

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение выс-
шего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

направление подготовки 08.04.01 Строительство
направленность (профиль) «Техническая эксплуатация и реконструкция зда-
ний и сооружений»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Напряженное состояние сжатых стержней с общими деформациями,
усиливаемых с применением сварки

Студент

И.А.Батырева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

И.К.Родионов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент В.А. Ерышев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н. Д.С. Гошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Содержание

1 Состояние вопроса усиления стальных ферм покрытия промышленных зданий	7
1.1 Стальные фермы.....	7
1.2 Стальные фермы. Дефекты и повреждения.....	8
1.3 Анализ аварий металлических конструкций промышленных зданий.....	10
1.3.1 Стальные конструкции. Классификация аварий.....	10
1.3.2 Стальные конструкции. Причины аварий	12
1.4 Усиление стальных ферм	22
1.5 Сварка. Основные сведения	24
1.6 Сварка плавящимся электродом. Основные процессы	24
1.7 Техника безопасности при производстве сварочных работ	28
1.7.1 Меры защиты от токсичных аэрозолей и газов	29
1.7.2 Меры защиты зрения и кожи лица	30
1.7.3 Меры защиты от тепловых ожогов	33
1.7.4 Меры защиты от поражений электрическим током	33
1.8 Существующие виды сварных соединений и швов.....	34
1.8.1 Классификация	34
1.8.2 Сварные соединения. Классификация	37
1.9 Сварные соединения. Прочность и качество	39
1.9.1 Сварные соединения. Прочность.....	39
1.9.2 Сварные соединения. Контроль качества.....	41
1.9.3 Сварные соединения. Основные дефекты\.....	41
1.9.4 Сварные соединения. Способы контроля качества	44
1.10 О сварочных напряжениях и деформациях	46
1.10.1 Общие понятия о сварочных напряжениях и деформациях	46
1.10.2 Сварочные процессы. Тепловые процессы и образование сварочных напряжений и деформаций	47
1.10.3 Остаточные сварочные деформации. Влияние деформаций	49

на работоспособность и точность конструкций.....	49
1.11 Сварочные напряжения и деформации.....	52
Основные мероприятия по их уменьшению	52
1.11.1 Мероприятия, проводимые до сварки, на стадии проектирования	52
конструкций	52
1.11.2 Мероприятия, проводимые в процессе сварки	53
1.11.3 Мероприятия, проводимые после сварки	54
1.12 Основные операции технологического процесса при изготовлении строительных металлических конструкций	55
1.12.1 Общая схема технологических процессов изготовления металлических конструкций	55
1.12.2 Порядок подготовки элементов под сварку	56
1.12.3 Порядок подготовки элементов до сборки.....	57
1.4 Выводы по главе 1	57
2 Экспериментальное исследование сжатых деформированных стержней, усиливаемых с применением сварки.....	59
2.1 Методика проведения испытаний	59
2.2 Результаты испытаний сжатых стержней.....	65
2.3 Техника безопасности. Основные положения при выполнении работ по усилению стальных ферм покрытий	67
2.3.1 Раздел техники безопасности ППР	68
2.3.2 Обеспечение безопасности при работе на высоте	69
2.3.3 Техника безопасности при производстве сварочных работ	72
2.4 Выводы по главе 2.....	74
3 Анализ и теоретические обоснования полученных экспериментальных результатов.....	75
3.1 О практике определения сварочных напряжений, деформаций и тепловых ослаблений в металлоконструкциях.....	75
3.2 Технологические параметры сварки и тепловое ослабление сечений усиливаемых сжатых стержней	84

3.1 Расчет несущей способности эталонного сжатого стержня	92
3.2 Расчет несущей способности деформированного сжатого стержня	93
3.3 Обоснование величины предельно-допустимой нагрузки при усилении с применением сварки стержней с общим выгибом	95
3.4 Расчет предельно допустимой нагрузки для деформированного стержня, усиливаемого с применением сварки.....	96
3.5 Выводы по главе 3	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
Список используемой литературы	103

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, требующих развития экономики, что тесно связано с развитием производства, значительную роль играют развитие и модернизация промышленных предприятий. Требуется проведение работ по замене устаревшего оборудования, введению и применению новых технологий, реконструкции и усилению существующих зданий и конструкций и прочее. Усовершенствование существующих площадей позволит реализовывать современное производство с меньшими расходами по сравнению с новым строительством.

Вопросы восстановления и усовершенствования существующих промышленных площадей тесно связаны с эксплуатацией строительных конструкций, в том числе металлических. На данный момент существует большой объем строительных конструкций, изготовленных из металла, подвергшихся моральному и физическому износу. Такие конструкции требуют усиления как отдельных элементов, так и полного усиления конструкции.

Часто эти конструкции представлены фермами покрытия. Наиболее значительный процент подобных ферм – стержневые конструкции, стержни которых выполнены из проката уголкового с листовыми фасонками в узлах. Достаточно часто для того, чтобы увеличить несущую способность ферм, достаточно усилить некоторые стержни. В этой связи часто используются методы усиления, связанные с увеличением несущей способности наиболее слабых, напряженных стержней. Рассматривая подобные методы, можно прийти к выводу, что наиболее часто применяемый, эффективный и простой технологически метод – это метод увеличения сечения стержня путем присоединения дополнительных элементов на сварке.

По опыту обследований можно прийти к выводу, что многие сжатые стержни имеют начальные деформации: местные погибы и общие выгибы.

В работу усиливаемых элементов свои особенности вносит сварка (порой негативные): местный нагрев стержней, возникают осадочные и временные деформации.

На сегодняшний день исследованию напряженного состоянию усиливаемых сжатых деформированных стержней уделено не много внимания.

Актуальность работы состоит в том, что существует необходимость получения начальной информации о работе усиливаемых сжатых стержней с начальными деформациями, что способствует созданию базы для проведения в этой области более углубленных исследований и созданию базы для проведения более углубленных исследований.

1 Состояние вопроса усиления стальных ферм покрытия промышленных зданий

1.1 Стальные фермы

Металлические конструкции широко применяются в промышленных зданиях. Благодаря высоким прочностным и другим физико-механическим свойствам сталей, изготовленные из них конструкции надежны и разнообразны по форме и параметрам. Это позволяет эффективно использовать их в большепролетных и высоких зданиях, в зданиях с кранами большой грузоподъемности.

Ферма - система стержней, соединенных между собой в узлах и составляющих геометрически неизменяемую систему.

Фермы относятся ко второй группе стальных конструкций (конструкций, которые работают под статической нагрузкой при наличии поля растягивающих напряжений). Для изготовления таких конструкций рекомендуется использовать сталь класса С245 и С235. Используются сортаменты профилей в соответствии с ГОСТ (швеллеры, двутавры, уголки, сортовой прокат, холодногнутые трубы (круглые, квадратные, прямоугольные), горячекатные трубы).

По очертанию фермы разделяются на:

- сегментные;
- трапецеидальные;
- полигональные
- с параллельными поясами;
- Треугольные.

Значительно влияет на экономичность изготовления фермы очертание ее поясов. Наиболее экономичной по расходу стали считается ферма, очертания которой соответствуют эпюре моментов. Вместе с тем криволинейная форма фермы повышает трудоемкость при ее изготовлении, поэтому такие фермы почти не применяются.

Наиболее рациональным очертанием признана полигональная форма с переломом в каждом узле. Такие фермы дают возможность перекрывать пролеты 30 м и более.

Преимущественное применение получили фермы с параллельными поясами. Данные фермы по своему очертанию не соответствуют эпюре моментов и не достаточно экономичны по расходу металла, но равные по длине элементы решетки, одинаковая схема узлов, наибольшая повторяемость деталей и элементов, возможность их унификации способствуют индустриализации из изготовления.

Легкие фермы продолжительное время выполнялись из уголкового профиля. Использование именно этого профиля связано с тем, что существует широкий диапазон уголков, с удобством конструирования узлов фермы и узлов присоединения других элементов (связей, прогонов и т.д.). Стержни ферм чаще изготавливаются из парных уголков, при небольших усилиях возможно изготовления стержней из одиночных уголков.

Особенности работы ферм состоит в том, что при пересечении осей элементов в одной точке и при приложении нагрузки в узлы жесткость узлов мало влияет на работу конструкции, в связи с чем узлы в расчете могут приниматься шарнирными. При отсутствии поперечных нагрузок стержень, имеющий по краям шарниры, воспринимает только растягивающие или сжимающие усилия. Таким образом, все стержни, а также пояса, фермы являются центрально сжатыми или центрально растянутыми

1.2 Стальные фермы. Дефекты и повреждения

Из всех видов конструкций металлические наиболее чувствительны к большим нагрузкам и потерям общей и местной устойчивости.

При монтаже конструкций нарушение последовательности монтажа может привести к деформациям и потере устойчивости отдельных элементов и даже конструкции в целом.

Особенно много дефектов возникает при монтаже стальных ферм. В процессе изготовления иногда происходит замена проектные сечения на меньшие, уменьшение длин и катетов сварных швов, пропуск соединительных прокладок. Могут возникнуть зазоры между элементами, а также расцентровка узлов ферм. При расцентровке узлов возникают дополнительные усилия в элементах и изгибающие моменты в узлах. Возникновение больших зазоров и пропуски соединительных прокладок приводят к потере устойчивости элементов.

Потеря устойчивости сжатых элементов конструкции и их местные погибы могут возникнуть в результате повреждений при монтаже в следствие неправильной строповки.

В процессе эксплуатации должны соблюдаться условия для безаварийной службы конструкции в целом и отдельных ее частей.

Основными повреждениями, возникающими в процессе эксплуатации, считаются:

- коррозия конструкций;
- механические повреждения;
- повышенная деформация;
- перегрузка конструкций.

Эти повреждения могут возникать как по отдельности, так и в совокупности друг с другом. Отдельные дефекты и повреждения не всегда служат причиной для разрушения конструкции, тогда как совокупность нескольких их видов ведет к обрушению конструкции или здания в целом.

Помимо общих причин дефектов и повреждений (ошибки при инженерно-геологических изысканиях, ошибки при проектировании, нарушения, вызывающие повреждения и дефекты во время строительно-монтажных работ и т.д.), относящихся ко всем видам конструкций, для металлических конструкций причинами также являются:

- выбор марки стали;
- усталость и коррозия металла;

- механические воздействия;
- аварии природного и техногенного характера;
- воздействие высоких температур.

Характерными повреждениями и дефектами для стальных конструкций являются:

- отклонение осей от вертикали, смещение нижестоящих опорных элементов;
- смещение опорных узлов по вертикали или в осях, прогибы;
- нарушение соосности в узлах, отклонение расстояния по верхним поясам ферм и др.

Такие дефекты и повреждения ведут к снижению несущей способности и пространственной жесткости.

1.3 Анализ аварий металлических конструкций промышленных зданий

1.3.1 Стальные конструкции. Классификация аварий

В соответствии с классификацией Ф. Д. Дмитриева [6], советского исследователя, причины аварий можно разделить на три основные группы:

- аварии, вызванные землетрясением, ураганом, наводнением и т. п.;
- аварии, вызванные неудачными инженерно-техническими решениями (самая большая группа);
- аварии, вызванные социально-экономическими условиями, присущие капиталистическому миру.

Технические причины аварий также на три группы разделяются:

- неудовлетворительное производство работ;
- дефекты основания;
- потеря устойчивости.

А И. Мизюмский определяет классификацию крушений и аварий [14], в которой рассмотрены только стальные конструкции, причем крушений, вызванных исключительно инженернотехническими причинами:

- аварии, вызванные дефектами, связанными с ошибками проектирования;
- аварии, вызванные дефектами, возникшими в процессе производства работ;
- аварии, вызванные дефектами, связанными с эксплуатацией;
- аварии, вызванные тем, что недостаточно были изучены условия работы и свойства применяемых материалов.

Крепость сооружений и конструкций зависит от множества условий: марки материала, сечений элементов, их форм, качества изготовления и монтажа, условий эксплуатации, своевременного ремонта, усиления конструкций в нужных моментах и тому подобного. Указываемые условия имеют значительное влияние на период нормальной эксплуатации конструкций, они определяют несущую способность конкретных конструктивных элементов сооружения и сооружения в целом. Любое рассматриваемое крушение – это совокупность многих причин, совмещение нескольких неблагоприятных факторов.

Во многих случаях, при общем обрушении конструкции, зачастую очень сложно выделить основную причину крушения. Так, к примеру, при обследовании обрушившихся ферм с гнутыми стержнями, предположительно появляются догадки о возможной потере устойчивости; при наиболее детальном обследовании характера крушения обнаруживается, что данные стержни действительно потеряли устойчивость, но уже непосредственно при обрушении - падении одних конструкций на другие.

Первоочередное значение имеет выявление главной причины аварии в каждом случае. В практике строительства зафиксированы случаи, в которых неверное выявление основной причины крушения влекло к повтору аварии в том же месте. При изучении крушений необходимо предельно точно отличать главную причину от непосредственной причины, которой вызывается авария.

1.3.2 Стальные конструкции. Причины аварий

Стальные конструкции пребывают в несколько худшем состоянии, нежели инженерные конструкции, выполненные из иных материалов. Значительные расчетные сопротивления и обусловленные этим легкость и ажурность стальных конструкций могут повлечь за собой то, что недостаточное сопротивление даже одного из конструктивных элементов (затяжка в арках и рамах) приводит к крушению всей конструкции. В строительной практике существуют примеры, когда причиной крушения каменной, бетонной, деревянной и иной конструкции являлись дефекты стальных элементов, входивших в конструктивный комплекс конструкции. Базовые причины и условия крушений стальных конструкций разделяют следующим образом:

1. Перегруз конструкций.
2. Потеря устойчивости.
3. Ошибки проектных решений.
4. Ошибки изготовления и монтажа конструкций.
5. Ошибки эксплуатации конструкции или сооружений.
6. Крушения, вызванные усталостью металла и вибрацией.
7. Нарушения оснований, на которые установлены стальные конструкции.
8. Непредвиденные причины крушений.

Перегруз конструкций

Рассматривая большое количество крушений и аварийных состояний конструкций из источника [11], можно сделать выводы о том, что большинство крушений случается ввиду снеговой перегрузки, которой не уделяют должного внимания при эксплуатации сооружений. Принятые в свое время в эксплуатацию сооружения, очень часто выполненные по конструктиву типовых проектов, рассчитанных на усредненные, а не на действительные в каждом определенном случае нагрузки, продолжают находиться в эксплуатации, не смотря на несоответствия между проектными и реальными нагрузками. При исследовании и изучении причин крушений конструкций зданий и со-

оружений ряда промышленных цехов цементных заводов, было выявлено следующее: крушений покрытий кровли обусловлено, как правило, значительным перегрузом конструкций, большим скоплением слежавшейся технической пыли на кровле и, за редким исключением, иной причиной.

При проектировании огромную роль играют реальные метеорологические условия, особенно, при применении сооружений. Проект инструкции по эксплуатации и уходу за зданием обязательно должен содержать такую важную часть, как задачи по разработке способов борьбы со снеговыми заносами и мешками на кровлях. Большие по площади кровли тяжело очистить от снега даже механизированным способом, поэтому не стоит переоценивать механизированную уборку снега и рассчитывать на нее, особенно в случае кровель со сложной конфигурацией. В подобных случаях более эффективным методом может оказаться растапливание снега с последующим удалением талой воды через водостоки.

Потеря устойчивости.

Как правило аварии и крушения происходят в связи с потерей устойчивости отдельных элементов или всей конструкции, исключение составляют редкие случаи. Выделяют два вида потери устойчивости: общая и местная. Потеря устойчивости опасна тем, что это может произойти неожиданно. От этого риск крушения возрастает. К примеру, для потери устойчивости стержня достаточно небольшого толчка в направлении поперечном к продольной оси, когда сжимающая сила в элементе конструкции достигла своего критического значения. В связи с тем, что металлические конструкции изготавливаются из длинных стержней при относительно небольших сечениях, для них среди прочих инженерных конструкций, потеря устойчивости наиболее вероятна. Сжатые элементы довольно часто теряют местную и общую устойчивость в связи с отсутствием необходимой развязки сжатых поясов во время эксплуатации и несвоевременной установки временных и постоянных связей жесткости или во время монтажа. Также в конструкции возможно наличие стержней погнутых случайно, что возможно при эксплуатации верхнего поя-

са фермы при подъеме грузов, или из-за использования для изготовления стержней конструкций уголковых профилей с малыми размерами сечения, которые при транспортировке и монтаже могут быть искривлены, получить вмятины и другие дефекты. Не редко потеря устойчивости в стержневых конструкциях (фермах, арках, рамах) происходит в связи с неполным учетом знакопеременности усилий. В таких случаях проверка стержней требуется дважды: проверка на сжатие и проверка на растяжение. Даже при малом значении сжимающего усилия по сравнению с растягивающим усилием, сжатие может вызвать продольный изгиб в стержне, что приведет к выходу из работы сначала одного из стержней, затем перераспределению усилий в других стержнях, и в последствии, к аварии:

- вызванной малым количеством и неправильной расстановкой связей;
- вызванной местной потерей устойчивости;
- вызванной недоучетом знакопеременности усилий.

Ошибочные проектные решения.

Нередко встречаются крушения, которые произошли по причине различных дефектов, допущенных в процессе проектирования металлоконструкций. Невозможно перечислить все дефекты, допускаемые при проектировании, встречающиеся в прошлом и возможно допущенные в будущем. Но наблюдения в области крушений и аварий металлоконструкций, случившихся за последние годы, позволяют выделить следующие факторы:

1. Фактор несоответствия реальной работы сооружения (конструкции) с расчетными предпосылками, заложенными в основе расчета; недостаточный учет всех видов силовых воздействий, действующих на конструкции, приводящий к ошибочной и неполной оценке напряженного состояния конструкции; ошибки, допущенные при расчете и конструировании.

2. Фактор, наиболее относящийся к фонарям и фермам, – малое количество связей пространственной жесткости, неграмотная расстановка этих связей.

3. Фактор неучета необходимых своевременных работ по выполнению усиления конструкции в случае изменения режима эксплуатации здания; обеспечение условий для проведения ремонта.

4. Фактор неверного использования марки стали, часто СтЗкп, для конструкций, работающих в условиях низких температур.

5. Фактор использования устаревших ГОСТов, из-за чего не учитываются измерения в размерах прокатных профилей по обновленному сортаменту, где уменьшена толщина стенок.

6. Внесение разных изменений и корректировок в типовые, уже проверенные на практике конструкции, без удовлетворяющих на то обоснований. В совокупности все эти факторы приводят к тому, что устойчивость, жесткость, прочность конструкции или ее элементов оказывается недостаточной, что приводит к хрупким поломкам.

Причины некоторых повреждений подкрановых балок объясняются тем, что до настоящего момента их действительная работа вскрыта не в полной мере:

- в процессе проектирования воздействия крана на балку и реальные условия эксплуатации учитываются не в полной мере;

- усталость металла (в балках и элементах креплений знакопеременные (циклические) напряжения вызываются циклическостью крановой нагрузки. Максимальные касательные напряжения, возникающие в элементе, считаются критерием выносливости и прочности подкрановой балки. Касательные напряжения вызывают возникновение усталостных трещин);

- использование конструктивных решений, содержащих накладки разного вида;

- крепления решетки с применением «косынок» с резкой концентрацией напряжения;

- закрепление разрезных балок в опорах вертикальными и горизонтальными накладками, а соединение торцовых ребер смежных балок – болты (такой способ закрепления ведет к частичному защемлению балки, в результате

это приводит к возникновению дополнительных напряжений, не учитываемых в расчете).

Хрупкое разрушение конструкций.

Аварии, причиной которых послужило хрупкое разрушение, по частоте занимают первое место после аварий, причиной которых явилась потеря устойчивости. Исходя из приведенной классификации, такой вид разрушений следует отнести к авариям, произошедшим ввиду неудачных проектных решений или отклонений от проекта. Отклонения от проекта проявляются в тех случаях, когда марка стали, указанная по проекту, без обоснования заменяется иной маркой.

