А295362

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

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

На правах рукописи

ДИНАСЫЛОВ Алмас Даменович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ УЗЛОВ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ

(05.05.05 – Подъемно-транспортные машины)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1976

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

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

На правах рукописи

ДИНАСЫЛОВ Алмас Даменович

МД95362

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ УЗЛОВ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ

(05.05.05 – Подъемно-транспортные машины)

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1295362
Динасылов А.Д. Исследовани

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ВЕРШИНСКИЙ А.В.

Научный консультант – д.т.н., профессор САГАЛЕВИЧ В.М.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор ЖЕРМУНСКИЙ Б.И.

к.т.н. КИСЕЛЕВ С.Н.

Ведущее предприятие: МОСБАССГИПРОГОРМАШ

Автореферат разослан "18" сентября 1976 г.

Защита диссертации состоится "18" октября 1976 г. на заседании специализированного совета по транспортному машиностроению при МВТУ им. Н.Э.Баумана (шифр К-33/10) по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Училища.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА КОЛОБОВ Л.Н.

Заказ 1737. Тираж 100экз. Объем 1,0 п.л.
Ротапринт МВТУ. Л.101666 от 16.09.76. Бесплатно

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Обеспечение геометрической точности сварных узлов балочных конструкций является весьма актуальной проблемой с точки зрения снижения трудоемкости процесса изготовления мостовых кранов и повышения их качества. Согласно данным ВНИИтяжмаш в некоторых случаях отклонения от допусков в крановых балках от серповидности достигают (300...1000)%, по строительному подъему - 100%, по местным отклонениям вертикальных стенок от плоскостности - (100...400)%. Нарушения геометрии вынуждают применять различные методы предотвращения и устранения деформаций, такие как термическая правка, "растяжка", сборка и сварка с использованием распорок и клиньев, сварка под нагрузкой и т.д. Эти мероприятия значительно увеличивают трудоемкость изготовления балок, не всегда обеспечивают необходимую геометрию изделий и недостаточно обоснованы.

Цель исследования. Целью данной работы явилась разработка мероприятий по обеспечению точности сварных балочных конструкций мостовых кранов и их элементов при изготовлении.

Методы исследования. Достижение поставленной в диссертации цели базируется на комплексном подходе к конструированию крановых металлоконструкций и проектированию технологии их изготовления, который заключается, во-первых, в использовании достаточно точных и простых методов расчета ожидаемых деформаций при сварке, во-вторых, в применении рациональных технологических приемов для обеспечения необходимой геометрии сварных узлов на отдельных стадиях изготовления с оценкой влияния их на напряженное состояние, и в третьих, в общих принципах конструирования мостовых кранов.

В диссертации разработаны расчетные методы по определению напряжений и деформаций в сварных узлах при воздействии на них внешних силовых факторов и нестационарных тепловых полей, вызываемых выполнением отдельных сварных соединений. Методы расчета основаны на замене сплошного тела дискретными элементами и предполагают широкое применение ЭВМ. Использование положений строительной механики позволяет проследить историю сложного нагружения конструкций.

Экспериментальная часть работы, целью которой явилась про-

верка методов расчета деформаций и напряжений, технологических и конструктивных рекомендаций по предупреждению и устранению деформаций при изготовлении крановых металлоконструкций, включила измерение геометрических параметров натурных конструкций, остаточных напряжений и деформаций в образцах.

Научная новизна работы заключается в разработке новых и усовершенствовании существующих методов расчета остаточных деформаций и напряжений при сварке и эксплуатационном нагружении. Расчетные схемы, представляющие собой расчленение сварных соединений и конструкций на стержни, позволяют более точно, по сравнению с существующими приближенными методами, прослеживать развитие пластических деформаций. Выявлен и объяснен новый деформационный эффект – возникновение остаточных деформаций удлинения в околошовной зоне. Разработан новый способ устранения деформаций потери устойчивости тонколистовых сварных элементов.

Практическая ценность. Применение методов расчета и рекомендуемых методов предотвращения и устранения деформаций позволяет обеспечить необходимую геометрию узлов балок мостовых кранов на различных стадиях изготовления и в эксплуатации достаточно простыми и надежными путями.

Апробация работы. Методы расчета напряжений и деформаций, развитые в диссертации, положены в основу разрабатываемой для краностроительных заводов комплексной методики расчета точности изготовления узлов балочных конструкций. На основе способа устранения деформаций потери устойчивости создается оборудование для ряда заводов.

