

1432347

НА АСМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

М и н и с т е р с т в о
Высшего и среднего специального образования
С С С Р

МОСКОВСКОЕ
ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ имени Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

КАПЛУН Александр Яковлевич

УДК 621.791.011

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ЛОКАЛЬНЫХ НАГРУЖЕНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ В
ПРОЦЕССЕ СВАРКИ СУДОКОРПУСНОЙ ОБШИВКИ

(05.03.06 - Технология и машины сварочного
производства)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

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

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

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. А.Г.ГРИГОРЬЯНИ
к.т.н., доцент В.Н.ПРОХОРОВ

Ведущее предприятие - указано в решении специализирован-
ного Совета

Защита диссертации состоится "___" _____ 198__ г.
на заседании Совета Д.О.З.И.С. при Московском ордена Ленина,
ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Зна-
мени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв в I-м экземпляре, заверенный печатью, просьба
высылать по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Училища.

Автореферат составлен "___" _____ 1985г.

У
СПЕЦИАЛИ
д.т.

Э.А.

А-97:
Подписан
Заказ №

М 432347

100 экз.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В современном судостроении все большее значение приобретают легкие алюминиево-магниеые сплавы, которые применяются при изготовлении корпусных конструкций современных быстроходных судов и надстроек судов большого водоизмещения со стальным корпусом. Наиболее распространенным типом конструкций, применяющихся на судах различного назначения, являются плоскостные секции. Производство подобного рода изделий наиболее эффективно на механизированной поточной линии, одна из основных позиций которой - позиция сварки полотнищ.

На внедряемых в отрасли механизированных поточных линиях эта позиция оснащается специализированным агрегатом, осуществляющим автоматическую одностороннюю сварку полотнищ с двусторонним формированием шва при одновременном локальном нагружении окошечной зоны, что обеспечивает высокую производительность труда и сокращает объем правочных работ. Поэтому, вопросы определения технологических параметров процесса изготовления полотнищ из алюминиево-магневых сплавов в условиях механизированного производства для всего необходимого диапазона конструкций, а также назначения на основе найденных технологических решений конструктивных характеристик специализированного агрегата, являются актуальными для судостроения.

Целью работы является разработка на основе расчетных методов научно обоснованной технологии локального нагружения, выполняемых в процессе сварки, повышающей точность изготовления судокорпусной обшивки в условиях механизированного производства.

Методы исследования. Основные задачи работы решались теоретическим путем с экспериментальной проверкой полученных результатов.

При разработке алгоритмов для определения напряжений и деформаций при сварке, расчете потери устойчивости листов при действии сварочных напряжений, а также при исследовании механизма и закономерностей деформирования обшивки при автоматической односторонней сварке с двухсторонним формированием шва при сопутствующем воздействии различных возмущений, вносимых локальными нагружениями, были применены методы теорий пластичности,

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1432347

Капун Я.Я. Разработка мет



упругости и сварочных деформаций. Разработка расчетных методик по определению технологических параметров локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки обшивки, осуществлялась с использованием положений строительной механики и теории обработки металлов давлением.

Экспериментальная проверка технологических рекомендаций проводилась на полунатурных образцах с использованием устройства для сварки с одновременной прокаткой или локальным выгибом металла околошовной зоны, разработанного автором.

Измерение полей остаточных напряжений и деформаций производилось механическим методом на базах равных 50 мм с использованием специальных деформометров.

Научная новизна работы. 1. Разработаны физико-математические модели технологических процессов локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки судокорпусной обшивки толщиной 2-14 мм, учитывающие взаимодействие возмущений от локальных нагружений с напряженно-деформированным состоянием изделия, вызванным термическим циклом сварки.

2. Установлено, что при автоматической сварке обшивки из сплавов типа АМгб с двусторонним формированием шва характерными видами деформаций являются: для толщин 2-8 мм - потеря устойчивости, а для толщин 10-14 мм - продольный и поперечный изгиб; обоснована возможность их устранения путем выполнения, в первом случае, прокатки, а во втором - локального выгиба околошовной зоны.