Хрупкое разрушение металла имеет место:

- в случае работы конструкции при низких температурах (часто встречающаяся причина разрушений);
- при применении материала, подверженного хрупкому разрушению, при этом авария возможна и в условиях нормальных температур;
- ввиду влияния различных дефектов, возникающих в металле или сварных швах;
- в связи с определенными условиями напряженного состояния материала;
- в связи с воздействием на конструкции различных динамических нагрузок.

Один из важнейших факторов, вызывающих хрупкое разрушение, - хладноломкость стали. Весьма неблагоприятное влияние на конструкцию производят концентраторы напряжений: отверстия, прорезы, трещины, подрезы, расположенные на участках и в местах высокого местного напряжения, ориентированные перпендикулярно направлению действующих растягивающих напряжений. Также к хрупкому разрушению ведет неверное выполнение сварных работ, особенно в холодное время года, а именно отсутствие подогрева элементов при температуре атмосферного воздуха ниже -30°C , отсутствие защиты от ветра, применение электродов несоответствующих марок,

отклонение от конкретной последовательности производства сварных швов, отсутствие контроля качества выполнения сварных соединений. В конструкции, работающей под давлением, не желательно присутствие концентраторов напряжений: отверстия, пазы, приварки всевозможных деталей, служащих для крепления вспомогательных элементов.

Ошибки, допускаемые в процессе изготовления и монтажа конструкции.

Причинами аварий в данном случае служит следующее: грубое несоблюдение СНиП и СП, низкое качество выполнения работ, отступление от ППР.

Дефекты, возникающие в процессе изготовления и при монтаже, не всегда быстро приводят к авариям. Довольно часто даже существенные отклонения от проектных решений и технических условий, проявляют себя не сразу, а во время неблагоприятного воздействия нескольких факторов одновременно. Крушение металлической конструкции может быть вызвано существенным рядом ошибок, дефектов, заложенных при изготовлении .

К таким дефектам и ошибкам относят:

- применение низкокачественных исходных материалов при изготовлении конструкции, работающей в конкретных специфических условиях;
- низкокачественные соединения элементов (на заклепках, болтах, сварке), нарушение требований проекта;
- нарушение порядка хранения конструкций;
- замена отдельных элементов или материала другими без четкого обоснования, не подкрепленного расчетом.

Металлические и сборные железобетонные конструкции зачастую изготавливаются и доставляются к монтажу с грубыми дефектами: нарушением геометрических размеров элемента относительно проектных, с дефектами сварных швов в местах соединения закладных частей, местными деформациями и повреждениями элементов. Нельзя приступать к монтажу стальных конструкций на площадках, подготовка которых не произведена, без прове-

дения геодезической проверки и приема фундаментов, закладных деталей и прочего.

Работа конструкций в условиях монтажа отличается от работы в период эксплуатации, в этой связи во время монтажа необходимо соблюдение всех технических норм и правил.

Например, на определенном этапе монтажа в конструкциях отсутствуют элементы ограждения, служащие повышению жесткости каркаса, и обеспечивающие пространственную работу. В процессе сборки и монтажа конструкции подолгу находятся на морозе, что бывает достаточно опасным для материалов (особенно для имеющих низкий порог хладноломкости). Зачастую к авариям приводит неправильный монтаж конструкций и оборудования, непродуманный процесс строповки. Наиболее опасная строповка – строповка элементов несущих конструкций вне узлов. Чаще всего встречаются аварии, произошедшие во время монтажа, из-за несвоевременно установленных связей, обеспечивающих пространственную жесткость плоских конструкций, ненадежного крепления связей, несвоевременно поставленных монтажных болтов, распорок и прочего. Распространенные дефекты монтажа каркасных производственных зданий это:

- отклонение верха колонн, приводящее к возрастанию в них напряжений;
- смещение узлов нижнего и верхнего поясов фермы из плоскости;
- непровары сварных швов и подрезы;
- допущение больших эксцентриситетов при сборке конструкций;
- отсутствие предварительной приварки связевых элементов при монтаже;
- смена шарнирных узлов на жесткие и наоборот.

Ошибки, допущенные в процессе эксплуатации конструкции (здания).

Наиболее типичные факторы, вызывающие аварии конструкций и зданий в целом в связи с дефектами, допущенными в процессе эксплуатации:

1. Отсутствие профилактического ремонта состояния конструкций и их периодического осмотра. При борьбе и предупреждении аварий главными профилактическими мерами являются регулярное наблюдение за состоянием конструкций (зданий), своевременное и подробное обследование аварийных конструкций, если такое состояние замечено.

2. Нагружение несущих металлических конструкций всевозможным дополнительным оборудованием путем подвеса и прочие изменения в имеющихся конструкциях: рассверление отверстий под болты, создание прорезей, пазов и прочих отверстий.

3. Ошибки, допущенные в процессе реконструкции и усиления конструкций и зданий в целом. К таким ошибкам в первую очередь относятся ошибки, которые допустили при усилении, выполняющемся в конструкции, которая находится в напряженном состоянии.

4. Перегруз от массы снега, наледи и производственной пыли.

5. Отсутствие антикоррозионной защиты конструкции, находящейся под воздействием агрессивной промышленной среды и климатических условий. Регулярные плановые осмотры и обследования конструкций должны обнаруживать необходимость их усиления до возникновения аварийного состояния.

6. Для листовых конструкций (балок, цистерн, различных видов резервуаров, газгольдеров и т.п.), особенно работающих под давлением, причиной крушения является нарушение порядка наполнения и разгрузки конструкций в процессе использования.

7. Безответственное отношение при эксплуатации.

8. Усталость металла и вибрации, приводящие к выходу конструкции из строя.

Подкрановые балки – основные конструкции, приходящие к аварийному состоянию ввиду усталости материала от циклических, постоянно повторяющихся нагрузок. В связи с этим, помимо применения наиболее подходя-

щей конструкции балки, необходимо обеспечить высокое качество изготовления этих конструкций.

Большую роль играет и правильная установка колонн, на которые далее опираются балки, соблюдение нормативных допусков при этом. Отклонение от допусков ведет к осложнению опирания балок, что приводит к устройству подкладок, хомутов и прочего, все это ухудшает условия работы балок.

Горизонтальная и вертикальная рихтовки крановых рельсов и плотность контакта рельса и балки оказывают большое влияние на эксплуатационные качества подкрановых балок. Контакт рельса с балкой постоянно изменяется в месте стыка пролетов балки (на колоннах). Выделяют следующие причины крушений и повреждения подкрановых путей:

Условия работы подкрановых балок – сложное нагружение. Наибольшие горизонтальные и вертикальные силы проходят не через центр изгиба балки, чем вызывают кручение не только верхней части балки, но и всей конструкции. Эксцентричное давление на балку от крана возникает в связи с:

- отсутствие симметрии в сечении подкрановой конструкции;
- наличие смещения рельса;
- неплотность прилегания рельса к балке;
- эксцентричное давление катков на балку;
- различные виды воздействия крана на рельс, в том числе заклинивания, торможения и прочее.

Наиболее часто встречающиеся дефекты, приводящие к преждевременному расстройству подкрановых балок и их выходу из рабочего состояния:

- продольные трещины стенки под поясными швами и в швах крепления верхнего пояса и стенки;
- трещина под коротким ребром жесткости («петушком») и в месте обрыва горизонтального листа нижнего пояса; отрывы тормозной фермы от пояса балки;

- в прокатной балке, усиленной полосой или швеллером, приваренном к верхнему поясу, разрываются швы, прикрепляющие это швеллеры;
- в балках клепаных срез или отрыва головок заклепок, прикрепляющих уголки пояса к стенке и горизонтальный лист верхнего пояса;
- трещины в переходах закруглений полок уголков, выход из строя заклепок стыков, расположенных в центре неразрезных балок;
- дефекты и трещины опорных деталей, в местах крепления балки к колонне, в креплениях рельса к поясу балки.

Повреждения оснований, на которые устанавливаются стальные конструкции.

Металлоконструкции могут пребывать в аварийном состоянии или прийти до обрушения даже в доброкачественном состоянии, при правильном монтаже и верном применении из-за повреждений оснований, на которые установлены эти металлические конструкции. Ввиду этого перед процессом монтажа необходимо подвергать тщательному осмотру предшествующие конструкции, на которые устанавливаются металлические конструкции, в некоторых случаях и конструкции фундамента, и грунты основания. В группу особенных причин, в связи с которыми происходят аварии стальных конструкций, входят:

- неравномерная осадка грунта под подошвой фундамента, на который устанавливаются металлоконструкции;
- процесс выдавливания грунта из-под фундамента;
- процесс выпучивания при вымораживании;
- провалившийся грунт, оползни и прочее.

Неравномерные осадки грунтов приводят к перекосам, перераспределению усилий между конструктивными элементами и т.д. В некоторых случаях статически определимые системы становятся статически неопределимыми. Статическая схема работы поврежденных конструкций подлежит изменению через превращение их в другие конструктивные формы. К аварийному состоянию конструкций приводят ситуации связанные с ненадежно-

стью оснований, неравномерностью осадки, потерей устойчивости опорных конструкций.

Непредсказуемые причины аварий.

В строительной практике имеют место множество примеров аварий и крушений конструкций, вызванные непредвиденными явлениями, которые нельзя было предугадать заранее. Исследование последствий таких аварий позволяет определить перечень конструктивных дефектов, монтажных дефектов и других (которые не обнаруживались до аварии) и выявить пути предотвращения подобных ситуаций путем усовершенствования конструкций или отдельных элементов. Множество подобных примеров встречается в практике мостостроения. Такие примеры полезны для изучения и в области промышленных и гражданских зданиях и сооружениях. Аварии мостов происходили из-за совершенно неожиданных причин, например, из-за смазки опорных шарниров стеарином, что способствовало соскальзыванию опор, или смещение грузов, перевозимых по мосту и недостаточно хорошо закрепленных и т.д.

1.4 Усиление стальных ферм

Наиболее часто в литературе встречается такое описание усиления металлических конструкций, при котором выполняется частичная разгрузка и частичный демонтаж конструкций. Металлические конструкции наиболее часто встречаются в производственных зданиях, поэтому работы по усилению (при реконструкции) рекомендуется совмещать с рабочими процессами основного производства. Для того, чтобы усиление можно было выполнять без остановки производства, должна быть обеспечена возможность вести работы не разгружая конструкцию, т.е. под нагрузкой.

По конструктивному признаку выделяют три способа усиления металлических конструкций:

- с изменением статической схемы или мест передачи нагрузки. Для данного способа усиления используются следующие методы: установка дополнительных опор, подвесок или подкосов; введением дополнительных свя-

зей, распределительных систем; превращение неразрезных систем в разрезные и наоборот; введением шарниров, созданием заданной жесткости; рациональным изменением статической схемы и введением новых шпренгелей; предварительным напряжением конструкций;

- с изменением сечения элементов, осуществляется присоединением к элементу усиления дополнительных элементов, увеличивающих площадь первого;

- комбинированный (с изменением статической схемы и увеличением сечения отдельных элементов).

При усилении металлических конструкций увеличением площади сечения путем приварки новых дополнительных элементов может произойти снижение несущей способности, вызванное местным нагревом. На степень снижения несущей способности оказывают влияние толщина и ширина элемента, режим сварки, порядок наплавления швов. Указывается, что для продольных швов снижение прочности чаще всего не более 15%, для поперечных может достигать 40%.

В процессе сварки происходит некоторая потеря прочности и перераспределение напряжений по сечению элемента и между элементами усиления. В связи с этим напряжения, при которых производят усиление, не должно превышать $0,8R_y$, где R_y - расчетное сопротивление стали усиливаемого элемента.

При выполнении работ по усилению металлических конструкций необходимо соблюдать следующие требования:

- элементы усиления следует располагать так, чтобы центровка элементов в узлах не нарушалась и положение центра тяжести основного элемента не изменялось;

- сварочные работы выполнять с особой осторожностью, учитывая температуру окружающей среды и работу усиливаемого элемента;

- в процессе производства сварочных работ по усилению ферм и балок в первую очередь выполнять швы, соединяющие детали усиления с нижним поясом, а потом уже с верхним поясом;

-для усиления стропильных ферм одним из способов усиления является увеличение площади поперечного сечения стержней.

При усилении способом увеличения площади поперечного сечения для сжатых стержней требуется одновременно увеличивать площадь сечения и момент инерции. Как правило, усиление таких элементов производится симметрично, по возможности с сохранением положения центра тяжести.

1.5 Сварка. Основные сведения

Сварка – это технологическая процедура создания неразборных соединений посредством получения межатомных связей свариваемых частей в процессе нагревания или при пластическом деформировании, или в совокупности того и другого.

Сварка обладает высокой технологической производительностью. Сварка широко применяется во всех отраслях промышленности благодаря своей простоте, в том числе при производстве и в процессе монтажа строительных конструкций.

Применение сварки позволяет добиться экономического эффекта, к примеру, в случае замены клепаных соединений или болтовых на сварные экономия металла – 20-25%, а в случае замены литых деталей на сварные соединения – около 50%.

1.6 Сварка плавящимся электродом. Основные процессы

В процессе электродуговой сварки ток от сварочного трансформатора подводят к электроду плавящимся электродом, также к изделию. Между сварочной проволокой (электродом) и изделием появляется электрическая дуга, которая расплавляет электрод и изделие. Шов заполняется в результате расплавления сварочной проволоки или электрода.

Сварочная дуга – результат устойчивого длительного разряда электрического тока в среде газа, который возникает между изделием и электродом.

Форма столба дугового разряда чаще конической или сферической формы. Основная характеристика дуги – сильный световой эффект и сильное выделение тепла. Температура дуги может достигать 6000°С. Вокруг столба дуги ореол пламени или раскаленных газов. Поверхность электрода и изделия расплавляются под воздействием дуги.

Дуга возникает следующим образом – микровыступы торца электрода соприкасаются со свариваемым металлом, и в зоне контакта возникает короткое замыкание сварочной цепи. Так, имеющий высокую плотность, мгновенно расплавляет выступы, через которые проходит. Вследствие этого процесса сварочная цепь замыкается тонкой прослойкой жидкого металла, которая образуется между электродом и металлом. Далее в процессе отвода электрода в разжиженном металле появляется шейка, утончающаяся, а затем при испарении расплавленного металла, разрывающаяся. В это время в ионизированном промежутке, который заполнен парами и газами, появляется сварочная дуга между электродом и металлом. Образование дуги происходит очень быстро, за доли секунды.

Длина дуги – расстояние от торца электрода до поверхности сварочной ванны.

Выделяют:

- короткие дуги – длина 2-4 мм;
- нормальные дуги – длина 4-6 мм;
- длинные дуги – длина более 6мм.

В режиме работы короткой дуги обеспечиваются оптимальные процессы сварки. Если дуга длинная сварочный процесс протекает неравномерно, горение дуги неустойчиво, окисление металла больше, возрастает процент разбрызгивающегося металла.

Виды сварочных дуг различаются исходя из количества электродов и способов их включения и свариваемого изделия:

- дуга прямолинейного действия, при горении дуги между изделием и электродом;

- дуга косвенного действия, при горении дуги между двумя электродами, когда изделие, которое сваривается не включается в электрическую цепь;
- трехфазная дуга, которая возбуждается между двумя электродами и между свариваемым материалом и каждым из электродов.

Чаще всего применяется дуга прямого действия.

Сварочная дуга питается как от постоянного, так и от переменного тока. Во время сварки на переменном токе смена полярности происходит 100 раз в секунду (частота при этом 50 Гц).

При сварке постоянным током выделяют сварку прямой и обратной полярности, это зависит от способа присоединения источников к изделию. Прямая полярность – на электроде минус, на металле – плюс. Обратная полярность – минус на свариваемом элементе, на электроде плюс.

Сварку различают в зависимости от электрода:

- сварка плавящим электродом;
- сварка неплавящимся электродом, угольным или вольфрамовым.

Сварка постоянным током предоставляет возможность создать более высококачественное соединение в сравнении со сваркой переменным током.

Сварка плавящимся электродом характеризуется значительной силой тока:

- ручная дуговая сварка – $I = 100-400\text{A}$;
- полуавтоматическая сварка – $I = 350-600\text{A}$;
- автоматическая сварка – $I = 600-1000\text{A}$ и более.

Сварочное напряжение всегда небольшой величины и колеблется в районе $U = 30-60\text{В}$. В момент появления сварочной дуги напряжение несколько больше $U = 40-70\text{В}$.

В процессе сварки должен обеспечиваться стабильный режим.

Отклонения по предельному значению сварочного напряжения не должно превышать 5%.

Тепловая энергия дуги Q (величина теплоты, которую выделяет дуга) определяется по формуле

$$Q = I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot t$$

где $I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока, А;

$U_{\text{д}}$ – величина напряжения дуги, В;

t – временной промежуток горения дуги, сек.

Тепловая энергия дуги не в полной мере идет на расплавление металла. Частично энергия уходит на теплоотдачу в атмосферу, на расплавлением флюса или покрытия электрода.

Тепловая энергия, идущая на нагрев и расплав металла за временную единицу, называется – эффективная тепловая мощность дуги.

Глубина проплавления, или провар шва, – глубина расплавления основного металла. Глубина расплавления основного металла подвергается изменению в связи с эффективностью тепловой мощностью дуги.

Глубина проплавления сварного шва характеризуется коэффициентами глубины проплавления по самому шву и на граница зона сплавления. При ручной сварке значение глубины проплавления шва незначительно, при полуавтоматической сварке – больше, при автоматической сварке – наибольшее значение.

При воздействии тепловой энергии электрической дуги осуществляется расплав кромок металла, подверженного сварке, проволоки (электрода), флюса или покрытия электродом. В процессе этого возникает сварочная ванна из расплавленного материала, она покрыта шлаком и газами, которые выделяются при сварке.

В виде капель электродный металл переносится в разделку. За секунду осуществляется перенос от электрода в разделку шва примерно 25-50 капель.

Во время сварки в аргоне или в углекислом газе при наличии высоких плотностей тока металл электрода переходит в разделку шва мелким потоком капель. Весь этот процессе носит название струйного.

Перенос частиц металла осуществляется всегда от электрода (меньшего тела) к изделию (большемому телу).

На процесс переноса не влияют направление электрического тока и положение свариваемого элемента (к примеру, в отношении проволочной сварки).

Скорость расплавления основного металла влияет на эффективность сварочного процесса, эта эффективность оценивается коэффициентом расплавления. Этот коэффициент численно приравнивается масса электродному металлу в граммах, расплавлено за один час и приходящийся на один ампер тока сварки. Коэффициенту расплавления и его толщина, полярность тока. У электродов, выполненных из стали, коэффициент расплавления разнится от 5 до 20 г/а-ч.

Наплавленный металл проволоки (электрода) во время сварки не полностью переходит в металл шва. Некоторой частью металл расходуется на разбрызгивании, окислении, угара. В связи с этим оценка эффективности заполнения швов производится с использованием коэффициента наплавки.

Коэффициенты наплавки меньше коэффициентов расплавки на величины потери электродных металлов в процессе сварке, составляющей 5-25%. Значение, что меньше, имеет отношение к сварке по флюсом, то, что больше, относится к ручной дуговой сварке.

Необходимые геометрические параметры швов и механические свойства сварных швов должны обеспечиваться технологией сварки при наименьших внутреннем напряжении и деформации свариваемого металла.

1.7 Техника безопасности при производстве сварочных работ

Сварные процессы – объекты повышенной опасности, это вызвано высокой температурой шва и свариваемого материала, высокими значениями силы тока и сварочного напряжения. К тому же зона, в которой работает сварщик, загрязнена сварочными аэрозолями, пылью, вредоносными парами и газами.

К рабочему месту сварщика предъявляются требования по охране труда.

