

14388345

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

На правах рукописи

Касымбеков Лаксыбай Нурлыбаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
И ДЕФОРМАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

(Специальность 05.05.05 - Подъемно-транспортные
машины)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор А.В. Вершинский.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор В.С. Игнатова
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Е.М. Концевой.

Ведущая организация - Ленинградский завод ПТО им. С.М. Кирова.

Защита диссертации состоится "29" марта 1982 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.10 "Транспортное машиностроение" при МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваши отзывы в двух экземплярах заверенные печатью просим
бы выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
им. Баумана.

Автореферат разослан

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук, доцент

М 388345

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Наличие остаточных деформаций и напряжений оказывает влияние не только на деформативность металлоконструкции мотовых кранов, которая определяется вторым предельным состоянием, но и на несущую способность их по первому предельному состоянию (прочность, местная устойчивость и др.). В ряде случаев при сочетании различных конструктивных и технологических факторов остаточные напряжения и деформации способствуют механическим разрушениям сварных узлов. Значительные изгибные деформации балок, которые состоят из начальных, сборочных, сварочных, вторичных и нагрузочных составляющих, обнаруживаются на стадии изготовления и получают развитие при эксплуатации. Зачастую эти отклонения превышают допустимую величину и для устранения их применяют различные методы правки, не всегда расчетно обоснованные и порождающие новые остаточные эффекты. И стабильность геометрических параметров пролетных балок (строительный подъем, горизонтальный прогиб и др.) в ряде случаев приводит к недоиспользованию материала по прочности.

Наиболее ответственными за деформативность и несущую способность крановых балок являются остаточные сварочные деформации и напряжения. Для успешного решения задач по определению остаточных напряжений и деформаций необходимо применение таких методов расчета, которые обеспечивали бы высокую точность результатов при достаточной универсальности.

Анализ существующих методов свидетельствует, что для более полного учета временных деформаций и напряжений, возникающих при сложном термонагружении сварных соединений, этим требованиям соответствует метод конечных элементов (МКЭ) в сочетании с аппаратом теории термопластичности.

Цель исследования. Создание расчетного аппарата для определения остаточных деформаций и напряжений в сварных узлах крановых металлоконструкций. Разработка метода определения изгибных деформаций и мероприятий по стабилизации геометрических параметров пролетных балок.

Методы исследования. Численный анализ проводится на основе МКЭ, применения аппарата теории упругости и термопластичности с использованием ЭВМ. Экспериментальная часть включила измерение

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1388345

Касымбеков Ж.Н. Исследования

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

геометрических параметров натуральных конструкций в условиях производства.

Научная новизна. На основе расчетно-аналитических решений разработан метод расчета остаточных деформаций и напряжений в крановых сварных металлических конструкциях с применением автоматической конечно-элементной дискретизации сплошных тел и теории термопластичности. При этом для реализации пластических приближений использован метод начальных напряжений (МНН) с односторонней коррекцией поверхности пластичности, ускоряющей сходимость процесса итерации. Установлена закономерность распределения поперечной усадки в сварных узлах балок в зависимости от жесткости свариваемых элементов, длины шва. Разработан способ стабилизации геометрических параметров пролетных балок, направленный на повышение их несущей способности, и метод расчетного обоснования режимов термической правки.

Практическая ценность. Применение разработанного расчетного метода позволяет с высокой достоверностью определять влияние напряженно-деформированного состояния отдельных сварных соединений на несущую способность балок мостовых кранов. Использование способа стабилизации геометрических параметров балок способствует повышению несущей способности и надежности их при эксплуатации.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на ежегодных научных семинарах кафедры ПТМ МВТУ им. Баумана; на конференции "Перспективы развития подъемно-транспортного машиностроения, средств комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ"; на конференциях "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении", "Проблемы повышения надежности и долговечности и совершенствовании методов эксплуатации подъемно-транспортной техники", посвященных 150-летию МВТУ.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 8-ми печатных работах и в двух научных отчетах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, приложения, списка литературы, включающего 156

наименований, 148 страниц машинописного текста, 55 рисунков, 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении к диссертации обосновывается актуальность рассматриваемых задач, формулируется цель исследования.