Публикация. По материалам работы опубликовано 10 статей и получено авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, двух приложений и списка литературы. Всего страниц машинописного текста 208, в том числе 60 рисунков и 7 таблиц на 60 страницах, 2 приложения на 11 страницах, список литературы из 149 названий на 14 страницах.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Наиболее часто при изготовлении мостовых кранов имеют место деформации изгиба балочных элементов (серповидность и отклонение строительного подъема) и местные отклонения от плоскостности (волнистость) в вертикальных стенках балок.

Волнистость образуется вследствие потери устойчивости стенок под действием сжимающих остаточных напряжений и угловых деформаций при приварке диафрагм к стенкам.

Деформации потери устойчивости определяются, в основном, продольными сжимающими напряжениями от выполнения отдельных сварных швов. В настоящее время в различных отраслях техники для устранения подобных деформаций применяются как технологические мероприятия (прокатка, проковка), так и конструктивные (использование технологических ребер жесткости). Однако применение их приводит к увеличению трудоемкости изготовления конструкций и не всегда осуществимо.

Устранение угловых деформаций, вызываемых приваркой диафрагм к вертикальным стенкам крановых балок, с помощью известных технологических мероприятий неосуществимо ввиду особенностей конструкции.

Деформации изгиба балочных элементов определяются продольной усадкой продольных швов и поперечной усадкой поперечных швов. В ряде случаев обеспечение необходимой геометрии балок возможно при назначении рациональной последовательности выполнения сварных соединений, что требует достаточно точных и простых методов расчета остаточных сварочных деформаций. В других случаях это может быть достигнуто путем приложения к свариваемым элементам внешних сил до и после сварки; при этом следует расчетным путем определить необходимую величину их, для чего нужна методика расчета взаимодействия сварочных напряжений и напряжений от внешних нагрузок.

Современный этап развития науки о деформациях и напряжениях, вызываемых тепловым воздействием сварочного источника на металл, характеризуется параллельным развитием приближенных методов расчета и более точных, основанных на использовании аппарата теории термопластичности с применением ЭВМ.

Большой вклад в развитие теории сварочных напряжений и деформаций внесли советские ученые Г.А.Николаев, Н.О.Окерблом, И.П.Байкова, О.А.Бакши, В.А.Винокуров, К.М.Гатовский, В.С.Игнатьева, С.А.Кузьминов, А.А.Казимиров, В.И.Махненко, Н.Н.Прохоров, В.М.Сагалевич и другие. Из зарубежных исследований следует отметить работы М.Ватанабе, К.Масабучи, В.Спраргена, Ю.Уэда и ряд других.

Приближенные методы расчета общих деформаций (инженерный метод Окерблома Н.О., методы Трочуна И.П., Кузьминова С.А. и др.) не учитывают сложный характер нагружения при сварке и т.д. Применение более точных методов, основанных на использовании аппарата термопластичности (Винокуров В.А., Григорьянц А.Г., Махненко В.И. и Великоиваненко Е.А., Уэда, Гатовский К.М. и др.), для поставленной задачи достижения точности изготовления конструкций нецелесообразно, а в ряде случаев и невозможно ввиду сложности алгоритмов и необходимости значительного объема памяти ЭВМ и машинного времени.

В диссертации поставлены следующие задачи:

I. Разработка комплексной методики расчета остаточных деформаций и напряжений в балочных конструкциях и их листовых элементах при сварке и силовом нагружении, позволяющей проследить сложное нагружение свариваемых элементов и включающей:

а) усовершенствование метода расчета продольных (по отношению к шву) остаточных напряжений и деформаций при сварке пластин встык и выполнении продольных швов балочных конструкций;

б) разработку метода расчета продольных напряжений и деформаций в балочных конструкциях от поперечной усадки поперечных сварных соединений;

в) разработку метода расчета взаимодействия сварочных напряжений с напряжениями от внешних нагрузок, прикладываемых до или после сварки.

2. Разработка конструктивно-технологических мероприятий для уменьшения волнистости вертикальных стенок крановых балок.

