

4383314

НА ДОМ  
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

Московское  
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового  
Красного Знамени высшее техническое училище имени П. Э. Баумана

---

На правах рукописи

ДРАГАН Станислав Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОЛИСТОВЫХ  
СВАРНЫХ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ  
СПЛАВОВ

(05.04.05 – Технология и машины сварочного  
производства)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических  
наук

---

Москва

1981

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

Московское  
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового  
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

---

На правах рукописи

ДРАГАН Станислав Владимирович

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОЛИСТОВЫХ  
СВАРНЫХ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ  
СПЛАВОВ

(05.04.05 – Технология и машины сварочного  
производства)

НТБ МВТУ им. Н.Э.Баумана



1383317

Драган С.В. Повышение точно

Автореферат

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических  
наук

Москва



Работа выполнена в Николаевском ордена Трудового Красного Знамени кораблестроительном институте имени адмирала Г.О.Макарова

Научный руководитель - к.т.н., доцент А.И.ДРЕМЛЮГА

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Сагалевич В.М.  
к.т.н., доцент Прохоров В.Н.

Ведущее предприятие - указано в решении Совета

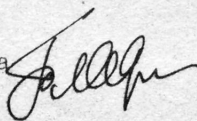
Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1981 г.  
на заседании Совета Д.053.15.07 "Технология и машины сварочного производства" Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Училища.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1981 г.

УЧЕБНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
специализированного Совета  
д.т.н., профессор



Э.А.ГЛАДКОВ

Д - 86185 от 20 мая 1981 объем 1,0 Тир.105 зак.  
Зак. 837 Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблем. Необходимым условием повышения точности и надежности, снижения трудоемкости изготовления сварных судовых тонколистовых конструкций из алюминийно-магнелиевых сплавов, широко применяющихся на судах различного назначения, является непрерывное совершенствование технологии их изготовления, внедрение в производство механизированных участков и поточных линий.

В настоящее время основным способом выполнения стыковых соединений обшивки толщиной 2...6 мм из сплавов типа АМг является ручная аргонодуговая сварка с подрубкой корня шва и подваркой. Опыт применения автоматической односторонней сварки с двусторонним формированием шва показал, что вследствие несовершенства технологической оснастки, не обеспечивающей требуемой точности изготовления, полностью не реализуются достоинства автоматической сварки и, поэтому, необходимо применение тепловой правки, выполняемой вручную.

Отсутствие в отрасли специализированного оборудования для автоматической односторонней сварки с двусторонним формированием шва, эффективных, приемлемых в условиях механизированного производства, методов устранения сварочных деформаций, а также соответствующей технологической оснастки, отвечающей требованиям комплексной механизации сборочно-сварочных работ, ставит проблему ликвидации тяжелого физического труда, сокращения трудоемкости и объема правочных работ при изготовлении тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов в ряд актуальных для судостроения.

Целью работы явилась разработка технологии и оборудования, повышающих точность изготовления тонколистовых панельных конструкций из алюминийно-магнелиевых сплавов в условиях механизированного сборочно-сварочного производства.

Методы исследования. Основные задачи работы решались при сочетании теоретических разработок с экспериментальными исследованиями. Для исследования механизма и установления закономерностей деформирования тонколистовой обшивки при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва были применены методы теории упругости, основные положения теории устойчивости пластин, и сварочных деформаций и напряжений. Исследование процесса прокатки околошовной зоны стыкового соединения совместно со сваркой с целью устранения остаточных перемещений обшивки из плоскости, а также

разработка расчетной методики определения оптимальных режимов прокатки выполнялись с использованием теории обработки металлов давлением и теории пластичности.

Исследования технологии сварки экспериментальных образцов осуществлялись с использованием разработанного автором обжимно-сварочно-прокатного устройства.

Исследование полей остаточных деформаций и напряжений проводилось механическим методом с применением съемных деформометров с базой замера 20 мм×50 мм.