В первой главе приведен анализ экспериментальных измерений геометрических параметров пролетных балок мостовых кранов в условиях производства. В результате измерений были выявлены значительные отклонения строитального подъема и горизонтального прогиба балок. На основе анализа процесса формообразования пролетных балок отмечены основные особенности задач по определению остаточных сварочных напряжений и деформации для оценки их влияния на несущую способность. Основными являются следующие: сложное термонапряжение, зависимость несущей способности материала от температуры и физически нелинейное поведение материала в зоне высоких градиентов температурного поля.

Выполнен анализ известных методов исследования сварочных напряжений и деформаций в сварных листовых элементах, в частности применительно к крановым металлоконструкциям, а также методы устранения и предотвращения сварочных деформаций формоизменения и напряжений, предложенные в работах советских ученых Г.А. Николаева, Е.О. Патона, Н.О. Скероблома, И.П. Байковой, О.А. Бакши, А.В. Вершинского, В.А. Винокурова, К.М. Гатовского, А.Г. Григорьянца, В.С. Игнатьевой, С.А. Кузьмина, В.И. Махненко, Н.Н. Прохорова, В.М. Сагалевича и зарубежных исследователей В.Андерса, Н. Боултона, М. Ватанабе, Д. Радая, К. Сато, Ю. Уэда и др. Разработанные методы расчета располагают большим накопленным материалом и возможностями и отличаются параллельным развитием точных и приближенных методов. В настоящее время строительная механика сварных конструкций, также как и механика деформируемого твердого тела в целом, получила новый импульс в развитии благодаря появлению мощных ЭВМ и применению одного из направлений диакоптики — метода конечных элементов, как наиболее универсального метода (Гатовский К.М., Радай Д., Уэда Ю. и др.).

В заключение главы сформулированы основные задачи, решаемые в диссертации:

1. Разработка методики расчета остаточных напряжений, деформаций и перемещений в листовых и балочных сварных узлах крановых металлоконструкций мостового типа на основе МКЭ с применением аппарата теории упругости и термопластичности.

2. Создание программы расчета по разработанной методике для указанного класса задач, реализующей в едином комплексе решение вопросов дискретизации термического цикла и автоматизации подготовки исходных массивов расчетной процедуры.

3. Проведение исследований с помощью разработанной программы напряженно-деформированных состояний различных типовых сварных соединений крановых балок, определяющих их несущую способность. Оценка влияния остаточных поперечных деформаций на несущую способность пролетных балок и точность решения.

4. Разработка способа стабилизации деформативности пролетных балок на базе конструктивно-технологических решений и методики расчета остаточных деформаций и напряжений в балках при термической правке на основе применения дискретных расчетных схем.

Приняты следующие допущения: одновременность наложения шва; постоянство теплофизических параметров и модуля упругости материала в определенном диапазоне температур; материал идеально-упругопластичный; схематизированная зависимость предела текучести от температуры ($\sigma_T = \sigma_0 \exp \alpha T$ при $T \leq T_y$, $\sigma_T = 0$ при $T > T_y$, где T_y — предельная температура упругого состояния, принимаемая равной 600°C для малоуглеродистых сталей); использование схемы плосконапряженного состояния.

Во второй главе рассматривается применение МКЭ в расчете листовых узлов балок при воздействии сварочного источника. Получены основные соотношения МКЭ на основе принципа возможных перемещений, а также показаны пути использования различных вариантов МКЭ, определяемые соответствующими вариационными принципами. В результате установлено, что наиболее пригодным для выбранного класса задач является вариант метода перемещений.

Решение задачи разбиения расчетной зоны на конечные элементы удовлетворяет требованиям точности результатов расчета. При этом принято во внимание возрастание погрешности округления при уменьшении размеров конечных элементов, увеличение погрешности дискре-

тизации при грубой разбивке, плохая обусловленность матрицы жесткости $[K]$ и снижение устойчивости решения при совмещении элементов, существенно отличающихся по размерам. Другим определяющим фактором, влияющим на вариацию размеров конечных элементов, является наличие высоких градиентов температур вблизи шва и концевых эффектов. Для учета этого обстоятельства сетку разбивки следует сгущать вблизи и на концах шва. Решение данной задачи осуществлено на уровне топологически регулярных сеток, а алгоритм отличается простотой и обеспечивает минимальную ширину ленты глобальной матрицы жесткости $[K]$.