Глава 2. РАСЧЕТ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ПЛАСТИН ВСТЫК

Расчетная схема представляет систему продольных стержней одинакового поперечного сечения, на которые расчленяются свариваемые элементы. Принимаются следующие допущения; гипотеза плоских сечений, одноосности напряжений, одновременности заварки шва по длине, диаграмма деформирования Прандтля, постоянство теплофизических параметров и модуля упругости, схематизированная зависимость предела текучести от температуры ($\sigma_T = const$ при $T \leq T_y$, $\sigma_T = 0$ при $T > T_y$, где T_y, предельная температура упругого состояния, принимается равной 600°С для малоуглеродистых сталей).

Для прослеживания сложного нагружения производится разбивка термического цикла на временные этапы. Для стержней, нагревающихся при сварке выше T_y, определяются моменты времени достижения в них T_y при нагреве и остывании, т.к. от этого зависит жесткость свариваемых элементов (при переходе температуры в стержне через T_y при нагреве следует перераспределить напряжения, которые были в нем). Для остальных стержней определяются моменты достижения максимальной температуры, т.к. в них при этом происходит изменение знака температурной деформации ε_i. Распределение температуры принимается по уравнению Н.Н.Рыкалина для мощного быстродвижущегося линейного источника тепла.

Различаются два случая, определяющих выбор расчетной схемы: совместное и раздельное деформирование свариваемых элементов. При выполнении швов без выводных планок, когда до окончания прохода начало шва не успевает обрести упругие свойства ($T_ш > T_y$), принимается схема раздельного деформирования. В случае протяженных швов, когда начало шва успевает остыть до окончания сварки, или при наличии жестких непровариваемых выводных планок принимается схема совместного деформирования.

Решение уравнений статики на каждом этапе с использованием соотношений, связывающий между собой напряжения, деформации и температуру при неравномерном нагреве,

$$\Delta\sigma_i = -(\varepsilon_i - \Delta p_i)\cdot E, \qquad \varepsilon_i = \alpha\cdot\Delta T_i,$$

и уравнения, вытекающего из гипотезы плоских сечений,

$$\Delta p_i = \Delta p_1\cdot(n-i)/(n-1) + \Delta p_n\cdot(i-1)/(n-1),$$

позволяет определять приращения напряжений $\Delta\sigma_i$ и составляющих совместной деформации Δp_i. Суммирование их со значениями, определенными на предыдущем этапе, дает упругое решение.

Для перераспределения напряжений, превышающих σ_T, определяется стержень, в котором превышение максимально, напряжения в нем приравниваются σ_T (со своим знаком), а "избыток" $\Delta\sigma$ распределяется на остальные стержни. Наложение приращений напряжений (деформаций) от $\Delta\sigma$ на упругое решение дает первое упруго-пластическое приближение. Рассмотренная процедура повторяется, пока абсолютные значения напряжений во всех стержнях не станут $\leq \sigma_T$ (с некоторой погрешностью). При этом полагается, что стержни, с которых уже снимался "избыток" напряжения, и

для которых последующее приближение дает приращения напряжений того же знака, что и существующие в них напряжения, равные $\sigma_т$, на данном приближении не воспринимают дополнительную нагрузку. Для выявления их перед каждым приближением производится пробное решение.

Сравнение результатов расчета применительно к сварке пластин из стали Ст.3 при раздельном и совместном деформировании, при наложении валика на кромку с экспериментальными значениями остаточных напряжений и деформаций показало удовлетворительную сходимость.

Расчетным путем и экспериментально установлено, что в случае раздельного деформирования свариваемых элементов в околошовной зоне образуются остаточные деформации удлинения.

Если ширина свариваемых пластин намного превосходит длину шва, напряжения и деформации в периферийных зонах не возникают. Расчетная ширина, в пределах которой локализуются действия сварки, приближенно определяется, как

$$2\delta_р = 2\delta_н + 2K\ell_ш,$$

где $2\delta_н$ – ширина зоны действия остаточных напряжений растяжения или зоны, в пределах которой максимальная температура при сварочном нагреве превышает некоторое граничное значение $T_{гр}$; K – коэффициент, который согласно принципу Сен-Венана, может быть принят равным 2,0÷3,0; $\ell_ш$ – длина шва.

По аналогии определяется граничное значение ширины, при которой справедлива гипотеза плоских сечений; в этом случае следует принимать значение $K = 0,7$.