Научная новизна работы заключается в решении задачи обеспечения требуемой точности изготовления тонколистовых судовых панельных конструкций из алюминийно-магние-вых сплавов при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва с одновременной прокаткой околосшовной зоны и состоит в установлении закономерности появления бухтиноватости листов впереди источника нагрева при доминирующем влиянии сжимающих напряжений от поперечного укорочения сварного соединения; возможности использования для прокатки судовых конструкций тепла сварочной дуги путем разработки комплексной операции, направленной на сокращение длительности технологического цикла, и разработки инженерной методики определения параметров режима прокатки, выполняемой совместно со сваркой, предусматривающей установление направленной связи между параметрами с введением дополнительного параметра, учитывающего одновременность процессов сварки и прокатки.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований разработаны научные основные положения по технологии автоматической односторонней сварки с прокаткой стыковых соединений тонколистовой обшивки судовых панельных конструкций из алюминийно-магневых сплавов и определены исходные данные для проектирования обжимно-сварочно-прокатных устройств специализированного оборудования механизированных поточных линий изготовления корпусных конструкций из алюминиевых сплавов, впервые разрабатываемых для судостроительных предприятий. Разработанная технология и оборудование для сварки с прокаткой внедрено в производство, а основные научные результаты работы используются при подготовке инженеров-сварщиков по специализации "Автоматизация сварочного производства в судостроении".

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научно-техническом совещании "Пути дальнейшего повышения технико-

экономических показателей и качества сварочного производства в X пятилетке" в г. Николаеве (июнь 1976 г.), VII отраслевом научно-техническом совещании по повышению эффективности и качества технологии постройки корпусов судов в г. Ленинграде (ноябрь-декабрь 1977 г.), IX отраслевом научно-техническом совещании по механизации тяжелых и трудоемких работ в судостроении в г. Николаеве (апрель 1980 г.), научно-технической конференции, посвященной дням науки на Николаевщине в г. Николаеве (май 1979 г.) и научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н. Э. Баумана (декабрь 1980 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Содержит 58 рисунков, 21 таблицу, 9 приложений и 156 наименований литературных источников, изложена на 121 странице машинописного текста.

Первая глава посвящена анализу современного состояния технологии изготовления судовых тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов. В результате литературного обзора и данных обследования штатных корпусных конструкций судов различных типов установлено, что алюминиево-магниево-медные сплавы являются основным конструкционным материалом при постройке судов. На судах среднего и крупного водоизмещения сплавы алюминия чаще используются для конструкций, не участвующих в общей прочности корпуса. Применительно к условиям механизированного производства более технологичными являются тонколистовые конструкции судов за счет широкого использования гофрированных листов и прессованных панелей, а также большой протяженности стыковых соединений обшивки (швы длиной 2 ... 6 м. достигают 63% от общей протяженности швов стыковых соединений тонколистовой обшивки).

Основным способом сварки стыковых соединений тонколистовой обшивки в отрасли является ручная, выполняемая с подрубкой корня шва и последующей подваркой. Ограниченное применение автоматической односторонней сварки с двусторонним формированием шва связано с несовершенством технологической оснастки, не обеспечивающей заданного качества формирования шва и точности изготовления конструкции. Одной из главных причин снижения точности изготовления судовых корпусных конструкций из сплавов типа АМг является потеря устойчивости обшивки при сварке. На основании анализа современных методов уменьшения местных сварочных деформаций тонколистовых кон-

струкций показано, что повышение качества и точности конструкций может быть достигнуто за счет совмещения методов поджатия листов и подкладке и прокатки околосшовной зоны стыкового соединения с процессом автоматической односторонней сварки с двусторонним формированием шва в одной технологической операции.

В связи с ограниченностью сведений о причинах и механизме образования деформации потери устойчивости обшивки судовых тонколистовых панельных конструкций из сплавов типа АМГ при автоматической односторонней сварке, количественных оценок влияния конструктивных и технологических факторов, в частности поперечной усадки сварного соединения, на вероятность появления указанного вида деформаций, а также отсутствия расчетных методик определения параметров режима прокатки совместно со сваркой и соответствующего технологического оборудования не позволяет практически использовать в судостроении прокатку совместно со сваркой как метод повышения точности изготовления тонколистовых конструкций и требует выполнения соответствующих исследований и разработок. Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать механизм потери устойчивости листов толщиной 2...6 мм при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва.
2. Исследовать влияние поперечной усадки сварного соединения на деформацию листов тонколистовой обшивки впереди источника нагрева.
3. Исследовать процесс прокатки, выполняемой совместно со сваркой, стыковых соединений тонколистовой обшивки.
4. Разработать и апробировать расчетную методику определения эффективных параметров режима прокатки с одновременной автоматической сваркой стыковых соединений.
5. Установить исходные требования на проектирование обжимно-сварочно-прокатного устройства установки для сварки с прокаткой.
6. Разработать и внедрить в производство руководящий материал на технологию, обеспечивающую повышение точности изготовления тонколистовых панельных конструкций в условиях механизированного обожно-сварочного производства.

