 18 автором сделан вывод о том, что оценку влияния технологической операции холодного последовательного деформирования элементов концевых переборок можно проводить, основываясь на результатах расчета задачи при единичном нажатии пуансона, что в общем случае неверно, поскольку на практике количество нажатий может достигать нескольких десятков, а напряжения и деформации сложным образом распределены как по толщине, так и по срединной поверхности листовой детали после гибки.

11 При выполнении исследований соискатель ограничился одной формой несовершенства сферической оболочки (осесимметричной вмятиной по центру), см. стр. 21, полученной из одной заготовки, однако в реальных условиях сферическая оболочка может быть изготовлена из нескольких гнутых деталей (доньшко, лепестки), при сборке и сварке которых имеются многочисленные отклонения (несовершенства) формы (разностенность, домики, отклонения от шаблонов и каркаса) которые также необходимо учитывать в исследованиях. Такая задача учета местных искривлений деталей имеет большое значение для практики. Кроме того, оболочка часто имеет не только сферическую, но также торосферическую форму, однако последняя соискателем не рассматривалась.

12 В работе не рассмотрены конструкции из титановых сплавов, которые также широко используются наряду с высокопрочными сталями.

13 Результаты исследований не включены в нормативную документацию.

Приведенные замечания носят частный характер и не снижают научной новизны и практической ценности работы, выполненной Колесником Алексеем Михайловичем.

Рассматриваемую работу, безусловно, следует признать актуальной и имеющей практическую и научную ценность. Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Проведенные исследования можно характеризовать как научно обоснованные теоретические разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач.

Диссертация отвечает требованиям и критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 («Теория корабля и строительная механика») и специальности 05.08.04 («Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства»).

Ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук по специальности 05.08.04

Кузавков Владислав Михайлович

Ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук по специальности 05.08.04

Рыдловский Владимир Петрович

Подписи Кузавкова Владислава Михайловича и Рыдловского Владимира Петровича заверяю:

Начальник отдела кадров



Розанов Борис Григорьевич