

Г. П. Терентьев, Д. Н. Смирнов, А. Д. Смирнов

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ
ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Учебное пособие

Нижний Новгород
2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Г. П. Терентьев, Д. Н. Смирнов, А. Д. Смирнов

**Основы технологии изготовления металлических конструкций
для большепролетных зданий и сооружений**

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Нижегород
ННГАСУ
2017

ББК 38.54
О 75
УДК 624.014

Печатается в авторской редакции

Рецензенты:

С.В. Кузнецов – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой машиностроительных технологических комплексов ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е. Алексеева»
А.В. Титов – гл. сварщик АО «Кулебакский завод металлических конструкций»

Терентьев Г.П. Основы технологии изготовления металлических конструкций для большепролетных зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие. / Г. П Терентьев, Д.Н. Смирнов, А.Д. Смирнов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 125 с. ISBN 978-5-528-00194-4

Рассмотрена область применения большепролетных зданий и сооружений. Проведен глубокий анализ оборудования, применяемого для изготовления металлоконструкций. Определены поточные линии изготовления балок из листа и прокатного профиля. Рассмотрено влияние вида проката, марок стали на технологический процесс изготовления конструкций. Приведена классификация по типу несущих конструкций: колонны, фермы, покрытия из балок переменного сечения, купола различной формы. Отмечены особенности сварки, контрольных сборок при изготовлении конструкций большепролетных зданий и сооружений.

Предназначено для студентов специальности 271101.65 «Строительство уникальных зданий и сооружений» по учебной дисциплине «Технологии изготовления металлических конструкций и железобетонных конструкций для высотных и большепролетных зданий и сооружений». Может быть полезным также для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство» (профиль ПГС)

ББК 38.54

ISBN 978-5-528-00194-4

© Г.П Терентьев, Д.Н. Смирнов,
А.Д. Смирнов, 2017
© ННГАСУ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА	6
1.1 История большепролетных конструкций	6
1.2 Большепролетные конструкции в современном мире	7
1.3 Перспективы большепролетного строительства	7
2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БОЛЬШЕПРОЕКТНЫХ ЗДАНИЙ	8
3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МК БОЛЬШЕПРОЕКТНЫХ ЗДАНИЙ	9
3.1 Особенности изготовления большепролетных зданий и сооружений ..	9
3.2 Основные технологические линии заводов МК	10
3.3 Оборудование для изготовления сварных балок	10
3.3.1 Стыковка листов и фрезерование усиления шва	10
3.3.2 Ультразвуковой контроль сварных швов	15
3.3.3 Резка листов на полосы	15
3.3.4 Правка полос по плоскости и от серповидности	20
3.3.5 Сборка балок из полос	20
3.3.5.1 Сборка балки вручную	20
3.3.5.2 Механизированная сборка балок	22
3.3.5.3 Сборка балок на сборочно-сварочных линиях	23
3.3.6 Сварка балок	25
3.3.6.1 Полуавтоматическая сварка в среде защитных газов (CO ₂ +Ar) .	25
3.3.6.2 Автоматическая сварка под слоем флюса	25
3.3.7 Правка балки от грибовидности	29
3.3.8 Термоправка и окончательная сдача балок	30
3.4 Оборудование для обработки деталей из прокатных профилей	33
3.5 Оборудование для изготовления листовых деталей МК	40
3.5.1 Газорезательные машины с ЧПУ	40
3.5.2 Машины плазменной резки	41
3.5.3 Сверлильные станки с ЧПУ	42
3.5.4 Комплексные технологические линии	43
3.5.5 Фрезерование деталей	44
4. ВЛИЯНИЕ МАРК СТАЛИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МК	45
4.1 Группа сталей С235, С245, С255	46
4.2 Группа сталей С345, С390, С440, С590	46
4.3 Меры по предупреждению образования микротрещин и разрушения МК	47

5. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА	49
6. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ТИПУ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	52
6.1 Колонны	52
6.1.1 Одноветвевые колонны	52
6.1.2 Решетчатые колонны	58
6.1.3 Пространственные колонны	69
6.2 Фермы	71
6.2.1 Фермы из уголков	72
6.2.2 Фермы из квадратных и прямоугольных труб	78
6.2.3 Фермы из круглых труб	84
6.2.4 Фермы из сварных и прокатных двутавров	87
6.2.5 Арочные и хребтовые фермы	93
6.3 Покрытия из сварного двутавра переменного сечения	99
6.4 Купола	103
7. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ	110
7.1 Сварка швов с полным проваром	110
7.2 Сварка протяженных швов	112
7.3. Сварка сталей повышенной прочности	113
8. ОБРАБОТКА МК ПОСЛЕ СВАРКИ	113
8.1 Правка грузом	114
8.2 Правка с помощью приспособлений	114
8.3 Термическая правка	115
9. КОНТРОЛЬНЫЕ СБОРКИ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	125

ВВЕДЕНИЕ

В строительстве в настоящее время всё большее распространение получают стальные пространственные конструкции большепролетных зданий и сооружений. Их изготовление на специализированных заводах имеет существенные особенности, связанные с выбором профиля проката, использованием оборудования, цеховых площадей, проведением контрольных сборок и др.

В учебном пособии рассмотрены история, перспективы, особенности технологии изготовления конструкций для большепролетных зданий и сооружений. Проанализированы применяемые способы сварки и сборки металлоконструкций, организация их контрольных сборок, современные методы контроля геометрических размеров конструкций после полного цикла изготовления.

Учебное пособие позволит глубже понять и изучить раздел «Технология изготовления металлических конструкций» по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений».

1. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Большепролетные конструкции играют значительную роль в мировой архитектуре. И заложено это ещё в давние времена, когда появилось особое направление архитектурного проектирования. Идея и реализация большепролетных сооружений неразрывно связана с основным стремлением человечества в покорении пространства. Именно поэтому, начиная со 125 года н. э., когда появилось первое известное в истории большепролетное строение - Пантеон Рима (диаметр основания — 43 м), и заканчивая творениями современных архитекторов, большепролетные конструкции пользуются особой популярностью.

1.1 История большепролетных конструкций

Как уже сказано, первым сооружением был Пантеон в Риме. Позднее появились и другие величественные строения с большепролетными купольными элементами. Ярким примером можно считать храм Святой Софии, построенный в Константинополе в 537 году н. э. Диаметр купола - 32 метра. Купол придаёт всему сооружению не только величественность, но и удивительную красоту, которой и по сей день восхищаются и туристы, и архитекторы.

В те и более поздние времена из камня невозможно было построить легкие сооружения. Поэтому купольные строения характеризовались большой массивностью, а их строительство требовало серьёзных временных затрат — до ста и более лет. Позже, для обустройства перекрытий больших пролетов начали использоваться и деревянные конструкции. Здесь ярким примером является достижение отечественной архитектуры — бывший Манеж в Москве был построен в 1812 году и имел в своей конструкции деревянные пролеты длиной 30 м.

XVIII-XIX столетия характеризуются развитием черной металлургии, что дало новые и более прочные материалы для строительства — сталь и чугун. Это ознаменовало появление во второй половине 19-го столетия большепролетных стальных конструкций, получивших большое применение в российской и мировой архитектуре. Следующим строительным материалом, существенно расширившим возможности архитекторов, стали железобетонные конструкции. Благодаря появлению и совершенствованию ЖБК мировая архитектура 20-го столетия пополнилась тонкостенными пространственными конструкциями. Параллельно, во второй половине XX столетия, стали широко использоваться висячие покрытия, стержневые и пневматические системы. Во второй половине XX столетия появилась

и клееная древесина. Развитие этой технологии позволило «вернуть к жизни» деревянные большепролетные конструкции, достичь особых показателей легкости и невесомости, завоевать пространство, не идя при этом на компромисс с прочностью и надежностью.

1.2 Большепролетные конструкции в современном мире

Как показывает история, логика развития большепролетных конструктивных систем была направлена на повышение качества и надежности строительства, а также архитектурной ценности строения. Применение данного типа конструкций позволило в наибольшей мере использовать весь потенциал несущих свойств материала, создать благодаря этому легкие, надежные и экономичные перекрытия. Всё это особо важно для современного архитектора, когда на первый план в современном строительстве выдвинулось снижение массы конструкций и сооружений.