Во второй главе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований деформации потери устойчивости тонколистовой обшивки при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва. Процесс формирования остаточной поверхности об-

обшивки тонколистовых панельных конструкций происходит следующим образом: при движении сварочной дуги по стыку, вследствие встречного перемещения кромок впереди сварочной ванны, возникают сжимающие напряжения, которые вызывают деформацию кромок и образование бухтиноватости. Размеры бухтины впереди источника нагрева растут пропорционально длине шва и стабилизируются после выполнения сварки на участке длиной 400...500 мм для типовых панельных конструкций и режимов сварки, обеспечивающих двустороннее формирование шва. Сформировавшаяся бухтина движется синхронно со сварочной дугой и искривленные кромки листов фиксируются швом. При охлаждении сварного соединения поверхность обшивки в районе шва частично выравнивается, однако появляется ее волнистость в продольном направлении, которая наблюдается как остаточная.

Причинами деформации кромок впереди источника нагрева являются сжимающие напряжения, вызванные термическим расширением металла у кромок листов, и поперечной усадкой сварного соединения. Термические сжимающие напряжения, определенные для квазистационарного температурного поля без учета теплоотдачи, имеют наибольшую величину по оси соединения на участке, не превышающем 15 мм для всего диапазона исследованных толщин обшивки. Указанный участок расположен в высокотемпературной области ( $T \geq 500$  К), вследствие чего создаются благоприятные условия для пластического течения металла и снижения уровня термических напряжений.

Поперечное укорочение сварного соединения вызывает встречные перемещения кромок листов на участках, расположенных впереди источника нагрева, превышающих длину выполненного шва в 1,5...2 раза; при этом величина поперечного укорочения и длина участка, на котором существуют встречные перемещения кромок, находятся в одинаковой зависимости от длины выполненного шва и стабилизируются одновременно.

Для оценки вероятности потери устойчивости листов от поперечной усадки и определения влияния длины шва и толщины обшивки на деформацию кромок впереди источника нагрева сравнивались определенные расчетным путем величины действующих и критических напряжений. Действующие напряжения определялись из решения плоской задачи теории упругости об эллиптической отверстии (щели), нагруженной по контуру сжимающими усилиями, в бесконечной пластине. Длина щели равна длине шва, до момента стабилизации поперечной усадки,

ширина - численно равна поперечной усадке. Сжимающие усилия вызывают перемещения кромок щели на величину поперечной усадки.

В результате решения задачи, выполненного методом комплексного потенциала в эллиптических координатах, получено уравнение, удовлетворительно описывающее распределение остаточных сжимающих напряжений от поперечной усадки:

$$\sigma_y = - \frac{E \cdot \Delta n}{8a} \left[ 2 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \left( 2 - \frac{a^2}{x^2 + a^2} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\sigma_y$  - напряжения от поперечной усадки;  $E$  - модуль упругости I-го рода;  $\Delta n$  - поперечная усадка,  $2a$  - длина шва ( $2a \leq 50$  см);  $x$  - расстояние от середины длины шва до рассматриваемой точки ( $x > 0$ ).

Экспериментальная проверка полученной зависимости осуществлялась на образцах в виде гофрированных листов из сплава АМг5 и показала, что учет в решении задачи влияния элементов жесткости панельной конструкции на напряженное состояние пластины приводит к погрешности, не превышающей 20%.