3. Разработан численный метод определения сварочных напряжений и деформаций, основанный на использовании экстремальных свойств действительного поля статически возможных скоростей напряжений и полученной в работе новой формулы, связывающей скорости пластических деформаций с достигнутым напряженным состоянием при шаговых методах расчета.

Практическая ценность. 1. Разработана методика определения технологических параметров локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки обшивки из сплава типа АМгб толщиной 2-14 мм.

2. Разработаны научно обоснованные рекомендации по технологии выполнения локальных нагружений, осуществляемых в процессе автоматической односторонней сварки с двусторонним формиро-

ванием шва стыковых соединений обшивки из сплавов тита АМгб, включающие конкретные параметры технологических процессов.

3. Определены исходные требования на проектирование специализированных агрегатов для оснащения позиций сварки полотнищ на внедряемых в судостроении механизированных поточных линиях.

Разработанные алгоритмы, программы расчета и типовые технологические процессы локальных нагружений, выполняемых при сварке обшивки, внедрены в производство.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на республиканских семинарах "Методы повышения точности сварных конструкций" в г. Николаеве (июнь 1981 г. и 1983 г.), научном семинаре кафедры "Материалы и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана (март 1983 г.), всесоюзном научно-техническом совещании "Проблемы совершенствования технологии и механизации судостроительного производства" в г. Калининграде (октябрь 1983 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Содержит 48 рисунков, II таблиц, 21 приложение и 144 наименования литературных источников, изложена на 110 страницах машинописного текста.

Первая глава посвящена анализу существующих методов расчета сварочных напряжений и деформаций с позиций требований определения оптимальных технологических параметров процесса локальных нагружений, выполняемых одновременно со сваркой обшивки судовых корпусных конструкций из алюминиево-магниевого сплава.

В результате литературного обзора установлено, что существует большое количество методов определения сварочных напряжений и деформаций, основы которых были разработаны советскими и учеными Г.А.Николаевым, Н.О.Окербломом, И.П.Троцуном, Г.В.Талыповым и базирующихся на ряде упрощающих исходную модель допущений, что позволяет получить конкретные результаты путем относительно простых вычислений.

Анализ показывает, что в случае применения этих методов, получаемая идеализированная модель в значительной мере отличается от реальных процессов, протекающих при сварке обшивки из алюминиево-магниевого сплава и действии сопутствующих локальных

нагружений, что делает эти методы непригодными для определения технологических параметров.

Другие методы расчета сварочных напряжений и деформаций получили развитие в связи с прогрессом средств вычислительной техники и ориентированы на применение быстродействующих ЭВМ. Разработка таких методов, называемых численными методами, связана с именами советских ученых В.А.Винокурова, В.И.Махненко, А.Г.Григорьянца, В.М.Сагалевича, К.М.Гатовского и других.

В результате проведенного анализа установлено, что среди численных методов наиболее обоснованными и эффективными являются такие, которые базируются на основных положениях теории неизотермического пластического течения, используют вариационную формулировку задач. Принципиально возможно применение этих методов для оценки напряженно-деформированного состояния при сварке обшивки с одновременным локальным нагружением, с достаточной степенью точности. Разработанные к настоящему времени численные методы предназначены для решения определенного круга задач, в число которых не входят задачи технологического характера и для расчета напряженно-деформированного состояния листовой обшивки, свариваемой одновременно с прокаткой или локальным выгибом околосшовной зоны детально разработанных и апробированных алгоритмов нет.

Исследование математической модели технологического процесса позволяют получить необходимые сведения о величине и характере распределения возмущений, вносимых локальными нагружениями, которые обеспечивают точность изготовления конструкций. Но такая информация мало пригодна для практического использования и, поэтому, весьма важным является определение взаимосвязи требуемых возмущений с технологическими параметрами процесса, что позволяет найти их конкретные значения.