При производстве сварочных работ возникают следующие виды производственных опасностей:

- интоксикация организма под воздействием вредных газов, пыли и паров, возникающих в процессе сварки;
- воздействие лучей электрической дуги на органы зрения;
- ожоги на поверхности тела от капель расплавленного металла и частиц шлака;
- удар электрического тока;
- нанесение вреда от взрыва баллона с защитным газом или другой емкости с взрывоопасной жидкостью или газообразным веществом.

1.7.1 Меры защиты от токсичных аэрозолей и газов

Сварочный аэрозоль заполняет воздушное пространство рабочей зоны сварщика и всего помещения во время сварки и резки металла.

Аэрозольное облако образуется в результате окислений в воздушном пространстве паров металлов, которые кипят в процессе сварки и тепловой резки. Аэрозоли, образующиеся в процессе сварки, наполнены пылью, дымом окислов и конденсатом металлов, которые входят в состав свариваемых металлов и прочих свариваемых материалов, а также вредными газами и парами. Смотря на то, какие сварочные материалы и свариваемый металл применяются в процессе сварки, в сварочном аэрозоле, находящемся в твердой фазе, возможно присутствие оксидов металлов и их соединений, фторидов и т.д. В аэрозоле, находящемся в газообразной фазе, возможно содержание фтористого водорода, окиси углерода, окиси и двуокиси азота и других вредных веществ. Газы фтористого водорода, окиси углерода, окиси и двуокиси азота являются ядовитыми.

В зависимости от технологии сварки и свойств свариваемых металлов в воздух поступает различное количество аэрозольной пыли. В процессе сварки ручной дуговой сваркой электродами УОНИ для 1 кг наплавляемого металла образовывается 8-18 г аэрозольной пыли; полуавтоматическая сварка с среде

углекислого газа – 8-15 г; автоматическая сварка под флюсом – самое низкое количество пыли – 0,04-0,12 г.

Повышенная общая заболеваемость до профессионального отравления может быть вызвана сварочными аэрозолями, имеющими многофункциональный отравляющий эффект. Возможно возникновение болезней крови под воздействием железа, нарушений функционирования нервной системы - марганец; поражений сердца, почек, печени – никель.

На сегодняшний день отечественным и зарубежным производством выпускается большое количество оборудования, применяемого для очистки воздушного пространства от сварочных аэрозолей. Фильтровентиляционные установки существуют с стационарным и передвижным варианте, напольные и навесные, с одним полноповоротным воздуховытяжным устройством общего и местного действия, с двумя и более.

Качественная работа улавливающих и отсасывающих накладок влияет на эффективность работы фильтровентиляционных устройств.

1.7.2 Меры защиты зрения и кожи лица

Серьезные заболевания глаз у сварщиков возникают от воздействия мощного ультрафиолетового и светового излучения сварочной дуги, а также инфракрасного излучения. За доли секунды осуществляется поражение от легкого ослепления до ожогов роговицы.

Наиболее вредное воздействие на зрительные органы происходит от лучей сварочной дуги в радиусе 10 м.

В качестве мер защиты глаз и кожи лица от воздействий электрических лучей дуги, брызг и искр, исходящих от расплавленного металла, сварщики обеспечиваются ручными щитками, как показано на рис.1.1, масками, рис.1.2 или шлемами, рис. 1.2.



Рис. 1.1. Ручной щиток для защиты зрения



а



б



В

Рис. 1.2. Маски и шлемы для защиты зрения

Вес щитка, шлема или маски не должен превышать 0,6 кг. Поэтому для их изготовления применяется легкий токонепроницаемый материал. В конструкциях некоторых масок и шлемов предусмотрена система для отвода используемого воздуха.

Для защиты органов дыхания применяются переносные защитные системы дыхания скомбинированные с масками (рис.1.2). Вредные вещества не могут проникнуть внутрь устройства, т.к. встроенный вентилятор постоянно создает избыточное давление в маске. Устройство заряжается аккумулятором.

Для задержания инфракрасных и ультрафиолетовых лучей и снижения яркости световых лучей дуги в щитки, маски или шлемы в смотровое отверстие устанавливают специальные стекло-светофильтры. Оптическая плотность (степень затененности) светофильтров подбирается исходя из мощности сварочной дуги. В настоящее время часто применяются светофильтры с эффектом хамелеона, с автоматическим затемнением, реагирующим на степень освещенности.

В качестве защиты светофильтра от различных загрязнений и брызг раскаленного металла применяется обычное бесцветное сменное стекло, легкозаменяемое в случае загрязнения и забрызгивания расплавленным металлом.

Прозрачные очки из поликарбоната используются во время зачистки сварных швов до сварки и очистки от образовавшейся корки из шлака после сварочного процесса.

1.7.3 Меры защиты от тепловых ожогов

Кожные покровы подвержены ожогов во время применения открытых дуг, при наличии брызг жидких расплавленных металлов и шлака при сварочных процессах и в процессе резки. Во время выполнения сварочных работ все части тела сварщика должны быть закрыты.

Для защиты затылка и шеи служат защитные головные уборы, которые необходимо применять помимо масок и щитков.

Защитная одежда используется для защиты частей тела сварщика от ожогов. налажен выпуск специальных брезентовых костюмов, пропитанных огнестойкими жидкостями, огнестойких рукавиц и кожаной или валяной обуви. На одежде не должно быть складок, на брюках не должно быть отворотов, должны быть напуски поверх обуви, рукавицы должны иметь напуск на рукава.

Возможно получение теплового ожога, если прикоснуться поверхностью кожи к недавно сваренному изделию. Поэтому запрещается братья голыми руками за изделие, которое сварено недавно и еще не успело остыть.

1.7.4 Меры защиты от поражений электрическим током

Причины поражений электрическим током:

- неправильное подключение сварочных оборудования к электрической сети;
- неисправность электропроводки;
- неисправность сетей заземления;
- неисправность сварного оборудования.

Поражения электрических токов происходят при прикосновениях человеком к токонесущим частями электропроводок и сварочных аппаратов или при неправильных ведениях сварочных работ.

Во избежание поражений электрическими токами нужно:

- надежные заземления корпуса источника питания сварочных дуг;
- надежные изоляции все токопроводящие провода от источников тока и сварочная дуга;

- надежные изоляции электрододержателя для предотвращения случайных контактов с токоведущей частью.

Поражении человека сварочными напряжениями и сварочными токами можно вызвать серьезное последствие и смерть.

В случае поражений электрическими токами или напряжениями пострадавшего нужно оказать первую скорую помощь:

- освобождение от электропровода;
- обеспечение доступа к свежему воздуху.

В случае потери пострадавшим сознания, необходимо вызывать скорые медицинские помощь, до прибытий машины провести искусственные дыхание.

1.8 Существующие виды сварных соединений и швов

1.8.1 Классификация

Все сварных швов разделяют на стыковые и угловых.

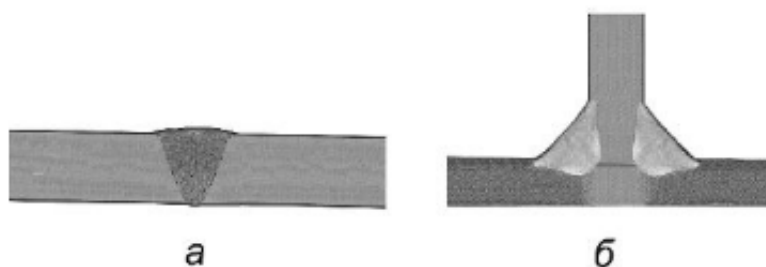


Рис. 1.3. Типы сварных швов: а – стыковой шов; б- угловые швы

Стыковых швов применяют в стыковые соединения.

Угловых швов применяют в угловые, тавровые и нахлесточные соединения. В строительные металлоконструкции в основном применяют угловые швы (90%). На доле стыковых швов находится около 10%.

По виду разделок кромки швов бывают без разделок кромок или с разделками кромки.

Без разделок кромки свариваемы листы малой толщины. Элементов большой толщины можно сваривать без разделок только в случае больших сил тока.

Разделки кромки делают в листе с большой толщиной. Разделки кромки существуют V-образные, К-образные, Х-образные, У-образные. Всех перечисленных разделок кромки бывает с притуплением или с отсутствием притупления; с зазорами или без зазоров. Сварки швов с V-образной, К-образной, Х-образной и У-образной разделками, выполняются многопроходными сварками.

Скосы кромки осуществляются абразивными инструментами или кислородными резаками. В конструкции из высокопрочной стали после кислородных резов необходимы зачистки кромок абразивными инструментами.

В виду необходимости обеспечения равномерных зазоров неравномерность металла в зонах притупления после кислородных резов нужно устраивать зачистками абразивными инструментами.

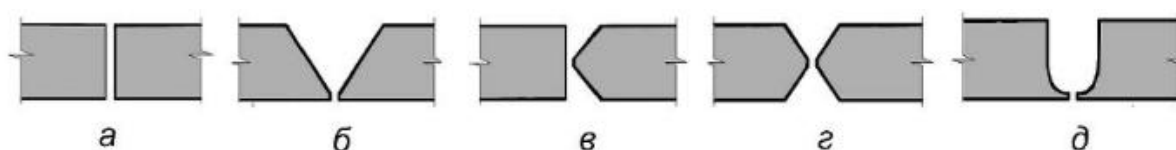


Рис. 1.4. Виды разделки кромок:

а – без разделки; б – V-образная разделка; в – К-образная разделка;
г – Х-образная разделка; д – У-образная разделка

Швы различаются по положению в пространстве:

- нижние положения;
- горизонтальные;
- вертикальные;
- потолочные;
- «в лодочку».

Наиболее простые и качественные по выполнению это нижние швы и швы «в лодочку», т.к. при их выполнении созданы наиболее благоприятное условие для получения шва хорошего качества. Сварка в нижних положениях

и «в лодочку» выполняется удобно, легкое наблюдение за процессом сварки. В этих положениях расплавленные металлы переносятся в сварочные ванны в направлениях силы тяжести.

При выполнении вертикального и горизонтального шва требуется специальный навык. Выполнение сварки в вертикальных положениях металлы и сварочные ванны переносятся перпендикулярно направлению действия силы тяжести. Горизонтальный шов варить труднее, чем вертикальный, т.к. расплавленные металлы могут течь по кромкам нижнего листа.

По техникам выполнения процесс сварки потолочного шва наиболее труден, т.к. направление силы тяжести препятствует переносу капель расплавленных металлов электродов в сварочные ванны и расплавленные металлы стремятся стечь вниз.

По признаку протяженности швы подразделяют на:

- непрерывные;
- прерывистые.

Прерывистый шов применяется в том случае, когда соединения могут быть не плотными и несут незначительную статическую нагрузку. Расстояния между участком короткого шва не должно превышать 200 мм. Прерывистый шов бывает цепной и шахматный.

По отношению к действующему условию стыковой шов в стыковом соединении бывает прямой или косой.

Угловой шов в нахлестном соединении бывает фланговый и лобовой. Фланговый шов расположен вдоль усилия, лобовой – поперек. Лобовой шов бывает прямой и косой.

В длинномерной конструкции типа балки и колонны различаются продольный и поперечный шов.

По количеству наплавляемого металла шов бывает нормальный, выпуклый или вогнутый. В нормальной хронике. В этих местах происходят концентрации напряжений, что может привести к преждевременным разрушениям швов.

Вогнутый шов следует выполнять с плавными переходами к основному металлу. Такой шов рекомендуют применять в конструкции, воспринимающей динамическую и вибрационную нагрузку, а также в конструкции, возводимой в районе с расчетной температурой ниже -40°C и в конструкции из стали с временными сопротивлениями.

Придание угловому шву вогнутым профилем и плавным переходом к основным металлам осуществляется либо подбором режима сварки, либо соответствующими пространственными расположениями свариваемых частей конструкций, либо механизированными зачистками абразивными инструментами.

По числу проходов (слоев) сварки стыковой шов может быть односторонний, двухсторонний и многосторонний, односторонний или двусторонний.

В тавровом соединении шов может быть односторонний и двусторонний, а также односторонний, двухсторонний и многосторонний.

Каждый последующий валик многосторонних швов накладывается после тщательных очисток предыдущих валиков от шлака и брызг металла. При двусторонней сварке стыкового шва перед выполнением швов с обратной стороны нужно очистить корень этих швов до чистого бездефектного металла.

По восприятию действующей нагрузки шов бывает расчетный и конструктивный. Размер расчетного шва проверяется на прочность или подбирается на основе расчетов. Из всех объемов расчетных и конструктивных. Размер расчетного шва проверяется на прочность или подбирается на основе расчетов. Из всего объема сварных швов на долю расчетного приходится около 30-35%. Остальное – конструктивный, на его долю приходится примерно 65-70% всех протяженности сварного шва.

1.8.2 Сварные соединения. Классификация

Сварными соединениями называются неразъемные соединения деталей, выполненные сваркой.

Различаются:

- стыковое соединение – соединение двух элементов расположенные в одной плоскости. Стыковое соединение в основном применяется в конструкции из листового металла. В стыковом соединении неодинаковых толщин обеспечивается плавный переход от элементов большей толщины к элементам меньшей толщины. При разнице в толщине не превышающей 5 мм, переходы осуществляются за счет наклонов поверхностей швов. При больших разнице толщин на более толстых элементах должны быть сделаны скосы с уклонами не более 1:5.

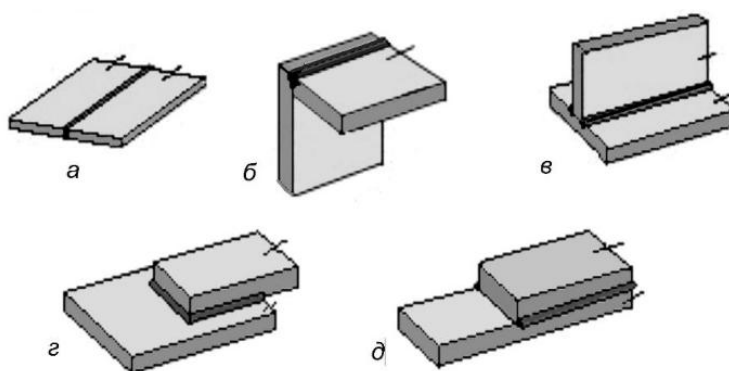


Рис. 1.5. Виды сварных соединений

а – стыковые соединения; б – угловые соединения; в – тавровые соединения; г – нахлесточные соединения; д – торцевые или боковые соединения

- угловое соединение – соединение двух элементов, расположенного под прямыми или иными углами друг к другу. Угловое соединение применяется при приварке элемента к кромке листа или профиля;

- тавровое соединение – соединение, в котором к поверхностям одних элементов приваривается торцом другой элемент. Такое соединение наиболее широко используется при изготовлении строительной металлической конструкции;

- нахлесточное соединение – соединение, в котором свариваемый элемент параллельно расположен накладывается друг на друга;

- торцевое или боковое соединение – соединение, в котором листы равной ширины соединяются и свариваются по смежным торцам.

- соединение с накладкой – соединение, в котором стык перекрывается накладкой. Это соединение требует дополнительного количества металла, поэтому применяется только в том случае, когда технологически нельзя выполнить стыковые швы.

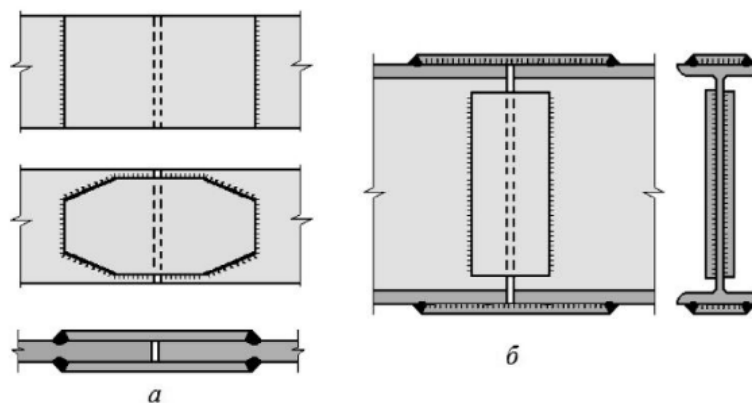


Рис. 1.6. Соединения с накладками:

а – соединение листов; б – соединение прокатных балок

Как правило, в соединениях с накладкой существует несколько видов сварного шва: стыковой, фланговый, лобовой. Такое соединение называется комбинированным. Действительная работа таких соединений зависит от распределений усилий между швов. Лобовой шов как наиболее жесткий воспринимает большое усилие. Фланговый как более податливый работает лучше.

В процессе выполнения такого соединения предпочтительно применяется фланговый шов и по возможности избегается применение лобового шва.

1.9 Сварные соединения. Прочность и качество

1.9.1 Сварные соединения. Прочность

Прочность сварных соединений – это обеспечение высокой эксплуатационной характеристики при воздействиях внешней силы статического или динамического характеров.

Факторы, оказывающие влияние, на прочность сварного соединения:

- выбор правильных и качественных технологических процессов сварки. При правильных и качественных технологических процессах сварки происходит обеспечение полного проплавления шва, отсутствия пор, трещины,

шлаковых и газового включений. Происходит обеспечение качественной защиты расплавленных металлов швов от влияния окружающей среды.

- прочность основных металлов конструкций. Свариваемые металлы должны иметь гарантированную механическую характеристику, в том числе положительный показатель свариваемости.

- прочность наплавленных металлов. Прочность наплавленных металлов швов определяется правильно выбранным сварочным материалом - электродом или сварочной проволокой, флюсами или защитным газом. Сварочный материал должен быть подобран в соответствии с прочностями свариваемых сталей.

- квалификация сборщика и сварщика. Нужно обеспечивать качественную подготовку детали под сварку, рабочее положение оснасток и сварочного оборудования, а также обеспечивать качественное выполнение технологических процессов сварки. К проведению ответственной сварочной работы допускается сварщик, прошедший аттестацию и имеющий соответствующий документ.

- виды сварки. Швы, выполненные автоматической сваркой, более прочные и качественные в сравнении со швами, выполненными ручной дуговой сварки. Определение вида сварки зависит от характеров производственных условий, технологических операций, протяженностей и пространственных расположений сварного шва.

- положение швов в пространстве при сварочном процессе. Наиболее прочными и качественными являются швы, выполненные «в лодочку».

Наименее прочные швы – швы, выполненные в потолочном положении.

- виды сварных соединений. Механическое свойство различных видов сварного соединения различно. При работах под нагрузками в стыковом соединении напряжение в сварных швах распределено равномерно. В тавровом и нахлесточном соединении напряжение в шве неравномерно. На конце шва

наблюдаются значительные концентрации напряжения, которые могут привести к срезам.

- виды и направления действующих нагрузок. Различные виды нагрузок (статические, динамические, вибрационные, малоцикловые и т.д.) по-разному влияют на прочность сварного соединения. При динамической, вибрационной, малоцикловой нагрузке прочность сварных соединений исчерпываются быстрее, чем при статической нагрузке.

- применение жестких сборно-сварочных оснасток и сборно-сварочного кондуктора. При применении кондуктора значительно возрастает прочность сборок. Являясь более жестким, чем свариваемые конструкции, кондуктор препятствует образованиям сварочного напряжения и деформации или значительно снижает их величины.

- контроль качества сварочного процесса. Контроль качества должен производиться на каждой стадии технологического процесса сборки и сварки и в готовых элементах.

1.9.2 Сварные соединения. Контроль качества

От качества сварного шва и соединения зависят работоспособность сварной конструкции и ее безопасность при эксплуатации для людей и окружающей среды.

1.9.3 Сварные соединения. Основные дефекты\

При сварки в металле швов и околошовных зонах могут возникнуть разные дефекты, приводящие к ухудшению прочности, эксплуатационных качествах надежности и точности.

По ГОСТу установлена классификация, дано определение дефекту шва и основных металлов при процессе сварочного плавления.

Дефект сварного соединения различается по причинам возникновения и месту его расположения.