Достоверность результатов задачи определения остаточных сварочных деформаций и напряжений существенно зависит от правильного учета истории нагружения, т.е. способа назначения последовательных моментов времени, для которых определяются временные напряжения и деформации. Распределение температуры принимается по уравнениям теории тепловых процессов (Н.Н. Рыкалин) для мощного быстродвижущегося линейного источника тепла, что соответствует режимам сварки элементов крановых узлов. Процедура определения, массива времени, в цикле которого производится шаговое термонагружение, состоит из следующих этапов: для элементов, нагреваемых не выше T_y , запоминаются моменты достижения максимальной температуры, а для элементов, температура которых превышает T_y , отыскиваются и запоминаются моменты достижения температуры T_y на стадиях нагрева и остывания (эти моменты фиксируют наступление ютери и приобретения несущей способности материала). Для определения последних используется метод половинного приближения.

Деформирование нагруженных элементов в пластической области определяется по условию возникновения пластичности: $f(\{\epsilon\}) = 0$. В случае применения критерия пластичности по Губеру-Мизесу для плоско-напряженного состояния функция пластичности имеет следующий вид:

$$f = \sqrt{\epsilon_x^2 - \epsilon_x \cdot \epsilon_y + \epsilon_y^2 + 3\tau_{xy}^2} - \epsilon_r = \epsilon_i - \epsilon_r = 0 \quad (1)$$

где ϵ_i - интенсивность напряжения.

Приращение полной деформации таких элементов складывается из приращения упругих, пластических и начальных (температурных) деформаций:

$$\{d\epsilon\} = \{d\epsilon\}_e + \{d\epsilon\}_p + \{d\epsilon\}_t \quad (2)$$

Приращение упругих деформаций определяется по закону Гука

$$\{d\epsilon\}_e = [D]^{-1} \{d\sigma\}, \quad (3) \text{ где } [D] - \text{матрица упругости,} \\ \{d\sigma\} - \text{вектор-столбец приращений напряжений.}$$

В соответствии с теорией течения для изотропных материалов приращение пластических деформаций определяется из принципа ортогональности:

$$\{d\epsilon\}_p = \lambda \left\{ \frac{\partial f}{\partial \epsilon} \right\}, \quad (4)$$

где λ - скалярный множитель.

Начальные деформации считаются независимыми от уровня достигнутых напряжений и вызываются свободным температурным удлинением (в общем случае также структурными превращениями и др.). Начальная деформация элемента, полученного приращение температуры dT при коэффициенте линейного расширения α , определяется с помощью гипотезы Неймана: $\{d\epsilon\}_0 = \alpha \cdot dT \cdot \{1, 1, 0\}^T$, (5) где T - знак транспонирования.

Для выражения зависимости между приращением вектора деформации и приращением вектора напряжений в упруго-пластической области на основе разработки Ю. Имади имеем:

$$\{d\sigma\} = [D]_{ep} \{d\epsilon\}, \quad (6)$$

где $[D]_{ep}$ - матрица упруго-пластичности.

Начиная со второго временного этапа, появляется возможность того, что в некоторых элементах наступит $T_i > T_y$ и разгрузка этих элементов учитывается определением эквивалентных узловых сил с помощью следующего выражения: $\{\tilde{R}\}_{\epsilon_0} = \int_{V_e} [B]^T \{\epsilon\}_0 dV$ (7) где $[B]$ - матрица градиентов, $\{\epsilon\}_0$ - вектор-столбец напряжений элемента в момент разгрузки, V_e - объем конечного элемента, dV - элемент объема.

На этой стадии основная система для начального упругого решения запишется в виде: $[K]^* \{\delta\} = \{R\}_{\epsilon_0}^* + \{R\}_{\epsilon_0}$. (8)

Матрица $[K]^*$ отличается от матрицы всей системы $[K]$ тем, что в ней не учтены жесткости тех элементов, которые имеют $T_i^{m-1} \leq T_y$; $T_i^m > T_y$, где m - рассматриваемый этап времени. Вектор сил $\{R\}_{\epsilon_0}^*$, обусловленный температурным расширением нагретых конечных элементов, также не учитывает приращений температуры в этих элементах. $\{R\}_{\epsilon_0}$ - вектор узловых сил всей системы, обусловленный разгрузкой высоконагретых элементов. $\{\delta\}$ - вектор-столбец уз-

ловых перемещений сетки конечных элементов.