Что же представляют собой большепролетные конструкции? Здесь мнения экспертов расходятся. Единого определения нет. По одной из версий — это любая конструкция с длиной пролета более 36 м. По другой — конструкции с безопорным покрытием длиной более 60 м, хотя они уже относятся к категории уникальных. К последним относятся и строения с длиной пролета больше ста метров. Но в любом случае, независимо от определения, современная архитектура однозначна в том, что большепролетные строения являются сложными объектами. А это означает и высокий уровень ответственности архитектора, необходимость в принятии дополнительных мер безопасности на каждом из этапов: архитектурное проектирование, строительство, эксплуатация.

Важным моментом является выбор строительного материала — дерева, ЖБК или стали. Помимо этих традиционных материалов используются и специальные ткани, тросы и углепластик. Выбор материала зависит от задач, стоящих перед архитектором, и специфики строительства. В пособии мы рассмотрим основные материалы, используемые в современном большепролетном строительстве.

1.3 Перспективы большепролетного строительства

Учитывая историю мировой архитектуры и неизбежное стремление человека к завоеванию пространства и созданию совершенных архитектурных форм, можно смело прогнозировать устойчивый рост внимания к большепролетным конструкциям. Что касается материалов, то помимо современных высокотехнологичных решений, всё большее внимание будет

уделяться КДК, представляющим собой уникальный синтез традиционного материала и современных высоких технологий.

Что касается России, то, учитывая темпы развития экономики и неудовлетворенную потребность в объектах различного назначения, в т. ч. торговой и спортивной инфраструктуры, объёмы строительства большепролетных зданий и сооружений будут постоянно увеличиваться. И здесь всё большую роль будут играть уникальные конструкторские решения, качество материалов и использование инновационных технологий.

Не забудем и об экономической составляющей. Именно она стоит и будет стоять во главе угла, и именно сквозь неё будут рассматриваться эффективность того или иного материала, технологии и конструкторские решения. Поэтому следует вспомнить про клееные деревянные конструкции. Им, по мнению многих экспертов, принадлежит будущее большепролетного строительства.

2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ

Строительство больших пролетов в зданиях началось в промышленности:

на кораблестроительных предприятиях - это сборочные цехи-эллинги, в которых производится общая сборка кораблей, подводных лодок и ледоколов. Такие здания отличаются как большой шириной пролетов (50-80 м), так и большой высотой зданий (40-50 м);

такие же здания сборочных цехов строятся и для авиационных заводов, в которых собираются широкофюзеляжные гражданские и военнотранспортные самолеты;

с ростом изготовления крупных самолетов в местах их постоянной дислокации на аэродромах строятся крупные ангары для стоянки и обслуживания самолётов. Здания строятся под конкретные типы самолётов и практически всегда они имеют большие пролеты;

в металлургической промышленности - это здания, в которых установлены плавильные печи. Здания должны иметь большой запас прочности, так как работа практически всегда производится при повышенной температуре.

С широким использованием в строительстве металлоконструкций всё больше строится гражданских объектов.

Транспортные объекты:

- аэропорты. Они, как правило, строятся в областных городах и крупных промышленных центрах. Каждый город заказывает свой проект аэропорта, который запомнится пассажирам своеобразием архитек-

туры. Аэропорт является визитной карточкой города. Здания имеют сложную архитектурную форму и большие пролеты;

- железнодорожные вокзалы. В крупных городах оборудуются закрытыми перронами, чтобы пассажиры при посадке и выходе из поезда во время дождя чувствовали себя комфортно.

Спортивные объекты:

- футбольные стадионы,
- ледовые арены,
- велосипедные треки,
- дворцы для водных видов спорта, бассейны,
- арены для игровых видов спорта: баскетбол, волейбол, гандбол, мини-футбол и др.

Общественные здания:

- концертные залы,
- театры,
- крупные гостиничные комплексы,
- конгресс-центры,
- выставочные комплексы,
- купола соборов и церквей,
- цирки,
- торговые центры.