- в зависимости от причины появления дефекты возможно разделять на две группы:

- в первой группе дефекты, которые связаны с металлургическим и тепловым явлениями, которые происходят в при сварке: горячая и холодная трещина в металле швов и в околошовной зоне, полостях и порах, шлаковых и флюсовых включениях, включениях инородного металла и неметалла, непроварах, несплавлениях, линейных и угловых смещениях и т.д.;

- во второй группе дефекты формирования шва, которые возникают из-за неисправностей оборудования. Низкая квалификация сварщиков и другие нарушения технологических процессов и пр. Среди дефектов этой группы находятся несоответствия шва расчетному размеру, непровар, подрез, прожог, наплыв, натек, прожог и др.

- в зависимости от места возникновения нарушения делят на внешний и внутренний:

- внешний дефект – это тот дефект, который можно обнаружить внешними осмотрами и обмерами сварного шва. К внешнему дефекту относятся: нарушение проектного размера и форм шва, подрез зоны сплавления, прожог, поверхностная опора и трещина, наплыв, натек, прожог, несплавление и т.д.

- внутренний дефект – это тот дефект, который можно обнаружить только физическим методом контроля качества. К внутреннему дефекту относятся: внутренняя полость и поры, твердое (металлическое, неметаллическое, шлаковое и флюсовое) включение, внутренняя трещина, непровар и несплавление и т.д.

Внешние дефекты при сварке

Внешний дефект сварного шва и соединения возникает из-за следующих причин:

- нарушение размера и формы швов происходит из-за низкой квалификации сварщика. Утолщение швов возникает из-за недостаточной силы тока или низкой скорости сварки. Шов с уменьшенными сечениями получается при высокой силе тока и длинных дугах:

- незаваренный кратер появляется при резких обрывах дуги. В связи с этим образуются углубления в швах, ослабляющие сечения швов, что служит концентраторами напряжений;

- наплыв и натек образуется из-за стекания избыточных жидких металлов швов на поверхности свариваемых металлов (часто это происходит при горизонтальных и вертикальных положениях швов). Наплыва создает в швах концентрации напряжения и очаг коррозии;

- подрез вызван повышенной силой тока в процессе сварки. Подрез зон сплавления проявляется в виде продольной выемки на наружных поверхностях зон сплавления швов и основного материала и вызывает ослабление сечения и концентрации напряжений;

- прожог возникает при большой силе тока и малой скорости сварки, при которой происходят вытекания расплавленного металла из сварочных ванн. Прожог образует сквозное отверстие в швах или околошовных зонах;

- наружная трещина и поры на поверхностях швов возникают при плохой подготовке металлов под сварки в результате попаданий влаги, грязей или продуктов коррозии в зоны швов.

Внешний дефект сварного шва и соединения выявляется внешними осмотрами и обмерами сварного шва после полного остывания сварных швов и очистки швов от шлаков и брызг металла.

Внутренние дефекты при сварке

Внутренний дефект сварного шва и соединения является наиболее опасным и возникает по следующим причинам:

- непровар и несплавление приводит к отсутствию соединений между металлами швов и основными металлами. Причина непровара и несплавления может быть недостаточность силы тока. Она может возникнуть также при недостаточных зазорах или малых углах разделки кромки, при неправильных наклонах электродов или их перемещениях.

Непровар приводит к нарушениям сплошностей металлов швов, уменьшает рабочие сечения швов, создает очаги коррозии и приводит к концентрациям напряжения;

- неметаллическое включение в виде шлакового или флюсового включения образуется при некачественной подготовке металла под сварки в результате попаданий влаги, грязей или продуктов ржавчины в зоны швов;

- газовая полость и поры образуется из-за влажностей покрытий электрода или флюса, при неверно подобранных составах флюса или покрытий электродов. Газовая пора может образоваться при некачественной подготовке металла под сварку в результате попаданий влаги, грязи и продуктов ржавчины в зоны швов;

- трещина может возникнуть как в швах, так и в толще основного металла. Это наиболее опасные дефекты при сварке. Причина образования трещины может быть неудовлетворительной свариваемостью стали как в горячее, так и в холодное состояние.

Все перечисленный выше дефект в основном возникает из-за плохой квалификации сварщиков или нарушений технологических процессов сварки и неграмотных подборов стали и сварочного материала.

1.9.4 Сварные соединения. Способы контроля качества

Контроль качества должен осуществляться, начиная проверкой качества свариваемых сталей, проверкой подготовки сварки, заканчивая проверкой качества полученных сварных соединений. Трудоемкости контрольные операции может доходить до 30% от общих трудоемкостей изготовлений сварных конструкций.

Качество сварного соединения контролируется в процессе изготовлений следующим методом контроля, воздействующим на материалы подразделяется на:

- разрушающий метод;
- неразрушающий метод.

По временам действий вид контроля подразделяется на:

- предварительный метод;
- текущий метод;
- окончательный метод.

- на стадии предварительных контролей проверяется качество исходного материала (свариваемых металлов, электрода, флюса). Производится контроль подготовок детали под сварку и сборка узла, а также состояние оснастки, сварочное оборудование и прибор внешнего осмотра. Проверяется квалификация сборщика и сварщика. На стадии предварительных контролем выполняются испытания сталей на свариваемость.

- в процессах текущих контроля проверяется выполнение сварочной работы. Проверяется соблюдение технологий и режима сварки. Зачистка промежуточного шва, заварка кратера и т.д.

- при окончательных контроле готового сварного конструкции проверяется соответствие размеров и форм сварного соединения требованию, предъявляемому к изделию. Кроме того, проверяется наличие дефекта сварных швов.

При окончательных контроле готовые сварные соединения подвергаются внешнему осмотру. Внешние осмотры позволяют шаблонам и измерительным инструментам. Остаточная деформация сварной конструкции проверяется измерительными прибором.

- химические составы металлов швов и околошовных зон определяется на основе химических анализов. Химические анализы позволяют определять составы основных и наплавленных металлов и их соответствий установленному техническому условию на изготовление сварных изделий.

- Для определений качества и прочностей сварных швов изделия подвергаются металлографическому и механическому испытанию.

- металлографическое испытание позволяет выявлять качество проваров и отсутствие внутреннего дефекта.

- механическое испытание сварных соединений производит либо на специально сваренном контрольном образце, либо на образце, вырезанном из

сварных соединений. Определяются механическая характеристика, ударной вязкости и т.д.

• Для обнаружения поры, трещины, непровара, шлакового включения используются физический метод контроля качества сварного соединения, основное из которых согласно ГОСТ 3242-79:

- радиационного контроля;
- акустического контроля;
- магнитного и электромагнитного контроля;
- капиллярного контроля;
- течеискание.

1.10 О сварочных напряжениях и деформациях

1.10.1 Общие понятия о сварочных напряжениях и деформациях

Деформацией называется изменение форм и размера элемента конструкций под действием усилий. Если формы элемента конструкций восстанавливаются после прекращения действий сил, то деформация называется упругой. Если элементы не принимают первоначальной формы, то он получил остаточные, пластические деформации.

До достижений в элементах напряжения, равного пределу текучести стали σ_T , напряжение и деформация линейно связаны, т.е. увеличения напряжения происходят пропорционально увеличениям деформации. При напряжении, равном пределу текучести, деформация растет без изменений нагрузок (металл течет), и эта деформация является остаточной.

Деформация, развивающаяся при сварке, бывает временной и остаточной. Временная деформация развивается в период сварочного нагрева. Остаточная деформация сохраняется в течении длительного периода времени. Сварочная деформация делится на общую, распространяющуюся на всем конструкциям, и местную, изменяющую размер и формы отдельных узла или деталей.

В результате неравномерных нагревов при сварке в элементе конструкции возникает остаточная сварочная напряжение. В зависимости от направ-

лений действующего усилия по отношению к рассматриваемым сечениям элементов напряжений могут быть растягивающим, сжимающим, касательным и от кручения.

Напряжение от внешнего усилия при эксплуатации сварных конструкций накладывается на остаточное напряжение от сварки и суммируется с ним.

1.10.2 Сварочные процессы. Тепловые процессы и образование сварочных напряжений и деформаций

При сварке происходят местные разогревы элементов теплом сварочных дуг. Распределение температур в момент сварки в элемент неравномерный. Наибольшие температуры в зоне швов в момент прохождения сварочных дуг (рис. 1.7,а). Сварочные дуги, перемещаются по свариваемому изделию, представляют собой подвижные линейные источники тепла с переменными координатами. В теории сварочного процесса, разработанных Н.Н.Рыкалиным, доказано, что при перемещениях источников тепла (сварочной дуги) по плоскости изотерм нагрева имеет вид вытянутых яйцевидных форм (рис. 1.7,б).

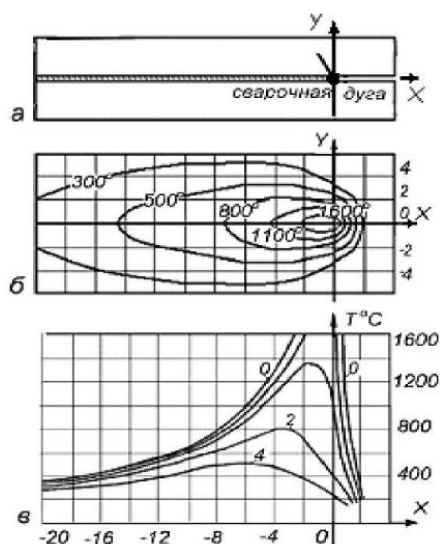


Рис. 1.7. Распределение температуры при сварке

Температуры в сечении элементов распределены неравномерно. В большей мере нагреты зоны, расположенные в непосредственной близости от

сварочных дуг. Перед источниками тепла (сварочными дугами) температуры резко нарастают (рис. 1.7,в), а за источниками тепла они постепенно убывают. На некоторых удалениях от зон сварки температур изделий остается равной тем, которые были до сварки.

Распределению температуры зависят от мощностей сварочных дуг и от толщин свариваемых металлов. Распределения температур изменяются с течением времени.

Образованию высокой температуры в зонах швов в моменты прохождения дуг и большой разности температур по сечениям препятствует свободным расширениям нагретого металла. (Свободным расширениям нагретых металлов препятствует соединения холодных участков сварных соединений.) Это и является причинами развития временной сварочной напряженности и деформации. Оно существует только в моменты времени, когда температуры швов высоки. Металлы в зонах швов (в зоне термопластичности) обжимаются холодным участком соединений. В холодных металлах, в свою очередь, развивается напряжение растяжений. Временное напряжение уравновешено по сечениям. В зонах швов развивается временное сварочное напряжение сжатия. А в оставшихся частях сечений – временное напряжение растяжений.

Временное напряжение в зонах швов, превышающих предел текучести сталей, является причинами образований временной сварочной пластической и упругой деформации. Последующие охлаждения изделий и пластических деформаций, образующиеся в момент нагрева, приводит к развитию остаточным сварочным напряжениям и деформациям. Оно остается в конструкциях после ее изготовления.

Знаки временного и остаточного напряжения и деформации противоположны. После остывания в зонах швов возникает остаточное сварочное напряжение растяжения, причем величины их значительны. На остальных участках изделий образуется не значительное по величине остаточное напряжение сжатия. Их величины тем меньше, чем шире изделия.

Временная деформация вызывает в изделиях удлинения элементов, а остаточная – укорочения.

Остаточным сварочным напряжениям практически не влияет на прочность и работоспособность конструкции, если оно работает при статических нагрузках и стало, из которых оно изготовлено, обладают достаточными пластичностями. СП допускает не учитывать сварочное напряжение при расчете конструкции из малоуглеродистой и некоторой низколегированной стали.

Остаточная сварочная деформация вызывает отклонения размера и форм конструкции от проектной, и в случае, если их величины превышают допускаемые ГОСТом, необходим их учет и компенсации до сварки или правки готового изделия. Это, в свою очередь приводит к удорожаниям конструкции.

1.10.3 Остаточные сварочные деформации. Влияние деформаций на работоспособность и точность конструкций

Как было отмечено раньше, остаточная сварочная деформация неизбежно возникает при сварке металлической конструкции. Она ухудшает работоспособность и точность конструкций и может привести к преждевременным потерям прочности и устойчивости элемента конструкций.

Остаточная сварочная деформация принято разделяется на общую и местную. Общей деформацией называется та, которая распространилась по всему элементу или на больших его частях. Местная деформация распространяется на отдельной части элементов конструкций. Все перечисленный вид деформации является следствием развитий продольных и поперечных усадок сварного шва.

Общие сварочные деформации

К общей деформации относится

- продольные и поперечные укорочения конструкции, которые возникают в результате продольных и поперечных усадок всех сварных швов в конструкциях (рис. 1.8);

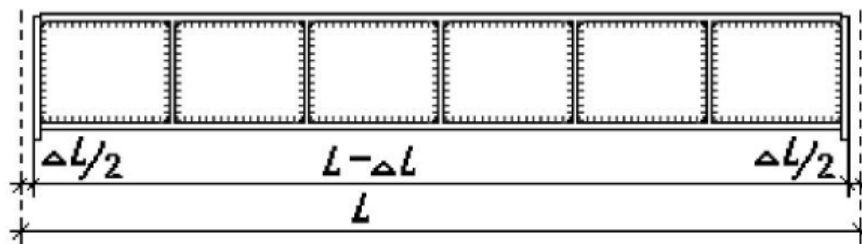


Рис. 1.8. Продольное укорочение балки

- серповидности, или саблевидности, длинномерного элемента (рис. 1.9) возникают в результате продольных усадок шва, расположенного несимметрично относительно центров тяжести элементов, а также при несимметричных расположениях ребра жесткости, косынки, накладки. Серповидности возникают также при сварке элемента несимметричных (например, таврового) сечений;

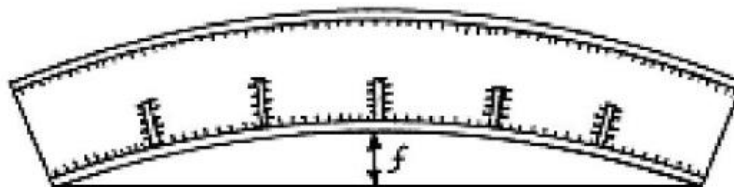


Рис. 1.9. Деформации серповидности в балках

- грибовидности и перекосы полки двутавровой балки и колонны. Грибовидности (рис. 1.10, а) возникают в результате неравномерных усадок по сечениям углового шва (угловой деформации) при двусторонних его расположениях.

Перекосы полки (рис. 1.10, б) возникают в результате неравномерных усадок (угловой деформации) одностороннего поясного шва по высоте.

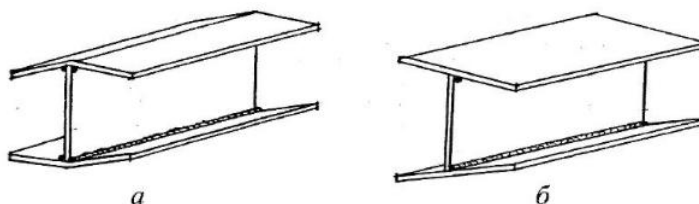


Рис. 1.10. Угловые деформации двутавровых элементов:

а – деформации грибовидности; б – перекося полков

- винтообразность, или скручивания, длинномерного элемента (рис. 1.11) возникают в результате неправильно выбранных направлений сварки (когда швы выполнены в разном направлении).

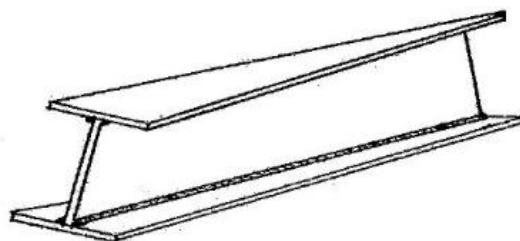


Рис. 1.11. Деформации винтообразности

Местные сварочные деформации

К местной деформации относят:

- деформация листовой конструкции в зонах сварного шва – сердечко (рис.1.12, а) и домик (рис. 1.12, б). Сварные швы в листовых конструкциях сокращаются от сварки, в то время как окружающего холодного металла не имеет усадки.



Рис. 1.12. Деформации в листовых конструкциях:

а – сердечко; б – домик.

- деформация отсека стенки балки и колонны между ребрами жесткости – хлопун (рис. 1.13). Усадки сварного шва происходят по контурам отсеков, в то время как в средних частях стенок усадки нет и металл в этой области выпучивает;

- деформация в зонах швов при сварке трубопровода (корсетность);

- деформация кольцевом шве в зоне приварки патрубка и люка в листовой конструкции;

- угловая деформация при приварке ребра жесткости, косынки, накладки и прочего мелкого элемента, поставленного конструктивно.

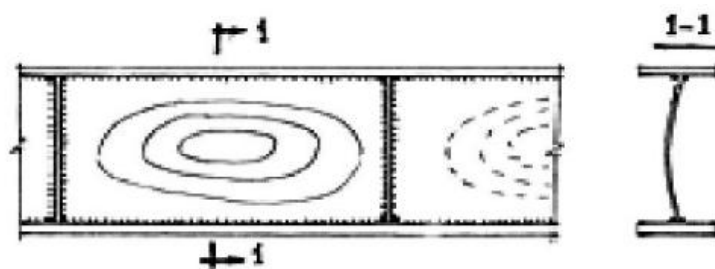


Рис. 1.13. Хлопуны в отсеках стенки

1.11 Сварочные напряжения и деформации.

Основные мероприятия по их уменьшению

Для уменьшения величин и опасных влияний остаточного сварочного напряжения и деформации на работоспособность и точность металлической строительной конструкции следует в процессе проектирования и изготовления конструкции предусмотреть мероприятие по их снижению.

Мероприятие по снижению остаточного сварочного напряжения и деформации разделяется на три группы:

- мероприятие, назначаемое до сварки, на стадиях проектирований конструкции;
- мероприятие, используемое в процессе сварки;
- мероприятие, используемое после сварки.

1.11.1 Мероприятия, проводимые до сварки, на стадии проектирования конструкций

До сварки конструкции, на стадии проектирований, назначаются конструктивно-технологическое мероприятие, которое в процессе сварки и последующих охлаждений снижают величины остаточного сварочного напряжения и деформации. В процессе проведения этого мероприятия:

- необходимо компенсировать ожидаемые величины остаточной сварочной деформации укорочений (усадку) припусков на длины и ширину изделий;
- по возможности снижать катет углового шва и величины усиления в стыковом и угловом шве. Таким образом, уменьшаются тепловложения при сварке и, следовательно, сварочное напряжение и деформация;

- избегать в конструкции больших количеств рядом расположенного сварного шва и его пересечения друг с другом, так как поле сварочного напряжения будет накладываться друг на друга;

- избегать шва замкнутых контуров, так как внутри контуров при сварке образуются выпучивания и суммирования собственного и сварочного напряжения;

- располагать сварной шов и ребро жесткости симметрично относительно центров тяжести элементов во избежание развития деформации серповидностей;

- ограничивать применения накладки и косынки.

1.11.2 Мероприятия, проводимые в процессе сварки

В процессах сварки элемента конструкции следует:

- выполнять шов с меньшими количеством наплавленных металлов;

- применять ту марку электрода и сварочной проволоки, которая создает пластичный металл швов;

- преимущественное применение стыковых швов с глубокими, равномерными проплавлениями. При этом усадки швов будут равномерными и угловые деформации не возникнут;

- по возможности применяются автоматические и полуавтоматические сварки, так как при этом виде сварки величины сварочного напряжения и деформации снижаются;

- использование сборо-сварочных приспособлений и кондукторов, обеспечивающих заданные точности сборки и жесткости конструкций во время сварки. При сварке в кондукторе величины сварочного напряжения и деформации снижаются;

- соблюдение правильной последовательности и направления при выполнении сварного шва. Первым следует выполнить шов, расположенный ближе к центру тяжести конструкций;

- уравнивание деформаций последующего шва деформация от предыдущего. Например, деформация от сварки одностороннего поясного

шва в двутавровой сварной балке с одной стороны стенки компенсируется деформацией от приварки одностороннего ребра жесткости с другой стороны стенкой;

- создание до сварки деформации с обратным знаком. В этом случае в конструкциях до сварки создается выгиб или другое отклонение, обратное по величине ожидаемому сварочному.