Матрица жесткости $[K]^*$, построенная в начале временного этапа после определения распределения температуры, в отличие от метода переменной жесткости (Гатовский К.М.) используется при осуществлении приближений на всем протяжении данного этапа. Это дает значительную экономию машинного времени при достаточно быстрой сходимости.

Наиболее трудоемким и важным моментом в расчетной процедуре сварочных деформаций и напряжений является упруго-пластическое приближение. В данной работе использован так называемый метод начальных напряжений (Зенкевич О.), однако его применение в сварочных задачах может привести к расхождению процесса итерации при отыскании момента наступления пластичности в элементах.

Поэтому в данной работе предложен способ односторонней коррекции поверхности пластичности (I), что дает гарантированную сходимость. Идея метода заключается в следующем. После получения упругого решения на данном этапе m определяем интенсивности напряжений σ_i^m в каждом элементе, а затем - функции нагружения f_i^m по формуле (I). Если в каком-либо элементе функция нагружения больше нуля, т.е. $f_i^m > 0$, то производится приближение. Для этого находится момент наступления пластичности при $f_i^{m-1} < 0$ с помощью фактора τ . Значение фактора τ определяется с помощью следующей итерационной формулы:

$$\tau_j = \tau_{j-1} - f_j / \left\{ \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right\}_{j-1}^T \{ \Delta \sigma \}_{j-1}, \quad j = 2, 3, 4 \dots \quad (9)$$

где j - номер итерации. Для $j = 1$ используется линейная интерполяция:

$$\tau_1 = -f_0 / (f_1 - f_0) \quad (10)$$

где f_0 - функция нагружения, соответствующая начальному упругому состоянию. Если $f_i^{m-1} = 0$, то значение $\tau = 0$. В случае $\tau < 0$ процесс коррекции значения τ обычно расходится. Если в процессе итерации (9) возникает ситуация $\tau < 0$, то фактору τ назначается другое начальное значение, т.е. $\tau_1 = \mathcal{H}$ и итерации возобновляются. Величина параметра $\mathcal{H}$ принимается $0,75 \div 0,9$. Таким образом, параметр $\mathcal{H}$ служит акселератором процесса итерации (9). На основе разработанной методики расчета создана универсальная программа GAIAR для ЭВМ ЕС.

В третьей главе приводятся результаты исследования (с использованием разработанной программы) временных и остаточных деформаций, напряжений и перемещений, возникающих в сварных плас-

тинах и узлах пролетных балок. Рассмотрены соединения в виде коротких и протяженных поперечных швов, выполненных на пластине, балке, а также валика, наложенного на кромку полосы. При рассмотрении процесса деформирования от наложения валика на кромку пластины (из малоуглеродистой стали Ст.3) размерами 400 x 200 x 6 была аппроксимирована 320 треугольными конечными элементами. Полученные решения выявили остаточные поперечные деформации до 5% вблизи конца валика и - 3% в середине. Этот факт объясняется влиянием изгиба пластин, не обладающих достаточной жесткостью в поперечном направлении. Невысок уровень продольных деформаций 0,25%.