Расчетное исследование влияния режимов сварки и жесткости (ширины) свариваемых элементов на напряженно-деформированное состояние соединений пластин встык при совместном деформировании позволило заключить следующее: 1) увеличение погонной энергии сварки приводит к увеличению продольной усадки $\Delta_{пр}$ и ℓ – ширины зоны действия остаточных напряжений растяжения, равных $\sigma_т$; 2) увеличение ширины пластин при постоянной удельной погонной энергии сварки приводит к уменьшению усадки и увеличению ширины ℓ.

Аналогичный анализ при раздельном деформировании показал, что: 1) с увеличением ширины пластин возрастает значение ℓ, и, хотя удлинение на оси шва остается, преобладающими становят-

ся продольные остаточные деформации укорочения; 2) с увеличением погонной энергии неравномерность остаточных деформаций по ширине возрастает.

Расчетная методика развита применительно к различным материалам, применяемым в краностроении - низколегированным сталям и алюминиевым сплавам. При расчете напряжений и деформаций в соединениях из низколегированных сталей (10ХСНД, 15ХСНД, 09Г2 и др.) все теплофизические и механические параметры, кроме предела текучести $\sigma_т$, могут быть приняты, как для малоуглеродистых сталей. Применительно к алюминиевым сплавам (АМг6 и др.), имеющим уровень остаточных напряжений растяжения в околошовной зоне ниже предела текучести, экспериментальное исследование деформирования образцов позволило ввести в алгоритм расчета уточнение, связанное с проявлением эффекта Баушингера.

Глава 3. РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Методика расчета продольных напряжений и деформаций при сварке (гл.2) развита применительно к балочным элементам. Выведены расчетные зависимости для случая выполнения угловых поясных швов в балках коробчатого сечения. Для удобства записи формул за основные неизвестные выбраны 8 неизвестных $\Delta p_1 - \Delta p_8$ - приращения составляющих совместной деформации в первых и последних стержнях стенок и полок. Система восьми уравнений с восьмью неизвестными составлена с использованием трех уравнений статики и пяти уравнений, вытекающих из гипотезы плоских сечений и связывающих между собой значения $\Delta p_1 - \Delta p_8$.

Сравнение результатов расчета прогибов балок коробчатого сечения при различной последовательности выполнения поясных швов с экспериментальными и литературными (Савельев В.Н., Махненко В.И.) данными показало удовлетворительную сходимость. Экспериментальные измерения прогибов производились на балках длиной 5 м с размерами поперечного сечения: высота стенок 450 мм, ширина поясов 270 мм, толщина стенок и поясов - 6 мм. Автоматическая сварка под флюсом проводилась на режиме: J =600а, U =32в, V_c =0,7 см/сек. Исследования показали, что последовательность выполнения отдельных швов оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние балочных конструкций.

Увеличение жесткости балки за счет увеличения ширины полок и высоты стенок при тех же толщинах элементов и режимах сварки приводит к уменьшению относительной площади поперечного сечения балки с растягивающими остаточными напряжениями и соответственно, к снижению уровня сжимающих остаточных напряжений; балки обладают меньшей деформативностью.

Методика расчета приемлема к конструкциям из разнородных материалов. В настоящее время в краностроении находят применение балки с полками из низколегированной стали, а стенками – из малоуглеродистой. Для подобных конструкций при определении напряжений и деформаций перераспределение напряжений производится каждый раз с того стержня, в котором отношение абсолютной величины напряжения к пределу текучести максимально.

Анализ существующих методов расчета деформаций балок от поперечных швов показал (гл.I), что расчет производится исходя из предпосылки упругой работы конструкции, и напряжения при этом не определяются. В то же время известно (Винокуров В.А. и др.), что большая жесткость конструкций приводит к развитию пластических деформаций в зоне поперечных швов, а это обуславливает существенно меньшие значения деформаций.

Экспериментальное изучение поперечной усадки (совместно с Хошеверовым А.Д.) позволило установить, что распределение ее в поперечных по отношению к шву сечениях близко к равномерному в пределах некоторого участка малой ширины, значение которой может быть принято равной ℓ –ширине зоны продольных остаточных растягивающих напряжений, равных пределу текучести (гл.2).