1.11.3 Мероприятия, проводимые после сварки

После сварки и последующих остываний сваренной конструкции в случае, когда уровень сварочного напряжения и деформации превысили допустимое СНиП, следует:

- применить холодные правки деформированного после сварки изделия. Холодные правки производятся домкратами. Ударом молотка или кувалды, прессом и т.д. На заводе металлоконструкций используется специальная правильная установка;

- применить горячие правки деформированного после сварки изделия. При горячих правках осуществляются местные нагревы деформированных участков конструкций сварочной горелкой до температур пластического состояния. При остываниях на этом участке возникает деформация, обратная по величине остаточным сварочным;

- устранить остаточное сварочное напряжение и деформацию термических обработок готового изделия. Если позволяет размер и форма, то конструкция подвергается обжигу, нормализации или высокому отпуску.

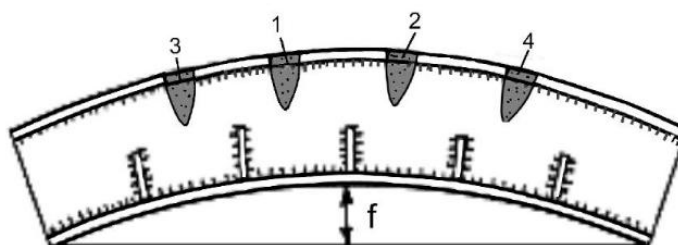


Рис. 1.14. Горячая правка деформированной балки нагревом клиньев
(Цифрами обозначен порядок разогрева клиньев)

1.12 Основные операции технологического процесса при изготовлении строительных металлических конструкций

1.12.1 Общая схема технологических процессов изготовления металлических конструкций

Строительная сварная металлическая конструкция должна изготавливаться в соответствии с требованием ГОСТ 23118-99.

Технологические процессы изготовления сварной строительной металлической конструкции состоит из следующих операций:

1. Подготовки и обработки металла.

Процессы подготовки и обработки металлов включают следующую основную операцию:

- обработка и разметку металла;
- роспуски (разрезка) листа на детали на газорезательных машинах или на гильотинных ножницах;

- правка листа;

- строжка, сверление или пробивка отверстия.

2. Сборку-сварку отдельной детали или узла.

Процессы включают следующую основную операцию:

- сборка элемента;

- сварка элемента;

- определения отклонения размера от проектного и правка элемента конструкции.

3. Окончательную сборку-сварку отправочных марок конструкций.

Процессы включают следующую основную операцию:

- сборка элемента в конструкции;

- сварка шва в конструкции;

- определение отклонения размера от проектного и правка готовых конструкций.

4. Заключительная операция.

- зачистки и грунтовки;

- приемки готовых конструкций;
- складирования.

Изготовлению строительной металлоконструкции выполняются на основе «Карт технологического процесса сварки», которые дополняются инструктивной картой для каждого рабочего места и для каждой операции. Требования к составлению и оформлению карты приведены в ГОСТ 3.1407-86* и ЕСТПП (Единой системе технологической подготовки производства).

Карта для серийных, мелкосерийных или единичных производств отличается глубинами проработки.

Карты технологических процессов изготовлений должны предусматривать:

- правильные последовательности технологической операции;
- уменьшения трудоемкостей каждой производственной операции за счет их комплексных механизаций и автоматизаций, применением усовершенствованных аппаратур, сборочным приспособлениям и кондуктора для сборки и сварки;
- снижению продолжительности производственных циклов изготовлении конструкций;
- снижению отхода металлов и сварочного материала;
- рациональному использованию производственным оборудованием и площадью;
- рациональным использованием электрических энергий.

Перед разработками технологических карт детально изучается чертеж изготавливаемых конструкций, определяются степени ответственности и районы строительства зданий или сооружений, для которых изготавливаются конструкции, и учитывают это.

1.12.2 Порядок подготовки элементов под сварку

Работоспособностью, прочностью, надежностью и долговечностью сварных соединений в большой степени зависит от качественных подготовок элемента под сварку. Некачественные выполнения заготовительной и сбо-

рочной операции приводят к резким возрастаниям вероятностей появления дефекта в сварном соединении и в конструкциях в целом. Анализ дефекта, обнаруженного в сварном соединении, показывает, что значительные части брака появляются из-за плохого качества как подготовки элемента при сборке, так и самой сборки элемента под сварку.

1.12.3 Порядок подготовки элементов до сборки

Перед сваркой до процесса сборки необходимо тщательное очищение поверхности свариваемой детали от загрязнения и неровности, образовавшейся при прокатках, транспортировках и хранениях металла. В месте сварки металл зачищается до металлического блеска от ржавчин, масел, влаги, красок, рыхлых слоев окалин, люда и т.д. Продуктам очистки необходимо удалиться с поверхностей и из зазоров между кромкой соединений, иначе на продукте загрязнений образуется газ, который препятствует сплавлению, образует непровар и поры в сварном шве. Нужно удаление загрязнений со каждой поверхности металла, расположенного даже вне зон сварки, так как во время кантовки и транспортировки загрязнение может попасть в разделки швов. Зачистки уже собранных узлов не могут обеспечить получения качественных сварных соединений из-за того, что не удастся зачищать свариваемую кромку. Это может служить даже причинами образований дефекта в результате попаданий продукта зачистки в зазоры.

1.4 Выводы по главе 1

Основные причины аварии стальной конструкции часто является несовершенство геометрий стержней фермы. Повышение объемов, технологические увеличения воздействия и интенсификаций промышленных производств обычно связаны с ростом нагрузок на элемент и конструкцию, что, как следствие, обуславливают необходимость увеличений несущих способностей за счет усиления конструкций. Усиления следует осуществлять при действиях эксплуатационной нагрузки, что сводит простой технологическим оборудованием к минимуму. Распространенный метод усиления является увеличением сечений элемента конструкций присоединение к ним дополнительного

элемента на сварке. На сегодняшний день наиболее неисследованный является вопрос об усилении сжатых стержней ферм, у которых имеются начальные общие деформации.

В связи с этим цель данной работы является получения начальных информации о влияниях схемы и нагрузок усилений на работу сжатого стержня из парного уголка с общими деформациями полки, усиливаемой с применением сварки.

Для достижения целей были поставлены следующие задачи экспериментальных и теоретических характеров:

1. Испытания эталонного стержня (без деформаций).
2. Испытания деформированного стержня без усиления.
3. Испытания деформированного стержня с усилением под нагрузкой.
4. Теоретические обоснования полученных при эксперименте результа-

тов.

2 Экспериментальное исследование сжатых деформированных стержней, усиливаемых с применением сварки

2.1 Методика проведения испытаний

Цель исследований – получение информации о влиянии схемы усиления на работу сжатых стержней из парных уголков, имеющих общий выгиб в плоскости фасонки и усиливаемых с применением сварки.

Для достижения поставленной цели было выполнено следующее: проведены испытания эталонных стержней (без деформаций), деформированных стержней без усиления, деформированных стержней с усилением под нагрузкой.

Для проведения эксперимента были изготовлены 9 стержневых моделей таврового сечения из спаренных уголков $\angle 45 \times 4$, длина стержней составляет 1000 мм. Уголки соединены полосовыми прокладками в двух сечениях. В опорах имитация шарнирной опоры.

Все стержни были поделены на 3 серии.

Стержни 1-й серии – стержни эталонные: выполненные без начальных деформаций (рис. 2.1). Стержни 2-й серии – деформированные стержни с выгибом $f=25$ мм в плоскости фасонки (рис. 2.3).

Стержни 1-й и 2-й серий (по 3 модели в каждой серии) испытывались без усиления. Стержни 3-й серии (3 деформированные модели) усиливались под нагрузкой.

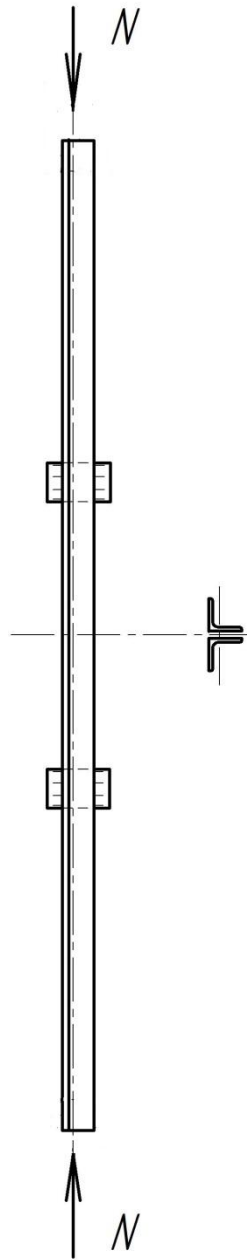


Рис. 2.1. Стержень 1-й серии



Рис. 2.2. Эталонный стержень до испытаний

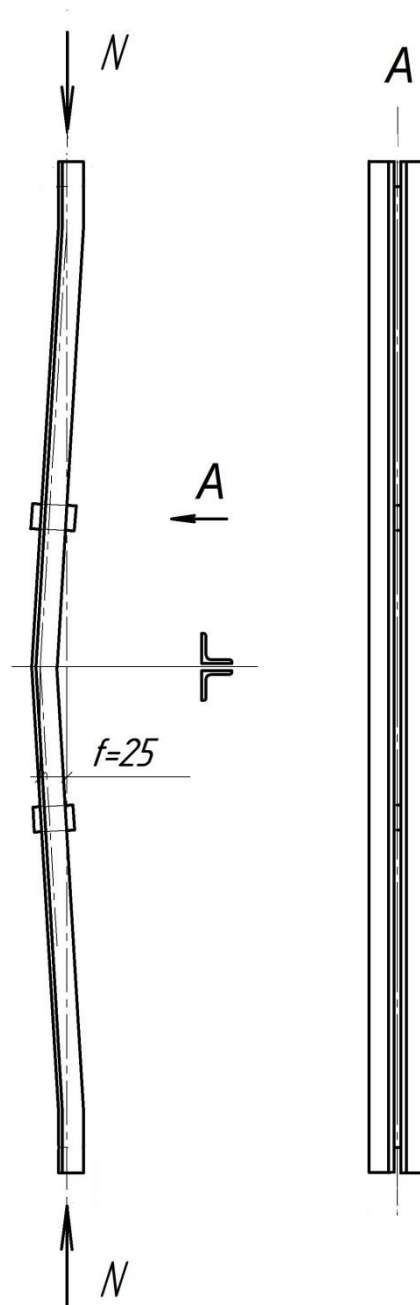


Рис. 2.3. Стержень 2-й серии



Рис. 2.4. Деформированный стержень до испытаний

Испытание стержней 1-й и 2-й серий проходило в следующем порядке: стержень устанавливался между опорами пресса П-250, осуществлялось цен-

трирование с помощью отвеса, после чего производилось нагружение ступенями по 250 кг до потери устойчивости. Потеря устойчивости определялась по моменту появления изгибных деформаций. По шкале прессы определялась критическая нагрузка.

Стержни 3-й серии усиливались под нагрузкой. Усиление производилось двумя уголками того же калибра, как и в основном стержне (рис. 2.5). Элементы усиления со стрелкой выгиба $f = 25$ мм. Стрелка выгиба получена следующим образом: в середине стержня разрезалась одна из полок, стержень сгибался до появления требуемого выгиба и закреплялся в тисках, после чего разрез заваривался.

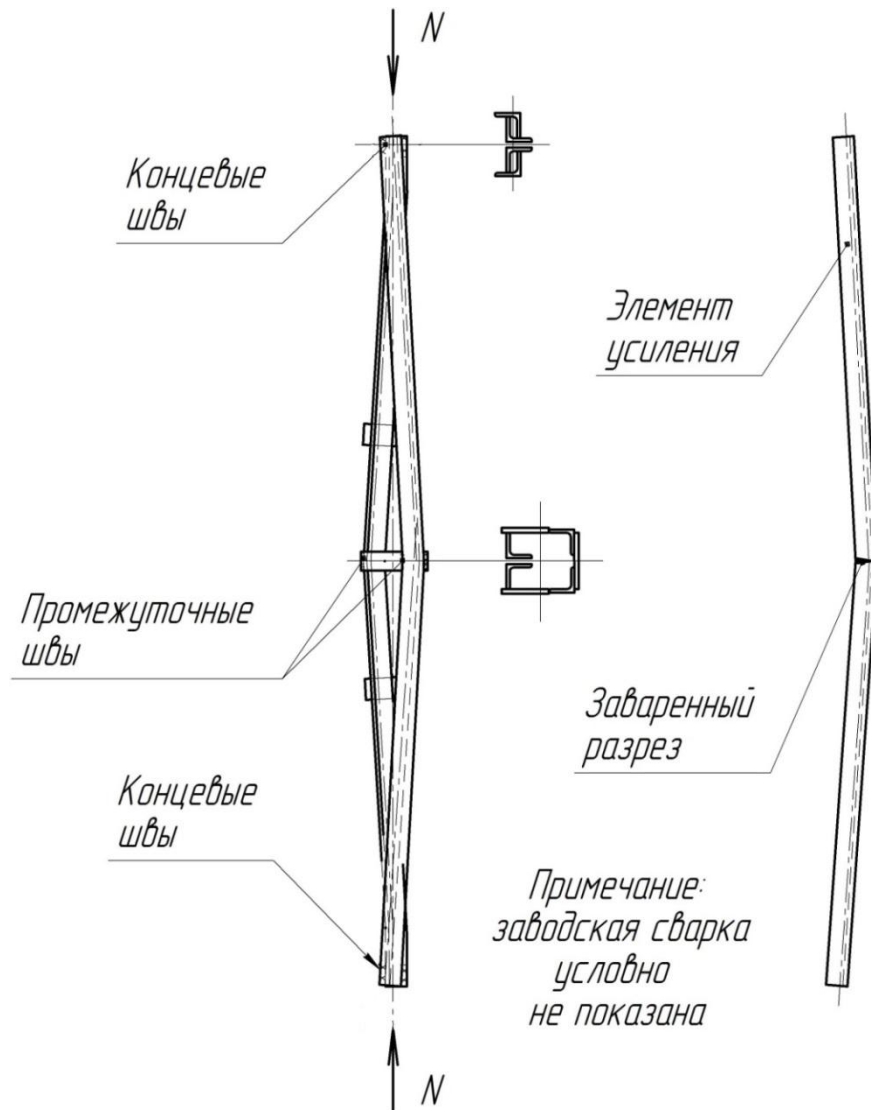


Рис. 2.5. Схема усиления стержня 3-й серии

Таким образом, после прикрепления элементов усиления по схеме (рис. 2.5), ось усиленного стержня принимает форму прямой линии. Достижимый эффект: увеличивается площадь сечения и исключается эксцентриситет приложения нагрузки. Наплавка соединительных швов первоначально по концам в пределах опорных пластин с последующим нанесением промежуточных валиков. Для обеспечения совместной работы усиливаемого стержня с уголками усиления в среднем сечении применялись соединительные планки. Все швы длиной $l_{\omega} = 30-40$ мм, катетом $k = 3-4$ мм. Сварка вручную электродами типа Э42.

В ходе испытаний стержней 2-й серии было выявлено, что стрелка выгиба для модели данной величины выбрана неудачно – стержни теряли устойчивость при сравнительно небольших нагрузках. Было принято решение заменить деформированные стержни аналогичными с меньшей стрелкой выгиба $f = 20$ мм для дальнейшего проведения эксперимента.

За нагрузку при усилении принята величина, близкая к минимальной критической нагрузке, экспериментально полученной при испытании стержней 2-й серии – 5000 кг.

После усиления стержни нагружались ступенями по 200 кг до потери устойчивости.

2.2 Результаты испытаний сжатых стержней

Испытания стержня 1-й серии проводились в следующем порядке: стержни устанавливались между опор пресса (П–250), осуществлялись центрирования с помощью отвесов, после чего производилась нагружения ступеней по 250 кг до потерь устойчивости. Потери устойчивости определялось по моментам появления изгибной деформации. По шкале прессов определены критические нагрузки.

По результатам испытаний получены следующие данные:

– максимальная критическая нагрузка при испытании стержней 1-й серии – 15000 кг (разброс в пределах – 7%);

Виды испытанных образцов 1-й серии до и после испытания представлены в приложении А.

Порядок испытания стержней 2-й серии, с общей деформацией стержня, аналогичен с испытаниями эталонных стержней. Виды стержней до нагружения и потерявших устойчивость представлены в приложении Б.

По результатам испытаний получены следующие данные:

– максимальная критическая нагрузка при испытании стержней 2-й серии – 8300 кг (разброс в пределах – 4%).

Стержни второй серии теряли устойчивость в плоскости наименьшей жесткости, а именно, в плоскости выгиба стержня (изгибная форма потери устойчивости).

Выгнутый стержень фактически выпадает из работы, приходя к состоянию внецентренного сжатия. Отсюда при выборе схемы усиления необходимо было выпрямить ось стержня.

Испытание усиливаемых уголком стержней под нагрузкой проводилось в следующем порядке:

- стержни устанавливались между опорами прессы;
- наносились метки для определения мест приварки элементов усиления;
- нагрузка доводилась до 5000кг и поддерживалась гидравликой;
- уголок усиления приставлялся к меткам и прихватывался;
- накладывались сварные швы;
- приваривались соединительные планки в среднем сечении стержня;
- после остывания образца до 60-80°C нагрузка доводилась до потери устойчивости образца.

Максимальная критическая нагрузка усиленных стержней – 25000 кг. Критическая нагрузка усиленного стержня оказалась больше критической нагрузки неусиленного деформированного стержня (25000 кг > 8300 кг) и больше критической нагрузки эталонного стержня (25000 кг > 15000 кг), что указывает на достаточность усиления.

Виды деформированных стержней, усиленных парными уголками представлены в приложении В.

Потеря несущей способности образцов 3-й серии происходила в результате потери ими общей устойчивости, при испытаниях не было зафиксировано случаев среза сварных швов. Потеря устойчивости элемента имела четкую выраженную изгибную форму. Результаты испытаний всех стержней представлены в таблице 1.

Таблица 1.

№ серии	Вид начальных деформаций стержней	Кол-во стержней в серии	Наличие усиления	Максимальная критическая сила стержня, кг	
				эксперим.	теорет.
1	Без деформаций	3	нет	12000	11300
2	Общий погиб с $f=25$ мм	3	нет	3400	2959
3		3	Усиление парными уголками	25250	27170

2.3 Техника безопасности. Основные положения при выполнении работ по усилению стальных ферм покрытий

Работы, связанные с усилением стальных ферм покрытий промышленных зданий – это ответственные сборочно-сварочные работы сравнительно небольшого объема, особенностями которых является выполнение их в условиях действующего производства и, как правило, на значительной (более 5 м) высоте, что дает основание причислять их к разряду верхолазных. К таким

работам могут быть допущены только лица достигшие возраста 18 лет, годные по медицинским показателям, прошедшие обучение и инструктаж в установленном порядке, имеющие стаж верхолазных работ не менее 1 года и тарифный разряд не ниже третьего.

Выполнение работ по усилению должно производиться в точном соответствии с проектом их производства (ППР), разработанным, согласованным и утвержденным в установленном порядке соответствующими инстанциями.

2.3.1 Раздел техники безопасности ППР

Обязательным разделом ППР на усиление стальных ферм покрытия является раздел техники безопасности. В нем должны быть отражены все основные мероприятия (решения) по безопасной организации труда:

- Конкретные решения по ограждению опасных для прохода людей зон, устройству проходов к рабочим местам, санитарно-бытовому обслуживанию работающих, безопасному складированию, размещению строительных элементов, освещению рабочих мест, проходов, мероприятия по пожарной безопасности;

- типы механизмов и способы их размещения с учетом принятой технологии монтажа элементов;

- способы строповки элементов, обеспечение их подъема, четкой установки в проектное положение и закрепление;

- способы снижения объемов работ на высоте и предупреждения падения работающих с высоты;

- мероприятия по предупреждению опасного воздействия электрического тока на работающих.