На рис. I. в качестве примера представлено остаточное поле перемещений (V по оси Y , U по оси X) для 1/4 сварной пластины (из двух элементов) размерами 400 x 300 x 8 при наложении на нее шва ($\ell_{ш} = 360$ мм). Пластина была разбита на 392 треугольных конечных элемента, число узловых точек составило 225. Эффективная тепловая мощность источника $q = 12,6$ кВт при $I = 560$ А, $U = 28$ В и скорость сварки $V_c = 10$ м/с. Материал пластины сталь Ст.3, коэффициент линейного расширения $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, объемная теплоемкость $C\gamma = 4,77 \cdot 10^6$ Дж/м. $^\circ\text{C}$. Концевые участки пластины, где не проложен шов, имитируют выводные планки. Установлены закономерности распределения продольной и поперечной усадок. На концах швов вблизи оси соединения имеют место остаточные продольные перемещения удлинения вследствие изгиба соединяемых элементов (эпюра $U^{y=0}$). Для рассматриваемой пластины видно влияние изгиба на распределение поперечной усадки (эпюры $V^{y=90}$, $V^{y=150}$ и др.) и этим же объясняется то, что в сечениях близких к оси Y , максимум поперечных перемещений узловых точек достигается в непосредственной близости от оси шва, а в отдаленных от оси Y сечениях максимум поперечных перемещений имеет место у наружной кромки пластины. В работах ряда исследователей (Николаев Г.А., Казимиров А.А.) также было обнаружено увеличение поперечной усадки с ростом длины шва. Этот факт объясняется влиянием изгиба соединяемых элементов. Расчетная величина поперечной усадки в середине рассматриваемой пластины больше теоретического ее значения, определяемого по известной формуле

$$\Delta_{\text{поп}}^T = \frac{\alpha}{C\gamma} \cdot \frac{q}{V_c \cdot \delta_n} \quad (\text{II})$$

где δ_n - толщина пластины. При рассмотрении соединения из элементов большей жесткости (400 x 500 x 8) при тех же тепловых режимах влияние эффекта изгиба на поперечную усадку уменьшается и распределение поперечных перемещений по длине соединения стано-

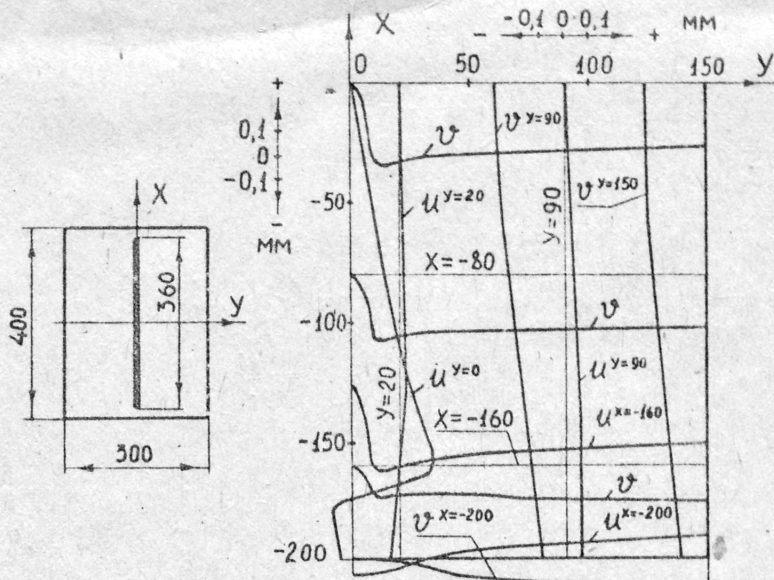


Рис. 1. Остаточное поле перемещений для 1/4 сварной пластины 400 x 300 x 8.

вится равномерным. Расчетная величина поперечной усадки в последнем случае $\Delta_{\text{поп}}$ практически совпадает с теоретической ее величиной, определенной по формуле (II). Таким образом выявлено влияние жесткости на поперечную усадку. Для оценки потери местной устойчивости сварных листовых узлов необходимо определить уровень сжимающих продольных напряжений и зону их распространения волизи шва. Расчетным путем установлена следующая зависимость для определения ширины зоны распространения сжимающих напряжений:

$$b = \frac{1}{2}(\ell_{\text{ш}} - b_0), \quad (12)$$

где $\ell_{\text{ш}}$ — длина шва, b_0 — ширина зоны высоких растягивающих напряжений.