Анализ показывает, что существующие методы расчета технологических параметров прокатки, выполняемой совместно со сваркой, не дают достаточно точных результатов, а методов по расчету технологических параметров локального выгиба полотна, выполняемого в процессе сварки, практически нет.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать, апробировать и внедрить в производство метод определения сварочных напряжений и деформаций, пригодный для решения задачи о сварке обшивки с одновременным локальным нагружением.

2. Исследовать процессы обуславливающие деформацию обшивки толщиной 2-14 мм при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва.

3. Исследовать процессы прокатки и локального выгиба, выполняемых в процессе сварки обшивки судовых корпусных конструкций.

4. Разработать и апробировать расчетные методики для определения технологических параметров процессов прокатки и локального выгиба, сопутствующих сварке листов.

5. Разработать и внедрить в производство руководящие материалы на выполнение локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки обшивки, в условиях механизированного производства.

Вторая глава посвящена разработке метода исследования деформаций и напряжений, возникающих при сварке обшивки. Предлагаемый метод базируется на основных положениях теории неадиабатического пластического течения для изотропно упрочняемых материалов.

Задача неадиабатического пластического течения полностью определяется основными соотношениями теории и известными условиями на границе рассматриваемого тела. Одним из наиболее эффективных способов решения такой задачи является использование методов, позволяющих получить прямое решение, минуя необходимость решения системы физически нелинейных уравнений в частных производных с заданными краевыми условиями. Такие возможности предоставляют различные вариационные принципы. В тех случаях, когда граничные условия задачи могут быть сформулированы в скоростях изменения напряжений, удобно применять минимальный принцип для скоростей изменения напряжений, согласно которому абсолютный минимум выражения

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_V \dot{\sigma}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} dV - \int_{S_u} \dot{\sigma}_{ij} n_j \dot{u}_{i0} ds \quad (1)$$

где n_j - единичный вектор внешней нормали к поверхности;

$\dot{\sigma}_{ij}, \dot{\epsilon}_{ij}$ - компоненты тензоров скоростей изменения напряжений и деформаций, соответственно;

V - объем тела;

S_u - поверхность, на которой заданы начальные скорости перемещений $\dot{u}_{i0}$

определенного для всех статически возможных полей скоростей изменения напряжений отвечает действительному.

В случае плоского напряженного и плоского деформированного состояний связь между напряжениями и деформациями выражается зависимостями

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_x &= \frac{1}{E} [\dot{\sigma}_x - \mu(\dot{\sigma}_y + \dot{\sigma}_z) - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \cdot \frac{E}{E^2} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] + \\ &+ \alpha \dot{T} + \alpha T + \frac{\lambda}{3} (-\sigma_x - \sigma_y - \sigma_z) \\ \dot{\epsilon}_y &= \frac{1}{E} [\dot{\sigma}_y - \mu(\dot{\sigma}_x + \dot{\sigma}_z) - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] \cdot \frac{E}{E^2} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] + \\ &+ \alpha \dot{T} + \alpha T + \frac{\lambda}{3} (2\sigma_y - \sigma_x - \sigma_z).\end{aligned}\quad (2)$$

где R - модуль Юнга, $\dot{\epsilon}_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{2G} - \frac{G}{2G^2} \sigma_{xy} + \lambda \sigma_{xy}$

G - модуль сдвига,

μ - коэффициент Пуассона,

α - коэффициент линейного расширения,

T - температура,

λ - скалярный множитель, связывающий скорости пластических деформаций с достигнутым напряженным состоянием,

$\sigma_z = \dot{\sigma}_z = 0$ - для плоского напряженного состояния.

Для плоского деформированного состояния

$$\dot{\epsilon}_z = \dot{\epsilon}_z^0 + \dot{a}x + \dot{b}y \quad (3)$$

где $\dot{a}$ и $\dot{b}$ - скорости изменения кривизны изгиба в плоскостях ZX и ZY , соответственно.