Соответствующие критические напряжения определялись из решения задачи об устойчивости прямоугольной шарнирно опертой по трем сторонам пластины, равномерно загруженной по свободной кромке напряжениями, равными средним действующим. Решение задачи, выполненное конечно-разностным методом с использованием ЭВМ "ЕС-1020", позволило установить зависимость критических напряжений от конструктивных характеристик панельных конструкций, а также определить минимальную длину шва, при которой возникает бухтиноватость обшивки впереди источника нагрева, и предельную толщину обшивки, подверженную бухтинообразованию. Для типовых судовых конструкций эти параметры составляют соответственно: 240...360 мм и 4 мм. При этом термические напряжения способствуют возникновению бухтиноватости за счет снижения жесткости поперечного сечения обшивки при нагреве ее теплом сварочной дуги, однако основным фактором, вызывающим деформацию кромок, является поперечная усадка.

Волнистость обшивки в продольном направлении появляется вследствие потери устойчивости от продольного укорочения сварного соединения. Критерием образования деформации потери устойчивости в этом случае является равенство величин действующей усадочной силы, или погонного объема продольного укорочения и соответствующих критических значений нагрузок.

Величина действующих нагрузок определялась по известным формулам в зависимости от режима сварки, а критические значения — по результатам решения задачи об устойчивости квадратной шарнирно опертой пластины, загруженной по оси погонной нагрузкой, численно равной усадочной силе. Выбор такой расчетной схемы обусловлен особенностями деформирования удлиненных пластин, к категории которых относится плоская часть обшивки панельных конструкций, и погонным распределением объема продольного укорочения от сварки. В результате решения задачи конечно-разностным методом получены зависимости, связывающие критические нагрузки с конструктивными характеристиками панели. Критическая величина усадочной силы рассчитывается по формуле:

$$P_{кр} = \frac{E S^3}{(1 - \mu^2) l}, \quad (2)$$

где  $S$  — толщина обшивки панели,  $l$  — расстояние между элементами жесткости панельной конструкции (ребрами жесткости, гофрами и т.п.),  $\mu$  — коэффициент Пуассона. Деление полученной зависимости на  $E$  дает критическое значение погонного объема продольного укорочения. Учет распределения нагрузки по длине соединения позволил установить, что при условиях, имитирующих сварку, пластина менее устойчива, чем при механическом нагружении ее сосредоточенными силами, приложенными к противоположным кройкам.

Сопоставление величин действующих и критических нагрузок для всего диапазона исследованных судовых панельных конструкций показало, что при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва в свободном состоянии потеря устойчивости тонколистовой обшивки является неизбежной.

Третья глава посвящена исследованию процесса прокатки совместно со сваркой стыковых соединений. Сущность прокатки, выполняемой одновременно с автоматической сваркой стыковых соединений, как метода повышения точности изготовления тонколистовых конструкций в условиях механизированного производства, заключается в непрерывном пластическом осаживании металла в околосварочной зоне, нагретого теплом сварочной дуги, и возникающем при этом пластическом удлинении волокон в продольном направлении, компенсирующем сварочные пластические деформации. Принципиальная возможность осуществления такого метода высказана С.А. Куркиным, однако его научная и практическая реализация применительно к условиям судостроительного производства впервые выполнена в настоящей работе. Условием полного устранения

сварочных деформаций является равенство погонных объемов продольных деформаций от прокатки и сварки. Регулирование величины объема пластических деформаций от прокатки можно осуществлять путем варьирования двух факторов: ширины зоны прокатки или степени обжатия обшивки. Указанные факторы находятся в определенной функциональной связи с параметрами режима прокатки совместно со сваркой, основными из которых являются: ширина рабочего пояса прокатного ролика, диаметр ролика, усилие прокатки и расстояние между осями сварочной горелки и прокатного ролика. Определение указанных параметров выполнялось расчетным методом на основе данных исследований деформирования обшивки при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва и закономерностей течения металла при плоской деформации.

Ширина рабочего пояса ролика при прокатке околосшовной зоны определяется шириной упруго-пластической зоны сварного соединения, при условии сосредоточения пластических деформаций от прокатки только в этой зоне, исключая ширину шва. Экспериментально установлено, что ширина зоны не изменяется в результате потери устойчивости обшивки и для диапазона исследованных толщин листов и режимов сварки подчиняется зависимости:

$$b_n = 0,38 q_n / S + 5,39 \quad (3)$$

где  $b_n$  - ширина упруго-пластической зоны, см;  $q_n$  - погонная энергия нагрева обшивки, кДж.