Кроме этих мероприятий общего характера, традиционных для монтажных работ, в ППР на усиление ферм должны быть разработаны меры безопасности с учетом конкретных условий действующего в реконструируемом здании производства:

- ограждение опасных зон действующего производства: вблизи действующего оборудования. Движущегося транспорта, коммуникаций энергетических сетей, взрыво- и пожароопасных мест;

- предупреждение или уменьшение степени воздействия на работающих вредных производственных факторов действующего производства: шума, вибраций, различных излучений, электрического тока, химических и биологических веществ;

- обеспечение проходов для людей и проездов транспорта и грузоподъемных средств по территории действующего предприятия;

- порядок использования энергоресурсов действующего предприятия;

- правильное использование в процессе работы конструкций зданий и сооружений, а также оборудования действующего предприятия для закрепления такелажной оснастки или установки средств подмащивания либо других устройств;

- меры безопасности работающих при совмещении монтажных работ и работ действующего предприятия.

Кроме этого в ППР должны быть даны указания на оформление акта-допуска на территорию действующего предприятия и наряда-допуска на производство работ в действующих цехах.

Особое внимание следует уделять мероприятиям по обеспечению безопасности огневых (электросварочных) работ, работ с возможным искрообразованием электрического и механического происхождения во взрыво- и пожароопасных цехах.

2.3.2 Обеспечение безопасности при работе на высоте

Как уже отмечалось, серьезной особенностью производства работ по усилению является их верхолазный характер. В этой связи особенно ответственным моментом становится обеспечение безопасного высокопроизводительного труда на высоте, что может быть достигнуто применением средств защиты как индивидуальных, так и коллективных.

Индивидуальные средства защиты. В качестве них при усилении ферм целесообразно применять предохранительные пояса (ПП) и предохранительные верхолазные устройства (ПВУ).

Предохранительные пояса наиболее оптимальны безлямочной конструкции типа «Г» по ТУ 36.23.25-004-87; они более технологичны в изготовлении и позволяют работающим легко перемещаться по усиливаемым конструкциям, выполнять операции, связанные с огнем (сваркой).

Рекомендуются следующие способы закрепления поясом при усилении:

- карабином за страховочный канат;
- то же, за страховочное устройство в конструкциях;
- стропом пояса к смонтированной конструкции с закреплением карабина за строп;
- то же, с закреплением карабина за свободное боковое кольцо;
- то же, за боковое кольцо или за петлю стропа в месте его крепления к поясу.

Для обеспечения безопасности работающих при подъеме и спуске по вертикальной и наклонной (более 75° к горизонту) плоскостям следует применять ловители с вертикальными страховочными канатами (СК) и предохранительные верхолазные устройства (ПВУ).

Средства коллективной защиты применяют для обеспечения безопасного и высококвалифицированного труда работающих на высоте в процессе подхода к рабочим местам, приемки, выверки, проектного закрепления конструктивных элементов. К ним относятся различные приспособления и устройства, которыми пользуются, как правило, одновременно для или более работающих, а иногда самостоятельно один работающий.

При усилении стальных ферм применяют в основном следующие средства коллективной защиты: средства подмащивания, лестницы, страховочные канаты, защитные синтетические сетки.

К средствам подмащивания относятся подмости, вышки, площадки. При усилении ферм могут применяться подмости выдвижные самоходные ПВС-12.01 (высота до 12 м), подъемник телескопический гидравлический ПТГ-12 (высота до 1 м), вышка телескопическая катушечная ВТК-9 (высота до 9 м), подъемники автомобильные гидравлические АГП-18, АГП-22, и АГП-28 (высота соответственно до 18, 22 и 28 м), площадка алюминиевая БА-1.

Лестницы. Для перехода с одного рабочего места на другое и выполнения сборочно-сварочных работ при усилении ферм могут применяться алюминиевые лестницы навесного типа длиной 2,5 и 4,0 м. Из отдельных таких лестниц можно составить гирлянду: три навесных лестницы, максимум, в одной гирлянде. Для удобства выполнения работ навесные лестницы могут применяться в комплекте с алюминиевыми площадками БА-1.

Страховочные стальные канаты применяются для защиты работающих при падении в процессе перехода по нижним поясам ферм. Они располагаются в горизонтальном направлении с прикреплением к стойкам или раскосам ферм или к колоннам на высоте не выше 1,5 м от нижних поясов ферм. К страховочным канатам карабинами пристегиваются предохранительные пояса.

Защитные синтетические сетки предназначаются для предупреждения падения работающих с высоты, а также для улавливания различных предметов типа электродов и их огарков, струбцин, элементов усиления. В качестве защитных сеток могут применяться обычные капроновые или лавсановые рыбацкие сетки с прикреплением их к специальным устройствам.

Для предупреждений несчастного случая в процессах эксплуатаций средства коллективная защита наряду с указанием ППР и заводские инструкции необходимо соблюдать следующие основные меры безопасности:

- средство коллективной защиты изготавливаются по технической документации, разработанная и утвержденной в установленном порядке; запрещается использование средств коллективной защиты, изготовляемых кустарно, без рабочих чертежей на монтажном участке;

- перед началом эксплуатации средств коллективная защита испытывается статической нагрузкой, превышающей нормативную на 20%, а подъемные подмости кроме того и динамическую нагрузку³., превышающей нормативную на 10%; по результатам испытаний составляется акт, который хранится до истечения срока пригодности средств коллективной защиты к эксплуатации;

- в процессе эксплуатации при отсутствии особых условий средства коллективной защиты, изготовленные из дерева (несущие элементы), испытываются через каждые 6 месяцев, а изготовленные из металла – 12 месяцев; испытания проводят при их нахождении в положениях, аналогичных эксплуатационным;

- средства коллективной защиты, устанавливаемые механизированным способом, до расстроповки надежно прикрепляют к конструкциям согласно ППР.

Особые меры безопасности должны соблюдаться при эксплуатации страховочных канатов, удобство и безопасность эксплуатации которых определяется следующими параметрами: соотношением между предварительным натяжением каната и его провисанием в середине, высотой установки от плоскости опирания ступней ног работающего и свободной длиной пролета. Эти параметры необходимо строго контролировать, выдерживая их в пределах допускаемых нормативных величин.

2.3.3 Техника безопасности при производстве сварочных работ

Сварочные работы ведутся на всех этапах усиления. Процесс сварки сопровождается выделением пыли, газов, брызг расплавленного металла, световым ультрафиолетовым и тепловым излучениями. При выполнении электросварочных работ существует опасность поражения электрическим током вследствие неисправности сварочного оборудования к сети, неисправности электропроводки. Неправильного ведения сварочных работ Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям электросварки и сварочной аппаратуры.

Во избежание поражения электрическим током необходимо выполнять следующие требования. Корпуса источников питания дуги, сварочного вспомогательного оборудования и свариваемые конструкции (усиливаемые фермы) должны быть надежно заземлены. Все сварочные провода должны иметь исправную изоляцию и соответствовать применяемому току. Все электросварочное оборудование должно быть оснащено устройствами автоматического отключения напряжения холостого хода до безопасного значения.

При поражении электрическим током пострадавшему необходимо оказать помощь: освободить от электропроводов, обеспечить доступ свежего воздуха и, если пострадавший без сознания, вызвать скорую медицинскую помощь; при необходимости до прибытия врача производить искусственное дыхание.

Для предотвращения ожогов кожи шеи, поражения глаз от ультрафиолетового излучения, инфракрасных лучей, брызг расплавленного металла электросварщики и их помощники должны применять шлемы, щитки, маски, наблюдая за процессом сварки только через светофильтр. Для защиты рук, тела, ног они должны пользоваться брезентовыми рукавицами и костюмами, кожаной обувью.

При выполнении работ по усилению электросварщики должны иметь и применять все необходимые средства индивидуальной защиты и приспособления по обеспечению безопасного производства работ на высоте. К ним относятся предохранительные пояса, лестницы, люльки, площадки, вышки, подмости, страховочные канаты.

При работе на высоте электросварщик должен подниматься и спускаться только в установленных местах, по приставным, навесным лестницам или другими средствами, указанным в ППР; работать на высоте следует только закрепившись предохранительным поясом за надежные элементы конструкций, специальные скобы или страховочный канат в местах, указанными мастером или прорабом.

Электросварщики, работающие на высоте, должны быть снабжены пеналами или сумками для электродов и ящиками для огарков. Перед началом электросварочных работ необходимо проверить исправность изоляции проводов и электрододержателей, а также плотность соединения всех контактов. При прокладке проводов и при каждом их перемещении следует принимать меры против повреждения изоляции, а также соприкосновения со стальными канатами, шлангами ацетиленового аппарата, газопламенной аппаратурой и трубопроводами с водой и маслом.

2.4 Выводы по главе 2

1. Общие деформации сжатых тавровых стержней из парных уголков значительно снижают их несущую способность.
2. При усилении сжатых стержней с общими деформациями следует стремиться к компенсации величины эксцентриситета.
3. При усилении возможно подобрать вариант значительно увеличивающий несущую способность стержня.

3 Анализ и теоретические обоснования полученных экспериментальных результатов

3.1 О практике определения сварочных напряжений, деформаций и тепловых ослаблений в металлоконструкциях

О наличии сварочных напряжений и деформаций стало известно одновременно с изобретением самого процесса электрической сварки. В частности, на необходимость учета сварочных напряжений в процессе изготовления изделий указал изобретатель электрической дуговой сварки металлическим электродом Н.Г.Славянов. Он отмечал, что причиной появления сварочных напряжений является неравномерный нагрев изделия в процессе наплавки швов.

Однако ограниченное применение сварки в тот период не ставило более сложных вопросов в этой области. Разработка теоретических основ сварочного производства и в том числе теории сварочных деформаций и напряжений в основном ведется, начиная с 30-х годов прошлого столетия – начала промышленного внедрения сварки в различные отрасли техники.

В СССР работы в этом направлении осуществлялись под руководством Г.А.Николаева, Н.О.Окерблома, К.О.Патона и др. Сварочные деформации и напряжения исследовались, как теоретически, так и экспериментально, И.А.Байковой, В.А.Винокуровым, К.М.Готовским, А.Г.Григорьянцем, О.И.Гуща, А.А.Крохиным, В.С.Игнатъевой, А.А.Казимировым, С.А.Кузьминым, С.А.Куркиным, В.И.Махненко, Г.И.Лесковым, В.Ф.Лукьяновым, Н.Н.Прохоровым, Н.Никол.Прохоровым, И.А.Трочуном, В.В.Фроловым и некоторыми другими авторами. Из зарубежных исследований в этой области наиболее известными являются работы В.Андреса, Л.Бидла, В.Кампю, Х.Куна, Х.Г.Кунца, Р.Мюллера, В.Спрагагена, Л.Толла, М.Р.Хорна, А.Хьюбера, И.Фукса.

Предпосылкой для систематизированных теоретических исследований сварочных напряжений и деформаций явилась разработанная

Н.Н.Рыкалиным теория распространения тепла при сварке. Найденные закономерности распределения температуры дали возможность раскрыть механизм возникновения сварочных деформаций и напряжений, разработать методы их теоретического определения.

Существующие методы теоретического определения сварочных напряжений и деформаций можно подразделить на две группы:

- определение остаточных напряжений по внутреннему усадочному усилию в сварных швах;
- определение напряжений по деформациям волокон свариваемых деталей.

Сущность метода расчета напряжений по внутреннему усилию в сварных швах, получившего название метода «фиктивных сил», заключается в следующем: действие активных внутренних усилий в сварных швах представляется в виде сосредоточенных сил, приложенных к изделию в местах усадки при сварке заменяется расчетом деформаций от действия на призматическое тело сосредоточенной нагрузки.

Из исследований, посвященных разработке методик расчета остаточных сварочных напряжений по внутреннему (усадочному) усилию в сварных швах, можно отметить работы Г.А.Николаева и Н.Н.Рыкалина, В.П.Вологодина, И.П.Трочуна и В.Андерса. Метод «фиктивных сил» достаточно точен лишь в случае определения сварных деформаций при одноосном напряженном состоянии, что ограничивает его применение.

Методики расчета сварочных напряжений по деформациям волокон более многочисленны. В качестве основных можно выделить методики советских исследователей Н.О.Окерблома, Г.А.Николаева, Г.Б.Талыпова, И.П.Байковой, В.С.Игнатъевой и ряда зарубежных авторов: Л.Толла, А.Хьюбера, Л.Бидла.

В основу методики расчета сварочных напряжений Н.О.Окерблома была положена теория распространения тепла при сварке, разработанная Н.Н.Рыкалиным. Схема расчета состояла в определении кривизны сварных

соединений по действительным деформациям волокон с учетом постепенного накопления пластических деформаций в процессе нагрева и остывания металла при сварке.

Данная методика расчета требовала подробного рассмотрения последовательных объемных и силовых изменений протекало, протекающих в металле в процессе его нагрева и остывания, что приводило к необходимости громоздких вычислений даже при расчете сварочных напряжений и деформаций в простейших случаях. Усовершенствование предложенной методики, нашедшее отражение в работах самого автора и некоторых его учеников, привело к созданию инженерной методики расчета, позволяющий приближенно определять остаточные деформации в сварных соединениях без трудоемких промежуточных вычислений.

Основная задача образования продольных сварочных напряжений подробно рассматривалась в работах Г.А.Николаева. В них, в частности, отмечалось, что для многих случаев нет необходимости проследивать весь процесс накопления деформаций, достаточно рассмотреть один характерный момент времени (одно характерное сечение) в процессе остывания изделия и определить для него пластическую составляющую внутренних деформаций и затем остаточные напряжения и деформации.

В качестве такого, расчетного, сечения Г.А.Николаев в изделиях из стали принимал сечение, проходящее через наиболее широкую часть изотермы 600°C , в момент времени, когда эта изотерма имеет наибольшую ширину. Рассматривая это сечение, автор отмечал, что так как волокна связаны между собой, их свободное деформирование затруднено, что приводит к возникновению внутренних деформаций, в общем случае упруго-пластических. Считаю в области упруго-пластических деформаций напряжения равными пределу текучести, Г.А.Николаев из условия равновесия эпюры получал распределение пряденный по сечению соединения.

В работе Г.Б.Тальпова расчетным моментом времени считался момент, соответствующий наибольшему распространению изотермы T_k . В качестве T_k

принималась температура, при которой материал теряет способность сопротивляться деформациям. В основу методики было положено предположение о том, что внутри изотермы T_k образуются пластические деформации укорочения, величина которых будет равна $\alpha_T(T_k - T_0)$,

где

α_T – коэффициент линейного температурного расширения,

T_0 – начальная температура изделия.

Г.Б.Талыповым принималось, что при остывании до температуры T_k изделие свободно от напряжений. Они возникают лишь в результате остывания от T_k до T_0 той его части, которая находится внутри изотермы, T_k и получила при нагреве активную пластическую деформацию $\alpha_T(T_k - T_0)$. Задачу определения сварочных напряжений автор представляет, как температурную задачу деформируемой среды, где закон распределения активных пластических деформаций, появляющихся в результате нагрева ограниченной зоны при сварке, определяется законом распределения температуры при охлаждении той же зоны.

Метод расчета сварочных напряжений В.С.Игнатъевой, получивший название метода «фиктивных температур», основывается на предположениях о возможностях рассматривать задачи определений остаточные напряжения, как температурные задачи теорий упругости и пластичностей от фиктивных источников тепла. Для этого пластическим деформациям, развившимся в результате неравномерных нагревов, и деформаций при изменениях объемов металла в процессах фазовых превращений, аппроксимируются свободными температурными деформациями от фиктивными источниками и стоков тепла. Задачи определений остаточными деформациями решается приемами, известные из теориях упругости и пластичности.

В общих случаях метод «фиктивных температур» разработаны для плоского напряженных состояний. Решение выполняется «шаг за шагом» при последовательных прослеживании развитии пластическим и фазовым деформация. Одноосных напряженных состояний является частными случаями,

при котором существенно упрощаются математические выкладки. В этом частном случае решение становится близкого к «общей теории сварочных напряжений и деформаций», однако сохраняют некоторые свои особенности.

В работах Г.А.Николаева указываются, что для многих случаев, встречающихся в практике, для определения сварочных напряжений достаточно рассмотреть один характерный момент, найти для него пластическую составляющую внутренних деформаций и затем определить остаточные деформации и напряжения.

По исследованиям МИСИ при расчетах сварочных напряжений методом «фиктивных температур» таким моментом времени можно считать момент времени t_p , соответствующий остыванию металла на оси шва до температуры T_p , температуры, при которой материал становится способным сопротивляться развитию деформаций почти в такой же степени, как при температуре 20°C . Для низкоуглеродистой стали такой температурой можно считать 600°C . Момент времени t_p и температура T_p называются расчетным моментом времени и расчетной температурой.

Приведенные выше методы и методики расчета деформаций и напряжений от сварки были первоначально разработаны для простейших случаев направления сварного шва на полосу. В дальнейшем были решены и более сложные задачи: в частности, для случаев сварки стержней составного сечения – тавра, двутавра, швеллера и т.п. Задачи определения сварочных напряжений для таких элементов решались в предположении, что они перед сваркой собраны на прихватке, в достаточных степени сопротивляются сдвиговой деформации, так что в процессе сварки элемент, их составляющим, будут деформироваться совместно.

Ряд исследований были посвящены напряженному состоянию сварных конструкций, совершенствованию методик определения остаточных сварочных напряжений, деформация. Среди них можно выделить работы А.С.Куркина, исследовавших статическую прочность сварного соединения с угловыми швов, и работы Б.П.Азимова и В.В.Шипа, исследовавших дефор-

мации сварных блочных конструкция соответственно от продольная и поперечная швов. Из последних работы следует отмечать исследование А.А.Зарезина, посвященное разработку методики определения сварочные напряжений на основе метода пенетрации в сочетании с электронной спекл-интерферометрией, и В.М.Самсонова, посвященное определению напряженно-деформированного состояния и прочности сварных соединений с продольными угловыми швами для расчета на усталость.

Кроме разработки методов и методик определения сварочных напряжений и деформаций значительное внимание в сварочной науке уделено исследованию температурных процессов при сварке, разработке методов и методик расчета температурных полей. В этом направлении известны работы Н.Н.Рыкалина, Н.О.Окерблома, И.И.Байковой, Г.А.Николаева, В.А.Винокурова, С.А.Куркина, Н.Н.Прохорова, Н.Никол.Прохорова, В.С.Игнатъевой и ряда других ученых. Из последних работ можно отметить исследования А.П.Аммосова, В.Е.Николаева и С.П.Аммосова, И.Н.Прохорова и В.М.Полунина, А.Н.Серенко, В.А.Шаферовского и Н.Н.Пивторак.

Развитие производства все больше требует концентрации сварочной науки на проблемах технологического характера. Этим проблемам уделяется серьезное внимание на кафедре сварочных технологий МГТУ, где под руководством академика И.А.Алешина ведутся разработки критериев соответствия при производственной аттестации сварочных технологий. В этом же направлении можно отметить, в частности, исследования В.А.Ерофеева, посвященные решению задач оптимизации технологий на основе компьютерного моделирования сварочных процессов, исследования В.В.Кривина в области автоматизации контроля и аттестации сварочного производства, исследования Л.Бауэра, посвященные вопросам одновременной разработки конструкций и технологий сварки.

Проблема технологического характера посвящены работы С.А.Куркина, Ю.Г.Лодмиркого, А.С.Рыбакова, Б.В.Яблонского, Б.Ф.Якушина, М.Ю.Виниченко.