$\dot{\varepsilon}_z^0$ - скорость изменения деформации волокна $x=y=0$.

Величины $\dot{\varepsilon}_z^0$, $\dot{a}$ и $\dot{b}$ определяются условиями равновесия на торцах тела.

Для решения исходной задачи рассматриваемое тело представляется в виде сеточной области, а все интегралы, входящие в исходный функционал (1) аппроксимируются по известным квадратурным формулам. Подставляя в полученные зависимости уравнения (2) и (3) и, выражая скорости изменения напряжений через функцию скоростей изменения напряжений φ , минимизируем функционал, предварительно заменив частные производные их конечно-разностными аналогами. В результате получается система линейных алгебраических уравнений, количество неизвестных которой равно количеству узлов сетки.

Вычисления проводятся следующим образом. Для каждого шага по времени t_n по известному напряженно-деформированному состоянию определяется из решения системы уравнений скорость изменения функции напряжений, используя которую находят скорости напряжений. Подставляя найденные скорости напряжений в выражения (2) определяют скорости деформаций и производится корректировка скалярного множителя λ для следующего шага.

Для корректировки скалярного множителя λ в работе предложена формула

$$\lambda^n = \frac{3}{2} \frac{1}{(\sigma_i^n)^2 \Delta t} \left\{ -[(e_{ij}^p)^{n-1} (s_{ij})^n] + \sqrt{[(e_{ij}^p)^{n-1} (s_{ij})^n]^2 + \left[\left[(\varepsilon_i^p)^n \right]^2 - \left[(\varepsilon_i^p)^{n-1} \right]^2 \right] (\sigma_i^n)^2} \right\}$$

где s_{ij} , e_{ij}^p - компоненты девиаторов напряжений и пластических деформаций, соответственно,

σ_i , ε_i^p - интенсивности напряжений и пластических деформаций.

Интегрируя по времени скорости изменения деформаций и напряжений можно определить напряженно-деформированное состояние в любой момент.

Оценка потери устойчивости обшивки под действием найденных напряжений в данной работе осуществлялась путем применения к решению основного уравнения изгиба пластин метода

Кантаровича-Власова в сочетании с конечно-разностным методом. Условия существования решения получаемой однородной системы линейных алгебраических уравнений определяют потерю устойчивость.

На основании разработанных алгоритмов были созданы рабочие программы на языке ФОРТРАН IV ЕС ЭЕМ, внедрение которых дало экономический эффект 18 тыс.руб. в год.

В третьей главе приводятся результаты теоретических исследований напряженно-деформированного состояния обшивки при автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва, выполняемой совместно с прокаткой или локальным выгибом.

Величина и характер формы поверхности обшивки судовых конструкций, изготавливаемых методом сварки листов, обуславливается особенностями нагрева материала в процессе сварки.

При автоматической односторонней сварке с двусторонним формированием шва обшивки из алюминиево-магниевого сплава толщиной свыше 10 мм нагрев металла характеризуется трехмерной неоднородностью, что приводит к недопустимым искажениям конечной формы обшивки, определяемым только неравномерным по толщине распределением остаточных продольных и поперечных пластических деформаций, так как при сварке листов толщиной свыше 8 мм действующие напряжения не превышают критического уровня и обшивка не может терять устойчивость.

Сварка листов толщиной менее 8 мм характеризуется равномерным по толщине нагревом материала, что исключает изменение формы обшивки от угловых деформаций и продольного изгиба. Но, вследствие снижения жесткости изделия, действующие продольные напряжения превышают критические и происходит потеря устойчивости обшивки в продольном направлении.

Поэтому, для устранения деформаций сварной обшивки толщиной менее 8 мм целесообразно применение сварки с сопутствующей прокаткой околошовной зоны (впервые идея такого метода была высказана С.А.Куркиным), которая путем непрерывной осадки металла по толщине создает продольные пластические деформации, компенсирующие сварочные.