Предложенные в работе расчетные схемы по определению остаточных напряжений и деформаций при выполнении коротких швов* представляют собой расчленение конструкций на 2 элемента. Из балки, на которой выполняется поперечный шов длиной $\ell_ш$, выделяется элемент I с размерами $\ell \times \ell_ш$; оставшаяся часть балки представляет собой элемент II. При "сшивании" элементов I и II записываются уравнения статики и используется гипотеза плоских сечений. Суммарная деформация элементов I и II приравнивается величине свободной поперечной усадки $\Delta_{поп}$. В результате ре-

* – под термином "короткие швы" подразумевается правомерность принятия гипотезы одновременности заварки шва по длине.

шения определяется равнодействующая сила P и напряжения в элементах I и II. Если полученные при этом значения напряжений превышают σ_T, то следует переходить к упруго-пластической схеме решения; в более сложных случаях нужно расчленять балку на продольные стержни и прослеживать развитие пластических деформаций в них.

Экспериментальная проверка подтвердила правильность разработанной расчетной методики.

В диссертации предложена методика расчета деформаций и напряжений, возникающих при выполнении протяженных поперечных швов на балках. Выведены расчетные формулы и составлена программа для случая приварки диафрагм к стенкам балок коробчатого сечения. Балки расчленяются на ряд поперечных по отношению к шву стержней шириной ℓ. Рассматривается только этап остывания. Для различных моментов времени, начиная с момента появления упругих свойств в первом из "перерезанных" при сварке стержней, прослеживается развитие тепловых деформаций и деформаций совместности в отдельных стержнях.

Разработана методика расчета остаточных напряжений в балочных конструкциях при совместном действии продольной и поперечной усадки различных сварных соединений с учетом сложного нагружения.

Глава 4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С ДЕФОРМАЦИЯМИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ УЗЛОВ БАЛОК МОСТОВЫХ КРАНОВ

Для устранения деформаций потери устойчивости сварных элементов разработан новый способ.

В первом приближении нагружение сварного соединения пластин встык может быть представлено как равномерное растяжение околошовной зоны и сжатие периферийных зон. Если соединение подвергнуть обжатию в поперечном сечении с тем, чтобы устранить остаточные напряжения растяжения в околошовной зоне и, соответственно, уравновешивающие напряжения сжатия в периферийных зонах, то соединение как бы разделится на отдельные участки, подвергнутые действию тех же напряжений. Если при этом новое значение критических напряжений, увеличивающееся с уменьшением длины сжатых участков, станет больше остаточных сжимающих напряжений, то соединение, потерявшее ранее устойчивость, восстановит форму. Необходимую длину участков можно определять расчетом или экспериментально. Величина остаточных напряжений в ряде

случаев может рассчитываться по методике, данной в главе 2.

Способ подтвержден экспериментально на образцах из сплава АМг6 (δ = 2 мм) и сталей Ст.3, 09Г2 (δ = 6 мм, 8, 10). Так, обжатие усилием 70 тс соединения с размерами 1200х500х8 мм (Ст.3) в трех местах с помощью пуансонов диаметром 20 мм и длиной 140 мм уменьшило прогиб от 25 до 5 мм.

В настоящее время МВТУ совместно с ВПТИтяжмаш создается оборудование для внедрения способа в линии сборки и сварки вертикальных стенок крановых балок на ряде заводов.

Для предотвращения развития угловых деформаций при выполнении таврового соединения диафрагм со стенками в балках кранов предлагается вместо угловых швов использовать электрозаклепочные соединения, т.к. здесь распределение тепла по толщине верхнего листа близко к равномерному. Имеется ряд решений по применению точечных соединений в крановых балках (сварка электрозаклепками и контактная сварка диафрагм с отбортовками, приварка диафрагм угловыми точечными швами), однако применение их встречает определенные трудности конструктивного и технологического характера.

В предлагаемом соединении диафрагма имеет местные утолщения вдоль боковых кромок, сопрягаемых со стенками, что достигается применением специального либо существующего прокатного профиля. Время сварки регулируется реле времени. Утолщения обеспечивают необходимое качество соединений. Экспериментальное исследование остаточных напряжений и деформаций показало, в частности, что в подобных соединениях угловые деформации практически отсутствуют.

Развитие разработанных в главах 2 и 3 методов расчета сварочных напряжений и деформаций позволяет проследить по ступеням сложное нагружение конструкций при использовании различных мероприятий для снижения остаточных деформаций и напряжений, таких как сопутствующий подогрев, приложение "активных сил" до и после сварки, а также при эксплуатационном нагружении. Экспериментально подтверждена приемлемость методики.