Во всех вышеперечисленных объектах возводятся покрытия над большими пролетами. Проектирование и изготовление металлических конструкций для таких зданий имеют свои особенности и повышенные требования, так как в них работают или находятся много людей, и их безопасность является приоритетом при строительстве зданий.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МК БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ

3.1 Особенности изготовления большепролетных зданий и сооружений

Конструкции большепролетных зданий всегда делятся на секции, потому что имеются ограничения по транспортировке конструкций (отправочные марки). Секции, в основном, имеют следующие размеры:

- длина 12-18 м,
- ширина 2,5-4 м,
- высота не более 4 м.

В последствии эти секции на монтаже проходят укрупнительную сборку и затем устанавливаются в проектное положение в собранном виде. Изготов-

ление секций большепролетных зданий производится на специализированных предприятиях, оснащенных современным оборудованием.

При изготовлении деталей секций металлоконструкций используется высокоточное оборудование с ЧПУ. Использование прежних технологий и оборудования (разметка для резки, разметка под сверление отверстий) исключены при изготовлении деталей для большепролетных зданий, потому что собрать 3-7 секций между собой и получить необходимые проектные размеры невозможно.

3.2 Основные технологические линии заводов МК

Современные заводы металлоконструкций, как правило, универсальны. Парк оборудования на таких заводах обеспечивает 3 потока изготовления деталей:

- оборудование для изготовления сварной балки из листа;
- оборудование для изготовления деталей из прокатного профиля (балка, швеллер, уголок, квадратные, прямоугольные, круглые трубы).
- оборудование для изготовления листовых деталей (фасонки, опорные плиты, фланцы и накладки).

3.3 Оборудование для изготовления сварных балок

Изготовление сварных балок производится по следующей технологии:

- стыковка листов, фрезеровка усиления шва;
- ультразвуковой контроль стыковых сварных швов;
- газовая, плазменная или лазерная резка листа на полосы;
- правка полос по плоскости;
- правка полос от серповидности;
- сборка балок;
- сварка продольных швов на балках;
- правка балок от грибовидности;
- окончательная сдача балок для последующей обработки;

На каждой операции используется специализированное оборудование.

3.3.1 Стыковка листов и фрезерование усиления шва

Стыковка листов используется для получения нужного размера листа, из которого затем будут нарезаться полосы определенного размера (длиной 6-18 м) (рис. 3.1.).

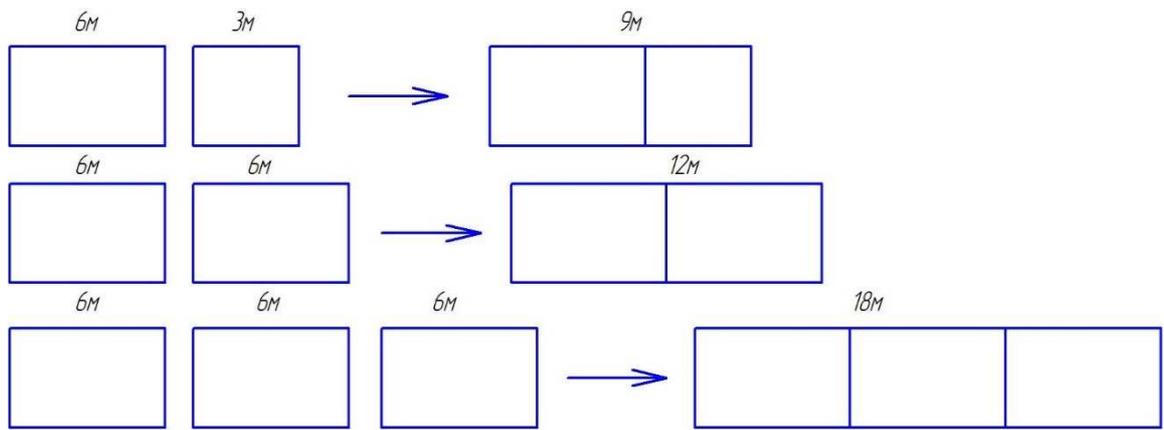


Рис. 3.1 Стыковка и сварка листов

Используется автоматическая сварка под слоем флюса. Сварочные тракторы по направляющей линейке передвигаются непосредственно по листу. На специализированных заводах устанавливают сварочные аппараты на стационарных направляющих, оборудованных рольставнями, прижимной флюсовой подушкой и аппаратом для снятия усиления сварного шва. (рис. 3.2; 3.3.).