Для устранения деформаций продольного и поперечного изгиба сварной обшивки толщиной свыше 10 мм эффективно применение ее локального выгиба в процессе сварки, который создает продольные и поперечные напряжения, вызывающие появление пластических деформаций, обратных сварочным.

Анализ напряженно-деформированного состояния при автоматической сварке обшивки, выполняемой совместно с прокаткой, показывает, что ее эффективность как способа снижения остаточных продольных напряжений и, как следствие, вероятности потери устойчивости обшивки, определяется расстоянием между осью сварочной горелки и местом выполнения прокатки. Если прокатка осуществляется по зоне сварочных пластических деформаций в области нагрева материала до температуры близких к температуре потери упругих свойств, то это не вызывает существенных изменений в картине остаточных напряжений. По мере удаления прокатных роликов от дуги, влияние прокатки на продольные остаточные напряжения возрастает и стабилизируется на участке, ограниченном пересечением изотерм 370 и 420 К с осью шва. Полное устранение деформаций потери устойчивости достигается в тех случаях, когда объемы продольных пластических деформаций, образовавшихся в результате сварки и вносимых прокаткой равны, причем, ширина зоны прокатки должна составлять 0,7–0,8 от ширины зоны сварочных пластических деформаций, которая для рекомендованных режимов сварки может быть аппроксимирована формулой

$$b_n = -0,056S^2 + 1,060S + 3,604 \exp(2,5S/\sigma_{0,2})$$

где S – толщина свариваемых листов в мм, $\sigma_{0,2}$, МПа.

Эффективность устранения изгиба сварной обшивки путем локального выгиба, осуществляемого посредством двух симметрично расположенных относительно оси шва роликов, определяется такими факторами как величина поперечных напряжений выгиба и характер их распределения, так как продольные напряжения выгиба однозначно связаны с поперечными.

Напряжения локального выгиба оказывают наибольшее воздействие на остаточный изгиб обшивки в тех случаях, когда положение оси выгибающих роликов совпадает с областью максимальной

ширины изотерм 470–520 К, что позволяет использовать эффект снижения предела текучести алюминиевых сплавов под действием тепла сварочной дуги.

Величина продольных напряжений, возникающих при локальном выгибе полотна меньше величины поперечных напряжений в соответствующих точках в 1,4–2,7 раза, вследствие чего в остаточном состоянии сварной обшивки сохраняется продольный изгиб при нулевом значении величины поперечного изгиба. Для достижения нулевых значений остаточного продольного изгиба обшивки в исследованном диапазоне толщин и режимов сварки величина поперечных напряжений должна быть увеличена в 1,3–2,0 раза по сравнению с требуемыми для обеспечения нулевого поперечного изгиба. При этом развивается поперечный изгиб в сторону обратную устранимому.

Таким образом, одновременное достижение нулевых значений продольного и поперечного остаточного изгиба обшивки при выполнении локального выгиба обшивки одной парой роликов в процессе сварки невозможно.

В четвертой главе определяются уточненные технологические параметры реальных процессов локальных нагружений, выполняемых одновременно с автоматической двусторонней сваркой с обратным формированием шва листовой обшивки судовых корпусных конструкций.

Силовые технологические параметры локальных нагружений определяются величиной внешних возмущений, необходимых для устранения деформаций сварного изделия. При выполнении прокатки или локального выгиба полотна такими возмущениями являются, соответственно, единичный объем продольных пластических деформаций $V_{кр}$ и максимальные поперечные напряжения.