При приварке различных элементов жесткостей (кронштейны, планки и др.) к балке задача определения остаточных деформаций решается в два этапа. На первом этапе (термомеханическая задача) выделяется и рассматривается небольшая область в зоне шва в виде

пластины. При этом перемещения граничных узлов ограничены кинематическими связями. На втором этапе (деформационная задача) с помощью приложения найденных в граничных узлах сил в результате решения термомеханической задачи определяются деформации оставшейся части балочного элемента. Эта стадия решения задачи осуществляется для балок, один размер которых значительно превосходит два других, с использованием известных методов строительной механики. Влияние таких швов на деформативность балок достаточно заметно (до 22% от величины строительного подъема и до 65% от величины горизонтального прогиба, равной $L/2000$, здесь L — длина балки), что объясняется наличием значительного эксцентриситета соединения. По вышерассмотренному приему с помощью расчленения задачи на две было исследовано влияние на деформативность балок коротких поперечных швов. Полученные результаты показывают удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

В зоне таких соединений выявлены значительные остаточные деформации и высокие напряжения, которые при наличии концентратора напряжений могут способствовать разрушению элементов пролетных балок (Концевой Е.М.).

В четвертой главе на основе результатов и выводов, полученных ранее, дано обоснование способу стабилизации геометрических параметров, в частности, строительного подъема, пролетных балок мостовых кранов.

В силу влияния факторов случайного характера (транспортировка, кантовка и др.) на выходе потока могут возникать различные отклонения геометрических параметров пролетных балок. В известных способах стабилизации для получения необходимого строительного подъема дефектные балки подвергаются термической правке путем нагрева нижнего пояса. В зонах нагрева остаточные напряжения нижнего пояса равны σ_T , что приводит к развитию пластических деформаций и снижению строительного подъема при эксплуатационном нагружении.

Разработанный способ состоит из следующих мероприятий:

а) На стадии проекта строительный подъем назначается увеличенным. Это позволяет исключить возможности возникновения дефекта низкий строительный подъем. Величина превышения определяется либо на основе статистических данных, либо путем расчета при использовании методики определения ожидаемых деформаций от сварки.

б) В том случае, когда строительный подъем окажется выше пре-

дела допуска, балку подвергают термической правке путем нагрева верхнего пояса. Причем нагрев следует производить в узкой полосе по середине верхнего пояса вдоль продольной оси балки.

Тепловые режимы источника нагрева зависят от требуемой усадки, жесткости сечения и пролета балки. Стабильность геометрии балок при эксплуатации, подверженных такой правке, обуславливается тем, что высокие остаточные растягивающие напряжения располагаются в верхней части балки, где рабочие напряжения являются сжимающими. Данный способ правки позволяет получить равномерную усадку верхнего пояса по всей длине балки, что немаловажно для последующей операции установки подтележечных рельсов.

Для эффективного контроля величины строительного подъема в процессе правки, а также на любой стадии изготовления, разработано новое устройство, состоящее из двух источников излучения и фотоприемных элементов, а также индикатора, где фиксируются отклонения величины строительного подъема.

Процесс термической правки по предложенному способу можно механизировать.

Для расчетного обоснования режима правки балок разработана методика расчета на основе дискретизации балки на отдельные элементы в виде стержней. Используются допущения: гипотеза плоских сечений и гипотеза одноосности напряжений.

Принятая кинематическая гипотеза позволяет получить число линейных уравнений (совместности и статического равновесия), равного восьми, при решении которых определяются приращения деформаций характерных элементов сечения балки. Последние используются не только для определения приращений деформаций и напряжений во всех элементах, но и для расчета прогибов балки.

Упруго-пластическое решение производится по упрощенной схеме, что объясняется одномерностью напряженно-деформированного состояния стержневых элементов. Приближения в пластической стадии осуществляются одним из разновидностей МНН – методом перераспределения напряжений.

По разработанной методике составлена программа расчета для ЭВМ ЕС.

Было исследовано также влияние остаточных напряжений от поясных швов на эффект термической правки и выявлено, что в случае нагрева одним источником по середине верхнего пояса, оно практи-

чески отсутствует.

На рис. 2 приведены зависимости изменения величины строительного подъема $\Delta f_{сп}$ от длины балки L для балки с моментом инерции $J = 4,99 \text{ Ю см}^4$ при различных удельных погонных энергиях нагрева. Используя эти зависимости, можно производить предварительное назначение режимов правки, исходя из габаритов крана и требуемого изменения строительного подъема. Далее по выбранному режиму правки для конкретной балки производится уточненный расчет на СЭМ по разработанному алгоритму.