С целью более полной компенсации объема продольного укорочения от сварки пластические деформации от прокатки, выполняемой по схеме "ролик-подкладка", должны распространяться на всю толщину обшивки, что достигается правильным назначением диаметра прокатного ролика. Минимальный требуемый диаметр определялся из решения задачи теории пластичности о давлении плоского штампа-ролика на полосу, лежащую на жестком основании. При этом использовался метод линий скольжения, описывающих характер пластического течения металла под роликом. Возможность пренебрежения кривизной ролика при решении задачи связана с незначительной степенью обжатия  $\varepsilon$ , необходимой для компенсации сварочных деформаций ( $\varepsilon \leq 0,5\%$  для исследованных толщин обшивки и режимов сварки) и, следовательно, длиной линии контакта ролика с листом, не превышающей 1,6 мм. В результате решения получена зависимость, связывающая минимальный требуемый диаметр ролика  $d$  с его шириной  $b_p$ , толщиной обшивки и погонным объемом продольного у-

рочения  $\nu$  :

$$d_{\min} = 10,45 \frac{b_p s^2}{100 \nu}. \quad (4)$$

Для обшивки толщиной 6 мм минимальный диаметр равен 68 мм; ролик такого же диаметра пригоден и для прокатки листов меньшей толщины. Усилие прокатки, вызывающее появление пластических деформаций удлинения в продольном направлении, определяется в основном площадью зоны контакта между роликом и листом, и величиной нормальных контактных напряжений в этой зоне, которая в свою очередь зависит от предела текучести алюминиевого сплава при температуре прокатки. Экспериментально установлено, что в условиях сварочного термического цикла предел текучести сплавов типа АМг в интервале температур 300...450 К ниже полученного при стандартных испытаниях на 30...40% вследствие интенсивного протекания процессов возврата и рекристаллизации при малых скоростях охлаждения, характерных для указанного температурного интервала. Из решения задачи о давлении штампа на полосу, с учетом зависимости величины контактных напряжений и предела текучести алюминиевого сплава от температуры и в соответствии с основным условием компенсации сварочных деформаций прокаткой получено уравнение для определения усилия прокатки:

$$P = 1,74 \sigma_{0.2}(T) (\sqrt{\nu d b_p} + 0,36 b_p s), \quad (5)$$

где  $P$  — усилие прокатки;  $\sigma_{0.2}(T)$  — предел текучести алюминиевого сплава в зоне прокатки.

Расстояние между осями сварочной горелки и прокатного ролика  $\chi_p$  — параметр, учитывающий одновременность процессов сварки и прокатки, и определяющий эффективность устранения остаточных сварочных деформаций, напряжений и перемещений обшивки из плоскости. На основании расчетно-экспериментальных данных о характере температурного поля при сварке с прокаткой и результатов исследований зависимости предела текучести алюминиевых сплавов от температуры расчетным путем оценено влияние места постановки прокатного ролика на величину усилия прокатки и установлено эффективное значение параметра  $\chi_p$ . Для диапазона исследованных толщин обшивки и режимов сварки  $\chi_p = 60...150$  мм; при выполнении прокатки на этом расстоянии от сварочной ванны величина требуемого усилия прокатки колеблется в пределах 5%, по сравнению с данными расчета по формуле (5), что практически не снижает эффективность устранения сварочных деформаций.

Экспериментальная проверка разработанной расчетной методики определения параметров режима прокатки совместно со сваркой, уста-