Большое внимание уделяется учеными сварщиками и проблемам обеспечения качества сварных соединений: можно отметить, в частности, работы А.К.Тиньгаева, Р.Г.Губайдуллина, Е.К.Елсункова по совершенствованию нормативных требований к качеству сварных соединений конструкций.

Вопросам создания экспертных систем в сварке посвящены работы В.И.Махненко, Ю.А.Скоснягина, И.Г.Лавринца, Г.Ю.Сарыкина, Лукаса, Стратта, Норриша и некоторых других авторов.

Как было отмечено, в исследованиях, посвященных проблемам усиления, вопросам сварки уделялось довольно незначительное внимание. Исследованию сварочных напряжений и деформаций для случаев усиления растянутых стержней ферм был посвящена лишь работа Р.Кизингера, который в результате предложил методику определения остаточных сварочных напряжений и деформаций, появляющихся при усилении растянутых элементов. Во всех остальных работах в области усиления в лучшем случае использовались известные методики определения напряжений и деформаций от сварки, без учета особенностей начального напряженного состояния усиливаемых стержней. Как показал вышеприведенный анализ, не было проведено ни одного исследования, позволившего бы раскрыть полную картину напряженно-деформированного состояния, развивающегося в стержневых элементах ферм, находящихся под нагрузкой, в процессе наплавки швов при их усилении методом увеличения сечения. Ни в одной работе комплексно, проблемно не исследовалось влияние факторов технологии сварки на напряженное состояние усиливаемых и усиленных стержней уголкового ферм покрытий зданий и сооружений.

Таким образом, учитывая приведенный в данной главе обзор работ можно сделать вывод о том, что вопросам усиления стержней стальных уголкового ферм покрытия уделялось немалое внимание. Известные в этой обла-

сти исследования дают определенное представление о работе усиленных сжатых и растянутых элементов. В частности. Доказана совместность деформаций основных и усиливающих стержней при дальнейшем после усиления увеличении нагрузки, исследовано влияние величины нагрузки усиления на несущую способность усиленных стержней, решены задач устойчивости и прочности усиленных элементов, разработан ряд методик, позволяющих с достаточной для инженерной практики точностью определять несущую способность усиленных стержней.

В ряде работ уделено некоторое внимание вопросам влияния сварочных напряжений деформаций. В основном рассматривалось воздействие остаточных сварочных напряжений и деформаций на работ уже усиленных стержней. Следует, однако, отметить, что во всех известных исследованиях подход к решению принимался несколько односторонний: сварочные деформации рассматривались, как отрицательное явление. В частности, для случаев усиления сжатых стержней они учитывались лишь как фактор увеличения эксцентриситетов приложения нагрузки. Таким образом, полностью игнорировалась возможность регулирования величин и направления деформаций (прогибов) усиливаемых стержней технологическими приемами.

Вопросам влияния сварки на несущую способность стержней в процессе их усиления уделено значительно меньшее внимание. В частности, практически не исследовались вопросы влияния технологических параметров сварки (погонного тепловложения, длины сварных швов, их расположения, порядка наплавки) на работу усиливаемых сжатых элементов. Отсутствуют исследования тепловых ослаблений сечений при сварке, сварочных прогибов, их влияния на напряженно-деформированное состояние сжатых стержней. Подвергаемых усилению Ни в одном из известных источников нет обоснования предельно допустимых при усилении стержней нагрузок в зависимости от параметров сварочного процесса, конструктивных и прочностных особенностей свариваемых элементов. В известной технической литературе отсут-

ствуют технологии сварки, рациональные для сжатых элементов позиции их работы в процессе и после усиления.

Обзор работ, выполненных в области усиления, показал также отсутствие экспериментальных исследований напряженного состояния сжатых стержней, усиливаемых в составе конструкций, а также исследований влияния производимого усиления на работу остальных элементов ферм.

Отсюда основной целевой направленностью данной работы являлось исследование недостаточно изученных вопросов влияния технологических параметров сварки на напряженно-деформированное состояние сжатых, усиливаемых методом увеличения сечения стержней стальных уголковых ферм покрытий. В этой связи были решены следующие задачи:

1. Разработаны методики расчетов, позволяющие определять тепловые ослабления, временные и остаточные сварочные напряжения и деформации, развивающиеся при усилении методом увеличения сечений сжатых стержней стальных стропильных уголковых ферм.

2. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена концепция регулирования при усилении тепловых ослаблений и сварочных прогибов сжатых стержней стальных уголковых ферм покрытий.

3. Разработаны критерии возможности безопасного усиления методом увеличения сечения сжатых стержней стальных стропильных уголковых ферм при заданных уровнях нагрузки.

4. Разработаны рациональные технологии сварки для случаев усиления методом увеличения сечения сжатых стержней стальных стропильных уголковых ферм.

На основании полученных автором результатов разработаны рекомендации по технологии проведения сварки для случаев усиления методом увеличения сечений сжатых стержней стальных уголковых ферм покрытий.

3.2 Технологические параметры сварки и тепловое ослабление сечений усиливаемых сжатых стержней

Наплавка сварных швов а сжатые стержни в процессе их усиления приводит к появлению не только напряжений и деформаций от сварки, но и к тепловому ослаблению сечений усиливаемых элементов вследствие разогрева их на участках наложения сварных швов. Этот второй момент, т.е. тепловое ослабление, также необходимо было исследовать с целью разработки рациональных сварочных технологий усиления и методик определения предельно допускаемых при усилении величин нагрузок.

При решении задач была сделана дополнительные предположения, вносящие упрощения и обеспечивающие достаточная для инженерных практик точность:

- 1) учитывая сравнительно небольшие толщины свариваемого элемента (до 25...30 мм), их расчетная схема принята в виде плоского слоя;
- 2) источники теплоты при линейной, как для случая дуговой однопроходной сварки листов встык.

Задачи определения теплового ослабления вполне целесообразно рассматривать на простейших примерах наплавку шва на сжатые полосовые элементы, учитывая то, что уголкового стержня фермы фактически представляют собой полосовую пластину, жестко соединенные друг с другом в единое целое.

В процессах перемещений сварочных дуг будут иметь место разогревы полосы и в продольных, и в поперечных направлениях. Согласно температурам каждой точки в данном случае можно определить с достаточной для инженерных расчетов точностью по схеме подвижного линейного источника постоянной погонной мощности $q_{\text{п}}$, как

$$T(y, t) = \frac{q_{\text{п}}}{\delta \cdot 4\pi\lambda c\sqrt{t}} \cdot e^{-\frac{y^2}{4at}}$$

где

δ – толщина полосы;

a – коэффициенты теплоотдачи;

c – удельные массовые теплоемкости;

γ – объемные плотности материалов;

λ – коэффициенты теплопроводности.

Величины погонных тепловых мощностей сварки $q_{п}$ могут быть определены, как

$$q_{п} = \frac{0,24\eta UI}{V}$$

где

η – эффективный КПД процесса нагрева (при сварке металлическими электродами $\eta=0,7-0,85$);

U – падение напряжения на дуге;

I – сварочный ток;

V – скорость сварки.

Таким образом, в конкретный момент времени t разогрев элемента будет определяться соответствующим распределением изотерм.

Величина теплового ослабления полосы может быть определена площадью сечения, которая выключится в процессе сварки из работы, т.е. потеряет способность сопротивляться развитию деформаций. Температура, при которой материал становится неспособным к сопротивлению, называется расчетной. Для низкоуглеродистой стали такой расчетной температурой считается $T_p=600^\circ\text{C}$.

Исходя из вышеизложенного, величина площади ослабления сечения будет определяться, как:

$$A=2Y_{\max}\delta$$

где $2Y_{\max}$ – искомая максимальная ширина развития «пятна» ослабления, т.е. площади, ограниченной изотермой $T=600^\circ\text{C}$.

Примем в выражении $T(y,t)=600^{\circ}\text{C}$, $t=x/V$, подставим численные значения $c = 0,16$ кал/ч $\cdot^{\circ}\text{C}$, $\gamma = 7,87$ г/см 3 , $\lambda = 0,107$ кал/см \cdot сек $\cdot^{\circ}\text{C}$, $a = 0,0845$ см 2 /сек и из полученного уравнения найдем y :

$$y = \pm \frac{\sqrt{x \ln q_{\text{п}}/774\delta \cdot x/V}}{\pi V}$$

Продифференцируем функцию по x , приравняем полученное выражение нулю, т.е. $dy/dx = 0$, и определим x , при котором Y имеет экстремальное значение:

$$X_{y\text{max}} = \frac{q_{\text{п}}^2 V}{774^2 \delta^2 e}$$

Подставив, получим выражение для определения Y_{max} , т.е. максимальной ординаты «пятна» ослабления. Заключенного внутри изотермы 600°C :

$$Y_{\text{max}} = \pm \frac{q_{\text{п}}}{3200\delta}$$

Как видно из выражения, величина Y_{max} зависит от погонной энергии сварки и толщины элемента, что позволяет сделать вывод о принципиальной возможности регулирования «пятна» ослабления путем варьирования технологическими параметрами сварочного процесса.

В случае усиления, при наплавке связующих сварных швов, тепловая энергия дуги распределяется на основной (усиливаемый) и дополнительный (усиливающий) элементы. При сварке угловых сварных соединений части погонной энергии, вводимой в свариваемые элементы, могут быть определены в зависимости от соотношения толщин. В частности, в случае таврового соединения погонные энергии, вводимые в основной и усиливающий элементы могут быть вычислены по формулам:

$$q_{\text{п}}^0 = q_{\text{п}} \frac{2\delta_0}{2\delta_0 + \delta_y}$$

$$q_{\text{п}}^y = q_{\text{п}} \frac{\delta_y}{2\delta_0 + \delta_y}$$

где $q_{\text{п}}$ – полная погонная энергия сварки;

δ_0, δ_y – толщина соответственно полос или полок уголков основного стержня и элемента усиления.

Приведенные формулы справедливы и для низколегированных, и для низкоуглеродистых сталей и дают достаточно точные результаты при соотношении толщин $\delta_0/\delta_y \leq 1,7$. Учитывая, максимальные ординаты «пятен» теплового ослабления сваркой основного и усиливающего элементов могут быть определены, как:

$$Y_{max}^0 = \pm \frac{q_p^0}{3200\delta_0}$$
$$Y_{max}^y = \pm \frac{q_p^y}{3200\delta_y}$$

Полученные выражения дают возможность проанализировать различные сварочные технологии усиления с позиции их влияния на работу усиливаемых сжатых стержней при заданных уровнях нагрузки.

Влияние сварки проанализируем на конкретном примере усиления сжатого уголкового раскоса таврового сечения уголковыми элементами. Дополнительные элементы присоединяются к основному стержню (после сборки на прихватках) путем наплавки швов по концам стержня в пределах фасонки и в промежуточном сечении. Размеры концевых и промежуточных швов определены из условия обеспечения совместности работы основного и усиливающих элементов после усиления.

Рассматривая вопрос о порядке наплавки швов, можно заметить, что возможны две принципиально разные технологические схемы присоединения элементов усиления к основным (усиливаемым) стержням:

- первая – с наплавкой первоначально швов поз.3 (промежуточных швов), а затем поз.1 и 2 по концам усиливаемого стержня;
- вторая, наоборот, - с первоначальной наплавкой концевых швов поз.1 и 2 в пределах фасонки с последующим наложением промежуточных швов поз.3. Рассмотрим влияние каждой технологии на напряженно состояние усиливаемого стержня.

При усилении по первой технологической схеме первоначальная наплавка швов поз.3 приводит к появлению теплового ослабления основного стержня («пятно» внутри изотермы $T=600^{\circ}\text{C}$) и, таким образом, уменьшению его несущей способности. Элемент усиления еще не работает. Он лишь забирает часть тепловой энергии. Отсюда условие обеспечения несущей способности усиливаемого стержня в процессе усиления в данном случае будет определяться по сечению и иметь вид:

$$\varphi_{min}^y A_0 - A_0^{cb} \sigma_T^0 \geq N$$

где N – усилие в стержне

σ_T^0 - предел текучести материала основного стержня;

A_0 – площадь сечения основного стержня;

A_0^{cb} – площадь теплового ослабления сваркой сечения основного стержня;

φ_{min}^y – минимальный коэффициент продольного изгиба основного стержня в момент усиления.

Учитывая разогрев стержня, коэффициент φ_{min}^y в общем случае следует определять с учетом начальных эксцентриситетов, тепловой потери части сечения и смещения его центра тяжести.

Моменты последующих наплавки концевых швов рассматривать в данном случае нецелесообразно, так как очевидно, что это более выгодные сечения с позиции несущей способности усиливаемого стержня: они включают в себя и фасонки.

При усилении по второй технологической схеме в процессе первоначальной наплавки концевых швов поз.1 и 2 в пределах фасонки имеют место ослабления сечений основного стержня, но они могут быть компенсированы сечениями фасонки. При последующей наплавке промежуточных швов основной и усиливающие элементы получают тепловые ослабления, но работают совместно, учитывая закрепление концов рабочими швами и наличие прихваток в местах будущих швов поз.3.

В этой связи несущую способность усиливаемого стержня необходимо в данном случае рассматривать по трем сечениям.

Рассмотрим теперь неравенства с позиции определения нагрузки, предельно допустимой при усилении. Для этого произведем преобразования, введя в неравенства выражения несущей способности основного стержня до усиления:

- по сечениям 1-1 и 2-2 по прочности;
- по сечению 3-3 по устойчивости.

Выражение очевидно меньше единицы. Менше единицы и отношение. Таким образом, рассматривая неравенство можно сделать вывод, что усиление сжатого стержня в случае первоначальной наплавки швов между фасонками возможно лишь при усилии в нем, находящемся в пределах предельной доли несущей способности.

Коэффициент зависит от величины погонного тепловложения, конструктивных, геометрических и прочностных особенностей усиливаемых и усиливающих элементов. Он может быть больше нуля и равен ему, но всегда меньше единицы.

Выражения определяют критерии безопасного усиления сжатых стержней по 2-й технологической схеме, т.е. с соединением сначала концов основного и усиливающих стержней (швы в пределах фасонки) с последующим нанесением остальных промежуточных швов.

Как показывают неравенства, с позиции обеспечения прочности по сечениям 1-1, 2-2 возможно проведение усиления при усилении в стержне, равном его несущей способности. Для этого необходимо выполнение условий.

То есть, ослабление сваркой основного стержня при наплавке концевых швов должно быть компенсировано по прочности сечениями фасонки.

Неравенство определяет условие устойчивости усиливаемого стержня при наплавке промежуточного шва. В случае равенства усилия несущей способности стержня, неравенство примет вид.

Коэффициент K , хотя и больше коэффициента K_1 . Таким образом, как показывает неравенство в позиции устойчивости также возможно усиление сжатого стержня при усилии в нем, равном несущей способности. Для того необходима компенсация по устойчивости потерь несущей способности усиленного стержня сечениями элементов усиления.

В результате:

Получены зависимости, дающие возможность определять сварочные прогибы и тепловые ослабления, появляющиеся при усилении сжатых стержней ферм; зависимости учитывают, с одной стороны, технологические особенности процесса усиления (сварки), такие как параметры режима сварки, длины швов, их расположение, а с другой стороны, особенности усиливаемых и усиливающих элементов: их конструктивные, геометрические и прочностные характеристики, напряжения от нагрузки.

Полученные результаты показывают, что сварочный прогиб усиливаемого стержня уменьшается с уменьшением размеров швов. Отсюда, учитывая желательность появления как можно меньших сварочных деформаций в процессе усиления сжатых элементов, рациональным является максимальное уменьшение размеров швов, связующих основные и усиливающие элементы (в пределах обеспечения совместности их работы после усиления). С позиции прочности швов достаточно наплавка их в нескольких сечениях: в двух по концам стержней (концевых) и в нескольких по длине (промежуточных).

Результаты исследования показывают, что прогибы от сварки связаны обратной зависимостью с изгибной жесткостью усиливаемых стержней. В связи с этим, учитывая целесообразность уменьшения прогибов стержней при усилении и как можно более быстрого включения дополнительных элементов в совместную работу с основными, наиболее рациональной будет технология сварки с первоначально наплавкой швов по концам стержней в пределах фасонки. Такая технология рациональна и с позиции компенсации теплового ослабления сваркой сечений основных стержней.

Полученные зависимости сварочных прогибов и тепловых ослаблений сечений от технологических параметров сварки создают предпосылки для практического регулирования технологическими приемами напряженного состояния сжатых усиливаемых стержней.

Направление остаточных прогибов от сварки сжатых, усиливаемых стержней зависит от положения швов в сечениях: наложение швов с одних сторон относительно центров тяжести сечений приводит к появлению остаточных прогибов противоположных направления.

Возможность регулирования сварочных прогибов и степени теплового ослабления сечений может позволить улучшить работу сжатых элементов как в процессе их усиления, так и уже усиленных.

В процессе усиления улучшение работы сжатых стержней может быть достигнуто путем применения сварочных технологий с наплавкой швов такой величины и в такой последовательности, которые позволят уравновесить деформации от наложения одного шва деформациями от наплавки другого:

а) в случаях расположения 4-х промежуточных, связующих швов попарно с двух сторон от главных осей сечений уравнивание сварочных прогибов при усилении сложно достичь путем применения перекрестного порядка наплавки этих швов относительно центров тяжести сечений;

б) в случаях расположения промежуточных связующих швов с одной стороны от оси сечения уравнивание сварочных прогибов в процессе усиления принципиально может быть достигнуто с помощью дополнительных, регулировочных швов, наплавляемых с противоположной относительно оси сечения стороны: перекрестным порядком наложения их (относительно центра тяжести сечения) с промежуточными, связующими швами.

Улучшение работы усиленных стержней может быть достигнуто путем применения сварочных технологий, позволяющих создание остаточных прогибов от сварки, приводящих центры тяжести средних по длине сечений усиленных элементов к линиям действия продольных усилий.

Усиление сжатых стержней теоретически возможно при полной расчетной нагрузке в случае выполнения положений данных выводов и компенсации ослаблений основных стержней сечениями фасонки по прочности и сечениями дополнительных элементов, не ослабленными сваркой, по устойчивости.

В случае невыполнения требований п.3 данных выводов усиление сжатых стержней возможно лишь при усилиях в них, находящихся в пределах определенной доли несущей способности.

3.1 Расчет несущей способности эталонного сжатого стержня

Потеря устойчивости эталонных стержней происходила в плоскости параллельной плоскости соединительных прокладок.

Это соответствует работе сжатого стержня из двух равнополочных уголков реальной фермы.

Характер опор – имитация шарнирных опор. В связи с этим принята расчетная схема с шарнирными опорами (рис. 3.1).

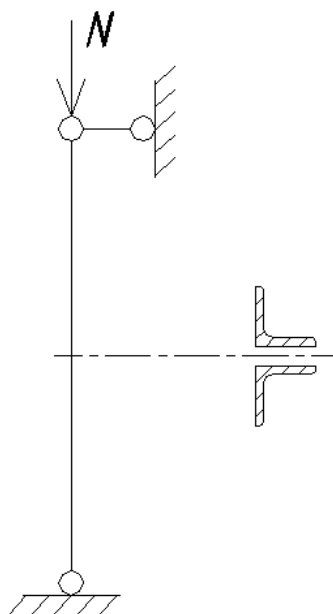


Рис. 3.1. Расчетная схема эталонного стержня

Геометрические характеристики сечения из двух уголков 2L40x4, скомпонованных в тавр:

- площадь сечения $A = 2 \cdot 3,08 = 6,16 \text{ см}^2$;
- радиус инерции $i_x = 1,22 \text{ см}$;
- радиус инерции $i_y = 1,8 \text{ см}$;
- геометрическая длина стержня $l_0 = 100 \text{ см}$;
- предел текучести принят равным: $\sigma_m = 24,5 \text{ кН/см}^2$. Сталь класса

C245.