Для определения усилия прокатки P узкими роликами из решения уравнения баланса работ внешних сил и энергии пластического деформирования металла была получена формула

$$P = \sqrt{\frac{2bR}{V_{пр}}} \left\{ \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} s \left[2b \ln \left(1 + \frac{V_{пр}}{bS} \right) + \sqrt{\frac{2V_{пр}R}{b}} \right] - \frac{1}{2} V_{пр} \sigma_n \right\}$$

где b – ширина прокатываемой зоны,
 R – радиус прокатного ролика,

σ_H - напряжения, действующие в месте прокатки,
 σ_s - предел текучести материала в месте прокатки.

Величина усилия локального выгиба полотна рассчитывалась путем сравнения максимальных напряжений, определяемых общим решением задачи об изгибе пластины сосредоточенной силой, с заданными.

Аналогично находятся и геометрические параметры (координаты точки приложения усилия) локального выгиба.

Величины технологических параметров реальных процессов локальных нагружений, выполняемых одновременно со сваркой обшивки, определялись с учетом их взаимовлияния, а также требований, налагаемых условиями производства и последующей эксплуатации конструкций.

Выполненные исследования показали, что требование сохранения плоскостности обшивки при использовании процесса прокатки, выполняемой одновременно со сваркой, достигается применением прокатных роликов с шириной рабочей поверхности $b_p = 50$ мм для свариваемых листов толщиной 2-4 мм, установленных на расстоянии 80 мм от дуги, и $b_p = 60$ мм для свариваемых листов толщиной 5-8 мм, установленных на расстоянии 120 мм от дуги. При этом, требуемый характер пластического течения металла по толщине обеспечивается применением прокатных роликов радиусом $R = 20$ мм - в первом случае и $R = 40$ мм - во втором случае, а усилие прокатки определяется формулой

$$P = As^3 + Bs^2 + Cs + D$$

где P - усилие прокатки, кН,

s - толщина обшивки, мм.

A, B, C, D - коэффициенты гн, определяемые по таблице.

Марка материала	Коэффициенты			
	A	B	C	D
AMгЗ	-0,16	2,55	-9,10	12,31
AMгC	-0,27	4,10	-14,20	17,10

Локальный выгиб одной парой роликов, выполняемый в процес-

се сварки обшивки толщиной 10–14 мм и обеспечивающий требуемую точность ее изготовления, энергетически наиболее выгодно осуществлять при расположении оси выгибающих роликов на расстоянии 190 мм от дуги, а требуемый характер распределения выгибающих напряжений достигается при симметричном расположении роликов относительно оси шва на расстоянии 500–600 мм друг от друга (проем в стенде, служащий для осуществления локального выгиба обшивки, принят шириной 1100 мм). Величины усилий локального выгиба для изготовления обшивки из сплава АМг6 на каждом ролике составляют: для толщин 10–12 мм $P = 3$ кН; для толщин 12–14 мм $P = 5$ кН. Для обшивки из сплава АМг3 толщиной 10 мм $P = 1,5$ кН.

Экспериментальная проверка полученных результатов по определению параметров локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки, осуществлялась путем сварки полунатурных образцов из сплавов АМг3 и АМг6 на специализированной установке, конструкция которой разработана на основании выполненных исследований и защищена авторским свидетельством № 1013173.

Полученные экспериментальные данные с точностью до 20% совпадают с расчетными значениями остаточных напряжений и деформаций при заданных технологических параметрах, а искажения конечной формы образцов не превышали требуемых значений.

На основании полученных результатов были разработаны типовые технологические процессы, внедряющиеся на одном из предприятий отрасли, ожидаемый экономический эффект от внедрения которых составляет около 30 тыс.руб. в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа существующих методов расчета сварочных напряжений и деформаций установлено, что для расчетного определения технологических параметров локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки листов и обеспечивающих заданную форму судокорпусной обшивки целесообразна разработка эффективных методов расчета на базе теории неизотермического пластического течения, ориентированных на применение ЭВМ.

2. Разработаны физико-математические модели технологиче-

ских процессов локальных нагружений, выполняемых в процессе сварки судокорпусных обшивок толщиной 2-14 мм, учитывающие влияние возмущений от локальных нагружений на напряженно-деформированное состояние изделия, вызванное процессом сварки, и позволяющие провести оптимизацию технологических параметров.