навливающей направленную связь между параметрами, выполнялась путем сварки опытных панельных образцов из сплавов АМг5 и АМг6І на разработанной установке, оснащенной обжимно-сварочно-прокатным устройством, обеспечивающим поджатие листов к формирующей подкладке перед источником нагрева, автоматическую одностороннюю сварку с двусторонним формированием шва и одновременную прокатку околосварочной зоны стыкового соединения. Прокатку выполняли роликами с различной шириной рабочего пояса  $b_p = 10$  мм и  $b_p = 23$  мм при усилиях 2,0...10,0 кН и оценивали величину остаточных деформаций, напряжений и перемещений обшивки из плоскости. Эксперименты показали общую тенденцию снижения контролируемых параметров при увеличении усилия прокатки, но большую эффективность применения ролика с шириной, близкой к ширине упруго-пластической зоны, так как в этом случае обеспечивается равномерная компенсация сварочных деформаций, улучшаются условия теплоотвода из зоны прокатки, наблюдается более благоприятное распределение остаточных напряжений и устраняются, или снижаются до допустимого предела, перемещения обшивки из плоскости. При использовании ролика с шириной  $b_p = 10$  мм компенсация сварочных деформаций и напряжений происходит в узкой зоне, вследствие чего при последующем охлаждении непрокатанных участков продолжается сокращение нагретых волокон металла и образуются недопустимые деформации обшивки из плоскости. Полученные экспериментальные данные о влиянии усилия прокатки на величину остаточного объема продольного укорочения подтвердили правомерность допущений, принятых при разработке расчетной методики, и позволили установить применимость данной методики при разработке технологии и оборудования для повышения точности изготовления тонколистовых судовых конструкций из алюминиево-магниевого сплава в условиях механизированного производства.

Испытания механических свойств сварных соединений показали незначительное влияние прокатки на показатели прочности и пластичности при статических нагрузках.

В четвертой главе представлены разработка исходных данных для проектирования обжимно-сварочно-прокатного устройства и результаты опытно-промышленного внедрения в производство технологии сварки с прокаткой стыковых соединений судовых тонколистовых конструкций. На основании выполненных исследований предложена конструкция устройства, состоящая из поджимных и прокатных роликов, связанных со сварочной горелкой и перемещающихся синхронно с ней, обеспечиваю-

шая регулировку усилия поджатия листов к подкладке и прокаточного усилия. Конструкция устройства защищена авторским свидетельством № 692711. С целью унификации элементов устройства разработаны два типоразмера универсальных роликов в зависимости от толщины обшивки с параметрами: для толщины обшивки 2...4 мм  $\delta p = 30$  мм,  $d = 68$  мм; для обшивки толщиной 5...6 мм -  $\delta p = 35$  мм;  $d = 68$  мм. Определены конструктивно-силовые параметры устройства при использовании универсальных роликов; при этом откорректировано расстояние между осями сварочной дуги и прокатного ролика, которое принято равным  $\mathcal{L}p = 65...165$  мм. Разработана технология сварки с прокаткой, предусматривающая использование серийно выпускаемого сварочного автомата АДСВ-5 в комплексе с предложенным обжимно-сварочно-прокатным устройством. Оценка экономической эффективности показала, что при широком внедрении технологии и оборудования для сварки с прокаткой на предприятиях отрасли, а также на механизированных поточных линиях изготовления корпусных конструкций из алюминиевых сплавов, экономия составит не менее 60 тыс.рублей в год.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа современного состояния производства корпусных конструкций из алюминиевых сплавов установлено, что основной объем составляют панельные конструкции с толщиной обшивки 2...6 мм и протяженностью стыковых соединений 2...6 м, выполняемых малопроизводительной ручной сваркой, не обеспечивающей заданной точности изготовления.

Резервом повышения производительности и качества выпускаемой продукции является применение автоматической односторонней сварки с двусторонним формированием шва и технологической оснастки, отвечающей требованиям механизации производства.

2. Установлены закономерности механизма деформирования тонколистовой обшивки панельных конструкций из сплавов типа АМг при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва стыковых соединений. Показано, что основными факторами, определя-

ющими остаточную форму поверхности обшивки являются деформация кромок листов впереди источника нагрева и волнистость обшивки в продольном направлении.

3. Показано, что деформация кромок листов обшивки обусловлена поперечными сжимающими напряжениями, вызванными совместным действием термического расширения металла впереди источника нагрева, и поперечной усадки сварного соединения. Доказано, что доминирующим фактором являются напряжения от поперечной усадки.

Установлено, что предельная толщина обшивки, подверженная деформации кромок, не превышает 4 мм. Волнистость обшивки, вызываемая продольным укорочением сварного соединения, характерна для всего диапазона толщин обшивки типовых судовых панельных конструкций.