Внедрение мероприятий по стабилизации геометрических параметров пролетных балок на предприятии Минтязмаша позволяет получить годовой экономический эффект в размере 91 000 руб.

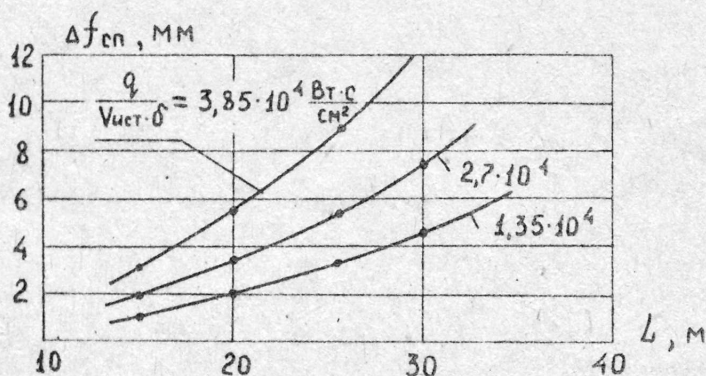


Рис. 2. Изменение величины строительного подъема от пролета балки и удельной тепловой мощности источника нагрева

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе экспериментальных измерений геометрических параметров балок мостовых кранов и их узлов в условиях производства выявлены основные технологические этапы, существенно влияющие на деформативность и несущую способность изделий. Показана непосредственная связь остаточных сварочных деформаций и напряжений, возникающих в сварных элементах, с несущей способностью пролетных балок по первому и второму предельным состояниям (потери местной устойчивости, отклонение строительного подъема, разрушения и др.).

2. Разработан расчетный метод определения напряжений, деформаций и перемещений в сварных узлах крановых конструкций на базе МКЭ, учитывающий основные особенности термомеханического процесса сварки и построенный на основе использования теории упругости и термопластичности применительно к плоско-напряженному состоянию свариваемых элементов.

Решение поставленной задачи осуществлено с помощью алгоритмизации следующих основных этапов: разбиение термического цикла, по которому определяется история нагружения, дискретизация сварных узлов балок мостовых кранов на конечные элементы, автоматическое формирование исходных массивов расчетной процедуры МКЭ, определение ширины ленты матрицы жесткости всей конструкции, учет кинематических граничных условий.

3. Разработана схема упруго-пластических приближений на основе метода начальных напряжений, использующая одностороннюю коррекцию поверхности текучести с улучшением сходимости процесса итерации. Метод начальных напряжений реализуется при сохранении начальной матрицы жесткости для данного этапа, что дает значительную экономию машинного времени, обеспечивая достаточно быструю сходимость.

Создана универсальная программа расчета применительно для ЭВМ типа ЕС.

4. С помощью разработанного метода расчета исследовано напряженно-деформированное состояние различных сварных соединений пролетных балок мостовых кранов (наложение валика на кромку пластины, приварка элементов жесткости и др.).

Выявлены значительные остаточные деформации в поперечном

по отношению к валику направления (для малоуглеродистой стали ВСт 3сп до 5% у конца валика и 3% в середине), локализованные в узкой зоне в непосредственной близости от кромки. Этот деформационный эффект объясняется влиянием изгиба пластины.

В зоне соединения различных элементов жесткости (кронштейнов, планок подтележного рельса и др.) с балкой выявлены наряду со значительными поперечными деформациями (в середине шва) высокий уровень поперечных напряжений. Продольные напряжения растяжения достигают предела текучести вблизи шва с переменной знака на концах. Полученные численные результаты показывают удовлетворительную сходимость с известными экспериментальными данными.

5. Установлены закономерности распределения поперечной усадки в сварных листовых элементах пролетных балок в зависимости от протяженности шва и жесткости сварных узлов. Определены размеры области соединения, где локализуются значительные остаточные деформации и высокие напряжения, что позволяет обоснованно применять принцип Сен-Венана для ограничения расчетной зоны.

Установлена ширина зоны распространения сжимающих напряжений в удаленных от стыкового шва участках пластины, которая служит для определения критического напряжения при потере местной устойчивости сварных элементов.