Для предотвращения потери строительного подъема главных балок мостовых кранов в эксплуатации рекомендуется увеличение проектной величины строительного подъема с тем, чтобы деформации, вызываемые взаимодействием номинальных рабочих напряжений

с остаточными напряжениями, уменьшали его до необходимой величины, или уменьшение остаточной напряженности конструкции на стадии изготовления с помощью предварительного нагружения.

Проектную величину строительного подъема главных балок целесообразно увеличивать, исходя также из следующего. Для получения необходимого строительного подъема (по величине и разбросу для балок одного крана) балки подвергаются тепловой правке, причем наиболее часто нагрев производят со стороны нижнего пояса, в сторону увеличения строительного подъема. В результате нижний пояс получает остаточные напряжения растяжения, равные σ_T, что приводит при эксплуатационном нагружении крана к развитию пластических деформаций и потере строительного подъема. Задавая при изготовлении балок большую величину строительного подъема и производя тепловую правку в сторону его уменьшения, можно обеспечить стабильную геометрию балок в эксплуатации.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

I. Анализ производства металлоконструкций мостовых кранов позволил выявить следующее: а) основными деформационными дефектами в процессе изготовления являются отклонение строительного подъема и серповидность балочных элементов, местные отклонения от плоскостности в вертикальных стенках балок; б) применяемые в настоящее время мероприятия для предотвращения и устранения указанных дефектов в ряде случаев недостаточно эффективны; в) отсутствует приемлемая для подобных конструкций достаточно точная методика расчета ожидаемых деформаций при изготовлении (при выполнении сварных соединений и применении мероприятий по борьбе с деформациями).

2. Усовершенствован приближенный метод расчета продольных остаточных напряжений и деформаций при сварке встык пластин из малоуглеродистой стали. Расчетная схема, представляющая разбивку сварного соединения на продольные стержни, позволяет с удовлетворительной точностью прослеживать сложное нагружение соединения при сварке и определять временные и остаточные напряжения по известным уравнениям строительной механики при реализации алгоритма расчета на ЭВМ.

3. Уточнение расчетных схем в зависимости от характера сборки и длины свариваемых элементов, от режимов сварки позво-

лило исследовать новый деформационный эффект. Показано расчетным путем и экспериментально, что сварка напроход вызывает в шве и околошовной зоне продольные остаточные деформации удлинения, если имеет место раздельное деформирование свариваемых элементов.

4. Проведено исследование влияния жесткости свариваемых пластин на распределение продольных остаточных напряжений и деформаций. Показано, что влияние жесткости зависит от длины соединения. Установлено приближенное соотношение по определению ширины зоны, в которой локализуется действие сварки в случае широких пластин.

5. Метод расчета продольных остаточных напряжений и деформаций развит применительно к различным конструкционным материалам, используемым в металлоконструкциях ГПМ (низколегированным сталям, алюминиевым сплавам). Определена возможность применения его к соединениям из разнородных материалов, показаны пути развития методики расчета применительно к другим материалам (упрочняющимся, испытывающим фазовые превращения).

6. Метод расчета продольных остаточных напряжений и деформаций, основанный на замене сплошного тела стержневой системой, развит для расчета деформаций и напряжений в балочных конструкциях от продольных сварных соединений. Отличия расчетной методики обусловлены пространственным характером деформирования балок. Проведено расчетное определение напряжений и деформаций при выполнении поясных швов в балках коробчатого сечения. Выявлено расчетным путем и подтверждено экспериментально существенное влияние порядка наложения швов на остаточные напряжения и деформации.

7. Применительно к балочным конструкциям разработана методика расчета на ЭВМ остаточных деформаций и напряжений, вызываемых поперечной усадкой поперечных швов. Расчетная схема, представляющая собой расчленение балки на продольные стержни (в некоторых случаях достаточно расчленить балку на 2 продольных элемента и расчет выполнять вручную), позволяет, в отличие от существующих методов, переходить к упруго-пластическому решению. Результаты расчетов подтверждаются экспериментальными данными. При выполнении протяженных поперечных сварных соединений с учетом неодновременности выполнения шва производится прослеживание неодновре-

менности протекания тепловых процессов в отдельных стержнях.