4. Установлено, что для повышения точности изготовления тонколистовых судовых панельных конструкций в условиях механизированного производства целесообразно использовать методы поджатия листов к подкладке с помощью сосредоточенных прижимов-роликов и прокатку околошовной зоны стыкового соединения при смещении указанных методов с автоматической односторонней сваркой.

5. Доказано, что для установления закономерностей компенсации сварочных деформаций прокаткой по схеме "ролик-подкладка" возможно применение решения задачи теории пластичности о действии плоского штампа на полосу, лежащую на жестком основании. Установлено, что для полной компенсации продольных сварочных деформаций необходимо равенство погонных объемов пластических деформаций от сварки и прокатки при условии сосредоточения пластических деформаций от прокатки на ширине упруго-пластической зоны сварного соединения.

6. Разработана инженерная расчетная методика определения параметров режима прокатки, выполняемой совместно со сваркой, позволяющая установить направленную взаимосвязь параметров и их зависимость от толщины обшивки панельной конструкции. В дополнение к известным параметрам режима послесварочной прокатки предложен параметр, учитывающий одновременность процессов сварки и прокатки - расстояние между осями сварочной горелки и прокатного ролика. Для толщин обшивки 2...6 мм это расстояние составляет 60...165 мм.

7. Установлено, что для более эффективного устранения оста-

точных сварочных деформаций судовых панельных конструкций прокатку совместно со сваркой следует выполнять роликом с шириной рабочей поверхности равной ширине упруго-пластической зоны сварного соединения, исключая ширину шва. Предложены 2 типоразмера прокатных роликов в зависимости от толщины обшивки. Ширина рабочего пояса роликов и их диаметр соответственно равны: для обшивки толщиной 2...4 мм  $B_p = 30$  мм;  $d = 68$  мм, для обшивки толщиной 5...6 мм  $B_p = 35$  мм;  $d = 68$  мм. Показано, что ролики с такими размерами являются универсальными и могут быть использованы в качестве прижимных.

8. Установлено, что прокатка совместно со сваркой не уступает по производительности и эффективности устранения остаточных сварочных деформаций послесварочной прокатке, практически не изменяет механических свойств сварного соединения и сокращает общую длительность технологического процесса изготовления судовых тонколистовых панельных конструкций. Разработанные и внедренные в производство оборудование и технология показали, что прокатка совместно со сваркой является эффективным средством повышения точности изготовления тонколистовых конструкций из алюминиево-магниевого сплавов и обеспечивает годовой экономический эффект более 60 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Драган С.В., Каплун А.Я., Крутоголов Г.Л. Потеря устойчивости тонколистовых конструкций из АМг при сварке стыковых швов с обратным формированием. Труды НКИ. - Николаев, 1977, вып.121, с.116...123.

2. Дремлюга А.И., Пшеничных В.П., Драган С.В., Каплун А.Я. Управление процессом деформации потери устойчивости при сварке с двухсторонним формированием шва. - В сб.: Управление сварочными процессами. - Тула, 1978, вып.1, с.29...34.

3. Дремлюга А.И., Драган С.В., Каплун А.Я. Уточнение метода определения параметров режима прокатки, выполняемой совместно со сваркой. Труды НКИ. - Николаев, 1979, вып.147, с.61...65.

4. Драган С.В. К вопросу о выборе места постановки прокатного ролика при односторонней сварке с прокаткой. Труды НКИ. - Николаев, 1979, вып.147, с.65...70.

5. Дремлюга А.И., Драган С.В., Каплун А.Я., Михайлов В.С.,

Заикин В.М. Повышение точности изготовления судовых тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов в условиях механизированного производства. - В сб.: Вопросы судостроения, серия: Технология судостроения. - Л.: ЦНИИ Румб, 1979, вып.23, с.3...11.

6. Михайлов В.С., Дремлюга А.И., Заикин В.М., Драган С.В. Механизированный способ компенсации сварочных деформаций при изготовлении тонколистовой обшивки на поточных линиях. Тезисы докладов на IX отраслевом научно-техническом совещании по механизации тяжелых и трудоемких работ в судостроении. - Л.: Судостроение, 1980, с.92...93.