6. Разработан расчетный метод определения деформативности балок от поперечных швов, включающий два этапа. На первом этапе (термомеханическая задача) определяются остаточные поля напряжений, деформаций и перемещений для выделенной области на основе МКЭ, а также реакции в граничных узлах связи. На втором этапе (деформационная задача) определяется влияние поперечных усадок отдельных швов на общую деформативность пролетных балок в виде остаточных прогибов в двух плоскостях симметрии.

Даны рекомендации по обоснованному назначению размеров выделяемой зоны для рассмотрения термомеханической задачи. Результаты расчетов удовлетворительно сходятся с экспериментами на натурных конструкциях.

7. Разработан способ стабилизации строительного подъема пролетных балок, заключающийся в увеличении проектного строительного подъема и переносе места термического нагрева в скатую при нагружении область сечения балки, что дает благоприятное распре-

деление остаточных напряжений. Предлагаемый способ позволяет механизировать технологический процесс правки пролетных балок.

8. Разработан метод расчета остаточных деформаций и напряжений при термической правке балочных конструкций мостовых кранов. Метод основан на расчленении сплошного тела на дискретные элементы в виде стержней с учетом истории термонагружения балки в цикле нагрева и остывания и учитывающий особенности газопламенного источника нагрева. Показана возможность использования расчетного алгоритма для случая нагрева параллельно несколькими источниками.

На основе разработанного алгоритма создана программа расчета на ФОРТРАНе - IV для машин ряда Ю, применение которой позволяет оперативно и обоснованно выбирать режимы правки в зависимости от длины, жесткости балки и требуемой величины изменения строительного подъема.

Дано технико-экономическое обоснование разработанному способу стабилизации строительного подъема пролетных балок.

По содержанию диссертации опубликованы работы:

1. Вершинский А.В., Динасылов А.Д., Касымбеков Ж.Н., Замцев А.И. Деформации элементов сварных металлоконструкций мостовых кранов при изготовлении и эксплуатации и методы их устранения. - В кн.: Подъемно-транспортные машины. Тула: ТПИ, 1976, с. 33-40.

2. Вершинский А.В., Касымбеков Ж.Н., Прохоров В.Н., Динасылов А.Д. К вопросу обеспечения геометрической точности балочных конструкций мостовых кранов при изготовлении и в эксплуатации. - В кн.: Вопросы повышения эффективности эксплуатации и совершенствования конструкций подъемно-транспортной техники. : Тез. докл. Всесоюз. конф. Алма-Ата, 1978, с. 66-67.

3. Касымбеков Ж.Н. Деформативность главных балок мостовых кранов большой грузоподъемности и термическая правка их в процессе изготовления. - В кн.: Подъемно-транспортные машины. Тула: ТПИ, 1979, с. 5-12.

4. Касымбеков Э.Н. Стабилизация геометрических параметров балок тяжелых мостовых кранов в процессе изготовления. - В кн.: Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении.: Тез. докл. Всесоюзн. конф. к 150-летию МВТУ им. Баумана, 1980, с.34-35.

5. Вершинский А.В., Касымбеков Э.Н. и др. Методы расчета и устранения сварочных напряжений и деформаций, возникающих при изготовлении металлоконструкций мостовых кранов. - В кн.: Перспективы развития подъемно-транспортного машиностроения.: Тез. докл. краевой научно-техн. конф. Красноярск, 1980, с. 12-14.

6. Вершинский А.В., Касымбеков Э.Н. и др. К вопросу о стабилизации строительного подъема мостовых кранов при изготовлении. - В кн.: Перспективы развития подъемно-транспортного машиностроения.: Тез. докл. краевой научно-техн. конф. Красноярск, 1980, с.19-20.

7. Вершинский А.В., Касымбеков Э.Н., Сагалевич В.М. и др. О расчетном определении остаточных деформаций при изготовлении пробных балок мостовых кранов. - В кн.: Проблемы повышения надежности и долговечности и совершенствования методов эксплуатации подъемно-транспортной техники.: Тез. докл. Всесоюзной краевой научно-техн. конф., посвященной 150-летию МВТУ им. Баумана, Москва, 1981, с. 105-106.

подпись 24.12.81

А-86897 Заказ 1645

Объем 1 п.л.

Тираж экз. 100

Ротапринт МВТУ

107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, д.5.