3. Исследован процесс возникновения и развития напряжений и деформаций при автоматической сварке обшивки из алюминиево-магниевого сплава типа АМг6 толщиной 2-14 мм. Показано, что основными факторами, определяющими остаточную форму поверхности обшивки, могут являться волнистость обшивки, а также продольный и поперечный изгиб.

4. Установлено, что волнистость обшивки обусловлена высоким уровнем сварочных напряжений и имеет место при сварке листов толщиной менее 8 мм. При сварке обшивки толщиной свыше 10 мм характерным видом искажения формы является продольный и поперечный изгиб, обусловленный неравномерным распределением пластических деформаций по толщине листов.

5. Установлено, что для повышения точности изготовления обшивки возможно применение прокатки или локального выгиба, совмещенных со сваркой. Величина усилий, требуемых для устранения деформаций минимальны при выполнении локального выгиба на расстоянии 130-190 мм позади источника нагрева и при выполнении прокатки в районе изотерм 370-420 К, что снижает уровень продольных напряжений на 70-80% при одновременном увеличении на 20-25% уровня поперечных напряжений.

6. Разработана методика определения параметров режимов прокатки и локального выгиба, выполняемых совместно со сваркой.

Для определения усилий прокатки, на основе методов теории обработки металлов давлением, была получена формула, позволяющая повысить точность определения усилия прокатки на 50-60%.

Впервые для судостроения установлено, что основными параметрами локального выгиба, осуществляемого в процессе сварки листов, являются координаты места установки выгибающих роликов и величина усилия выгиба. Получены зависимости для определения технологических параметров локального выгиба.

7. На основании исследований, проведенных с использованием разработанных методов, определены оптимальные технологические параметры реальных технологических процессов локальных нагружений, выполняемых совместно со сваркой обшивки из сплавов типа АМг6, подтвержденные экспериментальной проверкой.

8. Внедрение рабочих программ по расчету сварочных напряжений и деформаций на основании разработанных алгоритмов снизило затраты машинного времени и повысило производительность труда инженерно-технических работников, что дало годовой экономический эффект 18,0 тыс.руб.

9. Внедрение типовых технологических процессов на основании разработанных рекомендаций на одном из предприятий отрасли позволит повысить качество изготавливаемых конструкций при снижении трудоемкости с ожидаемым экономическим эффектом 30 тыс.рублей в год.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Управление процессом деформации потери устойчивости при сварке с двухсторонним формированием шва. / А.И.Дремлюга, В.П.Пшеничных, С.В.Драган, А.Я.Каплун. - В сб.: Управление сварочными процессами. - Тула, 1977, вып.1, с.29-34.

2. Драган С.В., Дремлюга А.И., Каплун А.Я. Уточнение метода определения параметров режима прокатки, выполняемой совместно со сваркой. - Труды/НКИ. - Николаев, 1979, вып.147, с.56-65.

3. Повышение точности изготовления судовых тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов в условиях механизированного производства./ А.И.Дремлюга, С.В.Драган, А.Я.Каплун и др. - В сб.: Вопросы судостроения. Серия: Технология судостроения. - Л.: ЦНИИ Румб, 1979, с.3-11.

4. Каплун А.Я., Дремлюга А.И. Об одном методе решения задачи о сварочных напряжениях и деформациях. - Труды/НКИ. - Николаев. 1981, вып.173, с.42-47.

5. Каплун А.Я. Решение задачи плоского деформированного состояния в условиях сварочного нагрева. - Труды/НКИ. - Николаев. 1982, вып.184, с.26-31.

6. А. с. № 1013173 Устройство для сварки / А.И. Дремлюга, А.Я.Каплун, В.С.Михайлов и др. - БИ, 1983, №15

Каплун