Дана методика расчета деформаций и напряжений в балочных конструкциях при взаимодействии напряжений, вызываемых продольной и поперечной усадкой различных сварных соединений. Методика рекомендуется для расчета рациональной последовательности выполнения отдельных сварных соединений в конструкциях.

8. В результате анализа известных способов предотвращения и устранения деформаций, вызываемых потерей устойчивости сварных тонколистовых элементов предложен новый способ, сущность которого заключается в обработке давлением шва и околошовной зоны. В отличие от известных способов, обработка производится не по всей длине сварного соединения, а на границах отдельных участков, длина которых назначается из условий обеспечения устойчивости. Экспериментальная проверка способа применительно к различным материалам, применяемым в металлоконструкциях кранов (Ст.3, 09Г2, АМг6), подтвердила его эффективность. Способ рекомендуется к внедрению для устранения волнистости вертикальных стенок и поясов крановых балок, вызываемой выполнением стыковых швов. В настоящее время создается оборудование для ряда краностроительных заводов.

9. Разработаны конструктивно-технологические мероприятия по предотвращению угловых деформаций (волнистости стенок) при выполнении тавровых сварных соединений диафрагм с вертикальными стенками в балках мостовых кранов при помощи сварки электрозаклепками. Местные утолщения на примыкающих к стенкам торцах диафрагм позволяют обеспечить простую технологию приварки диафрагм проплавными электрозаклепками снаружи, необходимое качество соединения и улучшение условий работы сварщиков. Экспериментально доказано отсутствие угловых деформаций и технологичность соединения.

IO. Разработана методика расчета взаимодействия сварочных напряжений в балочных конструкциях и их листовых элементах с напряжениями от внешнего нагружения. Методика рекомендуется для определения необходимой величины усилий, прикладываемых к свариваемым элементам до и после сварки с целью предотвращения и устранения остаточных деформаций и напряжений, и для расчета напряженного состояния и деформаций главных балок мостовых кранов при эксплуатационном нагружении.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

I. Вершинский А.В., Динасылов А.Д. Метод расчета сварочных напряжений и деформаций с применением ЭЦВМ. "Технические науки", вып.I8.Сб.МВ и ССО Каз.ССР,Алма-Ата,I975.

2. Вершинский А.В., Сагалевич В.М., Динасылов А.Д. Расчет сварочных напряжений и деформаций. "Известия вузов.Машиностроение", I975, № 8.

3. Вершинский А.В.,Поссе К.К.,Динасылов А.Д.,Кошеверов А.Д. Деформации сварных соединений и конструкций. "Подъемно-транспортные машины", вып.4, Тула, ТПИ, I976.

4.Вершинский А.В.,Сагалевич В.М.,Пейферов Н.М.,Яровинский Л.М.,Динасылов А.Д.,Кошеверов А.Д.Способ устранения сварочных деформаций потери устойчивости. Авторское свидетельство № 5I7649. "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки", I976, № 22.

5. Сагалевич В.М.,Вершинский А.В.,Динасылов А.Д. Расчет продольных деформаций балочных конструкций с учетом растягивающих нагрузок. "Применение математических методов для исследования напряжений и деформаций в сварных конструкциях при сварке и эксплуатационном нагружении", Киев, "Знание",I975.

6. Сагалевич В.М.,Вершинский А.В.,Динасылов А.Д. Продольные напряжения и деформации при сварке пластин встык. "Сварочное производство", I976, № 3.

7. Динасылов А.Д. Деформации и напряжения в балочных конструкциях от выполнения продольных сварных швов и при последующем нагружении. "Технические науки",вып.20. Сб.МВ и ССО Каз.ССР, Алма-Ата, I976.

8. Динасылов А.Д. Устранение деформаций потери устойчивости, возникающих при изготовлении сварных конструкций. "Технические науки", вып.20.Сб.МВ и ССО Каз.ССР,Алма-Ата,I976.

9. Вершинский А.В.,Динасылов А.Д.,Прохоров В.Н.Распределение остаточных напряжений в электрозаклепочных сварных соединениях. "Подъемно-транспортные машины", вып.3,Тула, ТПИ,I974.

I0. Вершинский А.В.,Динасылов А.Д.,Сагалевич В.М. и др. Устранение сварочных деформаций потери устойчивости. "Сварочное производство", I976, № 7.