При расчете несущей способности получены следующие результаты:

- гибкость в плоскости перпендикулярной оси «х»:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{0,5 \cdot l_0}{i_x} = \frac{0,5 \cdot 100}{1,22} = 40,98;$$

- гибкость в плоскости перпендикулярной оси «у»:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{100}{1,8} = 55,6;$$

- приведенная гибкость определяется как:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_{\max} \sqrt{\frac{\sigma_m}{E}} = 55,6 \sqrt{\frac{24,5}{2,1 \cdot 10^4}} = 2,77$$

- коэффициент продольного изгиба для данного вида сечения определяется по таб.74 [25]: $\varphi = 0,767$

Несущая способность стержня определяется как:

$$[N] = \varphi \cdot A \cdot \sigma_m = 0,767 \cdot 6,16 \cdot 2450 = 11300 \text{ кг},$$

Несущая способность стержня, полученная теоретически, меньше величины полученной экспериментальным путем ($N = 12000 \text{ кг}$). Разброс в пределах 7%, что допустимо для постановочного эксперимента.

3.2 Расчет несущей способности деформированного сжатого стержня

Деформированный стержень представляет собой стержень с общим выгибом $f = 25 \text{ мм}$ обоих уголков (рис. 2.3).

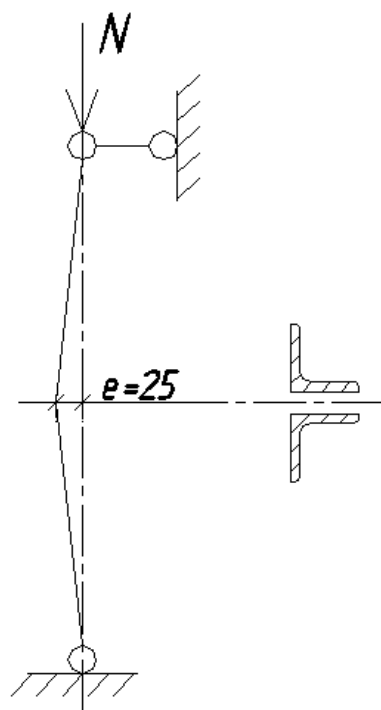


Рис. 3.2. Расчетная схема деформированного стержня

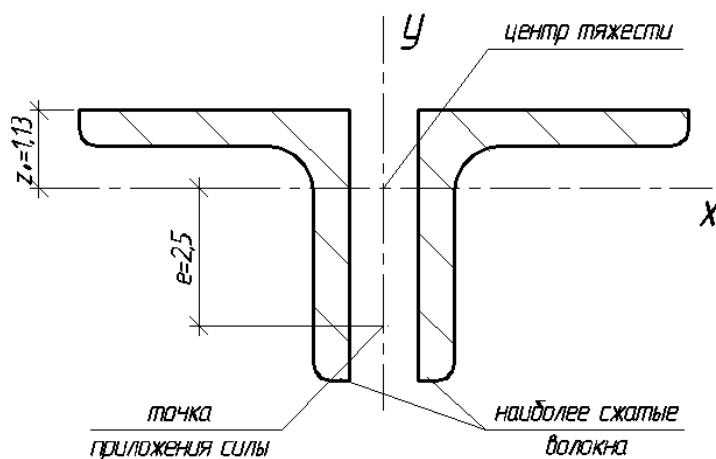


Рис. 3.3. Сечение деформированного стержня

Момент сопротивления наиболее сжатого волокна сечения относительно оси «х» определяется как:

$$W_{\text{ч}} = \frac{I_x}{y_c} = \frac{2 \cdot 4,58}{2,87} = 3,19 \text{ см}^3.$$

Относительный эксцентриситет

$$m_{\text{ef}} = \frac{e \cdot A}{W_x} = \frac{2,5 \cdot 2 \cdot 3,08}{3,19} = 4,82,$$

где η – коэффициент влияния формы сечения, определяемый по табл. 73 [25].

Коэффициент φ_e определяем по табл. 74 [25] как функцию условной гибкости $\bar{\lambda}$ и относительного эксцентриситета m_{ef} .

Для данного случая принимаем тип сечения девять и для отношения $A_f / A_w \geq 1.0$ определяем коэффициент η как:

$$\eta = (1.5 - 0.1 \cdot m) - 0.02 \cdot (5 - m) \bar{\lambda} = (1.5 - 0.1 \cdot 4.82) - 0.02 \cdot (5 - 4.82) \cdot 2.77 = 1.008$$

Тогда относительный эксцентриситет будет равен:

$$m_{ef} = \eta \cdot m = 1.008 \cdot 4.82 = 4.86,$$

Определяем коэффициент φ_e по табл. 74 [25] как функцию условной гибкости $\bar{\lambda}$ и относительного эксцентриситета $m_{ef} = 4.86$:

$$\varphi_e = 0.2,$$

Несущая способность деформированного стержня определяется как:

$$N = \varphi_e \cdot A \cdot \sigma_m = 0.2 \cdot 6.16 \cdot 2450 = 2959 \text{ кг}.$$

Как и при расчете эталонного стержня, несущая способность деформированного стержня, полученная теоретически, меньше величины, полученной экспериментально ($N = 3400$ кг).

3.3 Обоснование величины предельно-допустимой нагрузки при усилении с применением сварки стержней с общим выгибом

В процессе сварки наплавка швов приводит к тепловому разогреву металла и появлению усадочной силы. В результате воздействия усадочной силы на свариваемый элемент возникают временные и остаточные деформации. В момент сварки разогрев металла ослабляет сечение. В случае усиления сжатых стержней путем присоединения отдельных уголков основным фактором, влияющим на работу усиливаемого стержня, является тепловое ослаб-

ление сечения, то есть выпадение из работы его части, разогретой выше расчетной температуры, которая для стали принимается равной величине $T_p = 600^{\circ}C$.

Из чего следует, что вопрос определения предельно-допустимой нагрузки при усилении может быть сведен к вопросу определения критической силы усиливаемого стержня с учетом уменьшения его сечения и смещения при этом его центра тяжести, то есть:

$$N = \varphi_e \cdot A_{nt} \cdot \sigma_m,$$

где:

A_{nt} - площадь сечения, определяемая с учетом теплового ослабления;

φ_e - коэффициент, определяемый с учетом смещения центра тяжести сечения;

σ_{δ} - предел текучести стали.

Определение A_{nt} производится следующим образом:

$$A_{nt} = A - A_{св},$$

где:

A - площадь сечения стержня до сварки;

$A_{св}$ - площадь сечения, разогретого свыше $T_p = 600^{\circ}C$.

3.4 Расчет предельно допустимой нагрузки для деформированного стержня, усиливаемого с применением сварки

Определяем требуемые характеристики режима сварки:

- погонная тепловая мощность сварки определяется как:

$$q_n = \frac{0,24 \cdot \eta \cdot U \cdot I}{V} \text{ кал/см},$$

где:

- η – эффективный КПД процесса нагрева (при сварке металлическими электродами $\eta=0,7-0,85$),

- U – напряжение, В;

- I – сила тока, А;

- V – скорость, см/мин.

Учитывая условие $k_f^{max} = 1,2 \cdot t_{min}$, определим допускаемый катет

шва:

- в первом приближении примем силу тока I = 200А, напряжение U = 20 В, скорость V=18 см/мин, тогда

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 0,7 \cdot 20 \cdot 200}{18} = 2240 \text{ кал/см}$$

$$k_f = \frac{2 \cdot q_n}{16000} = \frac{2 \cdot 2240}{1600} = 5,3 \text{ мм}$$

Получаем, что величина катета превысила допускаемое значение

$$k_f = 5,3 \text{ мм} > k_f^{max} = 4,8 \text{ мм.}$$

- примем скорость V=22 см/мин, тогда

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 0,7 \cdot 20 \cdot 200}{22} = 1833 \text{ кал/см}$$

$$k_f = \frac{2 \cdot q_n}{16000} = \frac{2 \cdot 1833}{1600} = 4,8 \text{ мм.}$$

Получаем, что величина катета равна допустимому значению.

При равных толщинах элементов (полка уголка стержня и полка уголка усиления) тепловая энергия распределяется поровну, то есть: $q_n^0 = 1833 \text{ кал/см}$, $q_n^y = 1833 \text{ кал/см}$.

Ширина пятна ослабления основного элемента (рис. 3.4) определяется как:

$$x_{cs}^0 = \frac{q_n^0}{3200 \cdot \delta_0} = \frac{1833}{3200 \cdot 0,4} = 1,4 \text{ см,}$$

Таким образом, сечение стержня в момент сварки равно:

$$A_{шт} = A - A_{св} = 6,16 - 2,0 \cdot 0,4 = 5,36 \text{ см}^2,$$

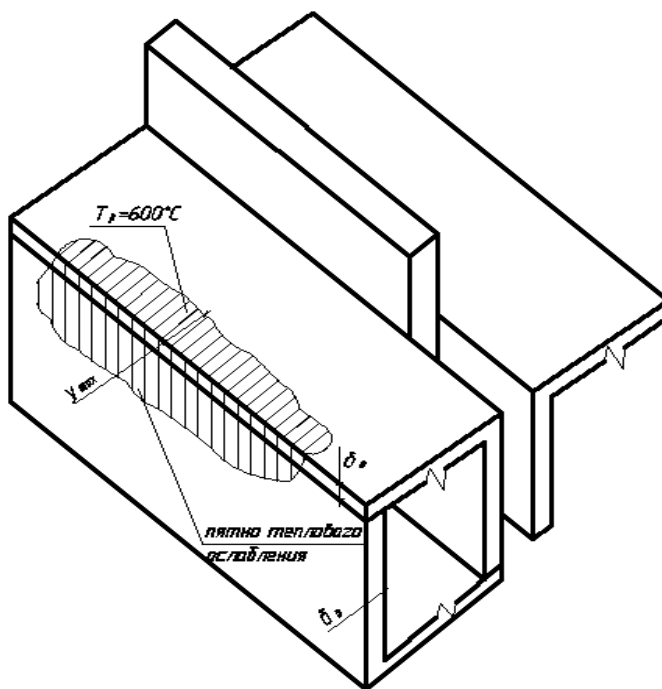


Рис. 3.4. Тепловое ослабление усиленного стержня

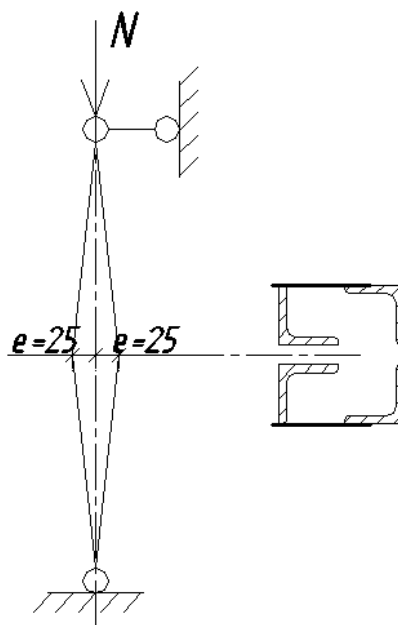


Рис. 3.5. Расчетная схема деформированного стержня, усиленного с применением сварки

При расчете несущей способности получены следующие результаты:

- момент инерции усиленного сечения относительно оси «х»:

$$J_{x_1} = 2 \cdot J_x + A_i \cdot e^2 = 2 \cdot 4,58 + 3,08 \cdot 2,5^2 = 47,66 \text{ см}^4$$

- радиус инерции усиленного сечения относительно оси «х»:

$$i_{x_1} = \sqrt{\frac{J_{x_1}}{2 \cdot A_i}} = \sqrt{\frac{47,66}{2 \cdot 3,08}} = 2,78 \text{ см}$$

- гибкость в плоскости перпендикулярной оси «х»:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{100}{2,78} = 35,97;$$

- коэффициент продольного изгиба определяется по таб.72 [25]:

$$\varphi_{x_1} = 0,91 .$$

Несущая способность стержня определяется как:

$$N = \varphi_{x_1} \cdot 4 \cdot A_i \cdot R_y = 0,91 \cdot 12,32 \cdot 245 = 27170 \text{ кг}$$

Несущая способность стержня, полученная теоретически, больше величины полученной экспериментальным путем ($N = 25250$ кг). Разброс в пределах 7%, что допустимо для постановочного эксперимента.

3.5 Выводы по главе 3

1. В рамках постановочного эксперимента полученные в результате расчета величины критических сил довольно точно соответствуют величинам, полученным экспериментальным путем:

– экспериментальные и теоретические величины критических сил эталонных стержней составляют соответственно 12000 и 11300 кг;

– экспериментальные и теоретические величины критических сил стержней с начальными деформациями, не подвергавшиеся усилению составляют соответственно 3400 и 2959 кг;

2. Методика определения предельно допускаемой при усилении нагрузки довольно хорошо подтверждается экспериментом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ аварий и дефектов стальных ферм покрытия промышленных зданий;

2. Проведен анализ методов усиления сжатых стальных стержней существующих в настоящее время.

3. Разработана методика проведения усиления сжатых деформированных стержней с применением сварки.

4. Проведены экспериментальные исследования центрально-сжатых стержней из парных уголков с общим выгибом, усиливаемых увеличением сечения с применением сварки.

5. Проведен анализ и теоретическое обоснование результатов полученных экспериментальным путем.

6. Обоснована величина предельно-допустимой нагрузки при усилении стержней с общим выгибом с применением сварки.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований были получены следующие результаты:

1. Общие деформации значительно ухудшают работу сжатых стержней: критические силы стержней с выгибами $f = 25$ мм в два раза меньше критических сил прямых центрально сжатых стержней.

2. При усилении центрально-сжатых стержней с общим выгибом уголков следует стремиться к компенсации потерянного сечения и выпрямлению оси стержня.

3. Предложенный способ усиления показал свою эффективность: критические силы усиленных стержней оказались в два раза больше критических сил эталонных стержней.

4. Результаты эксперимента подтвердили результаты исследований о возможности проведения усиления сжатых стержней при нагрузке, близкой к критической.

5. Теоретически получена основа методики определения предельно допустимой нагрузки при усилении с применением сварки сжатых стержней с общим выгибом.

Список используемой литературы

1. Аугустин Я. Аварии стальных конструкций/Аугустин Я., Шледзевский Е. – М.: Стройиздат, 1978. –135 с.
2. Бельский М.Р. Усиление стальных конструкций/Бельский М.Р., Лебедев А.И. – Киев: “Будівельник”, 1981. –120 с.
3. Беляев, Б.И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения Текст. / Б.И. Беляев, В.С. Корниенко. — М.: Стройиздат, 1968. –206 с.
4. Валь В.Н. Усиление стальных конструкций одноэтажных производственных зданий при их реконструкции/Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. – М.: Стройиздат, 1987. –220 с.
5. Десятов Б.И. Исследование работы усиляемых под нагрузкой элементов сварных стальных ферм. Автореф. дисс. канд. техн. Наук/ Десятов Б.И. – М.: МИСИ, 1968.
6. Дмитриев Ф.Д. Крушение инженерных сооружений/ Дмитриев Ф.Д. – М.: Стройиздат, 1953. –140 с.
7. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление восстановление и ремонт/ Иванов Ю.В. – М.: АСВ, 2012. –312 с.
8. Игнатьева В.С. Метод "фиктивных температур" как основа исследований в области напряженно деформируемого состояния сварных соединений. Металлические конструкции в строительстве. - Труды / Игнатьева В.С. – МИСИ им. Куйбышева, 1979, №152, с. 71-88.
9. Иммерман, А.Г. Расчет усиленных под нагрузкой сжатых элементов сварных стальных ферм Текст / А.Г. Иммерман, Б.И. Десятов // Металлические конструкции. Сб. тр. МИСИ. М.,1970.-№85.-С. 147-151.
10. Колесников, В.М. Исследование работы некоторых стальных конструкций и отдельных элементов, усиленных под нагрузкой Текст. / В. М. Колесников. Автореферат дис. . канд. техн. наук. - Л., 1967. - 24 с.

11. Лашенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений/ Лашенко М.Н. – Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1969. -184с.
12. Горев В.В. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 2. Конструкции зданий: Учеб. для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, Г.И.Белый и др.; Под редакцией В.В. Горева. – 2–е изд., испр. – М.: Высш. Шк., 2002. – 528с.
13. Металлические конструкции. Справочник проектировщика в 3 томах / Под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова) — М.: изд-во АСВ, 1998-99. – 528 с.
14. Мизюмский И.А. Аварии и крушения стальных конструкций и исследование причин разрушения сварных стыков уголков. Кандидатская диссертация/ Мизюмский И.А., —ЛИСИ, 1959.
15. Москалев Н.С. Металлические конструкции. Учебник / Москалев Н.С., Пронозин Я.А. —М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 344 с.
16. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций / Укрнии-проектстальконструкция.-М.: Стройиздат, 1989
17. Ребров И.С. Работа сжатых элементов стальных конструкций, усиленных под нагрузкой/ Ребров И.С. – Л., «Стройиздат», 1976.
18. Ребров, И.С. Усиление стержневых металлических конструкций: Проектирование и расчет Текст. / И.С. Ребров. – Л.: Стройиздат, 1988. — 288 с.
19. Родионов И.К. К вопросу об оптимальной технологии усиления сжатых стержней уголковых ферм покрытия. В межвуз. сб. науч. трудов «Наука, техника и образование Тольятти и Волжского региона», вып. 4, ч.2. Политехнический институт, 2001. С.464–465.
20. Родионов И.К. О некоторых вопросах усиления методом увеличения сечения сжатых стержней стальных уголковых ферм. В межвуз. сб. науч. трудов «Наука, техника и образование Тольятти и Волжского региона», ч.2. Политехнический институт, 2000. С.165–169.

21. Родионов И.К. Сварочные деформации, метод «фиктивных температур» и усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия. Труды междунар. научно-технич. конфер. (Резниковские чтения). Теплофиз. и технолог. аспекты повыш. эффектив. машиностр. производ. ТГУ, Тольятти, 2015, с. 118-123.
22. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм производственных зданий. «Сварочное производство» №4, 2009, с. 25-29.
23. Руководство по усилению элементов металлоконструкций с применением сварки. ЦНИИпроектстальконструкция. М.: 1979, 15 с.
24. Сахновский М.М. Уроки аварий стальных конструкций/ Сахновский М.М., Титов А.М. —Киев: Буд1вельник, 1969, —200 с.
25. СНиП II-23-81 . Стальные конструкции / Госстрой СССР Текст. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1980. - 96 с.
26. Стрелецкий Н.С. Работа сжатых стоек/ Стрелецкий Н.С. — Госстройиздат, 1959.
27. Шкинев А.Н. Аварии в строительстве. - 4-е изд., перераб. и доп./ Шкинев А.Н. - М.: Стройиздат, 1984.
28. Ясинский Ф.С. Избранные работы по устойчивости сжатых стержней/ Ясинский Ф.С. - Л.: Гостехиздат, 1952. - 428 с
29. Ибрагимов А.М. Сварка строительных металлических конструкций: Учебное пособие / Ибрагимов А.М., Парлашкевич В.С. - М. : Издательство АСВ, 2015.
30. Al-Sulaimani, G.J., M. Kaleemullah, I.A. Basunbul and Rasheeduzzafar, 1990. Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members. Struct. J., 87(2): 220-231.
31. Andrade, C., C. Alonso and F.J. Molina, 1993. Cover cracking as a function of rebar corrosion: Part I- experimental test. Mater. Struct., 26: 453-464.
32. Bazant, Z.P., 1979. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures-theory. J. Struct. Div., 105(6): 1137-1153.

33. Bhargava, K., A.K. Ghosh, Y. Mori and S. Ramanujam, 2006. Model for cover cracking due to rebar corrosion in RC structures. *Eng. Struct.*, 28: 1093-1109.
34. Cabrera, J.G. and P. Ghoddoussi, 1992. The effect of reinforcement corrosion on the strength of the steel-concrete bond. *Proceedings of an International Conference on Bond in Concrete*. CEB, Riga, Latvia.