Рис. 3.2 Сварочный аппарат на стационарных направляющих



Рис. 3.3 Поточная линия стыковки и сварки листов.

Практически на всех предприятиях установлены такие линии. Сварочные аппараты на таких линиях позволяют стыковать листы толщиной до 30 мм без разделки кромок. Для листов большей толщины обязательно применяется снятие фасок. Сварка производится с одной стороны, затем кантовка и сварка с другой стороны.

На некоторых предприятиях устанавливаются сварочные консоли, которые дают возможность сварки поперечных и продольных швов при стыковке листов (рис. 3.4.).

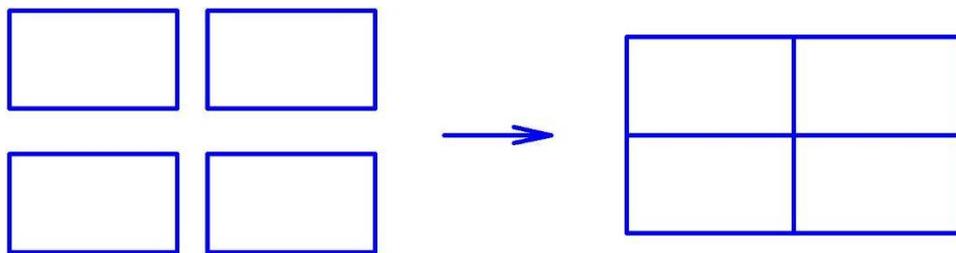


Рис. 3.4. Схема стыковки и сварки поперечных и продольных швов.

Кроме того, применяют и сварочные аппараты, позволяющие выполнять сварные швы для широких вертикальных стенок балок (до 4 м)(рис. 3.5.).



Рис. 3.5 Аппарат для выполнения сварных швов для широких стенок балок

На ряде заводов устанавливают сварочные аппараты с обратным формированием шва. Формирование нижнего шва производится на медной подкладке. Данные аппараты позволяют выполнять сварку в 2 раза быстрее, но имеют ограничения по толщине свариваемых листов (до 16 мм). Эти аппараты эффективны при изготовлении большого количества тонкостенных балок. (рис. 3.6).

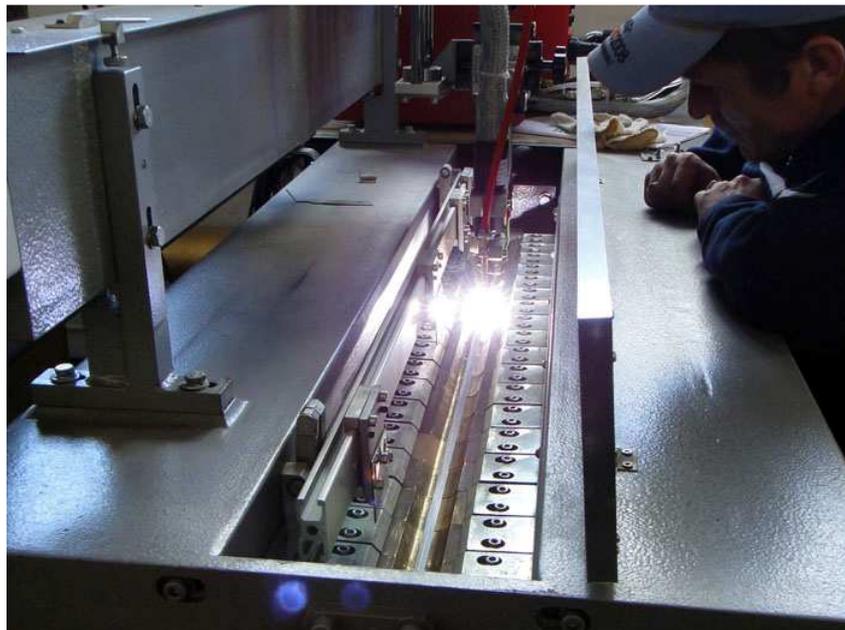


Рис. 3.6 Сварочный аппарат для обратного формирования шва

После выполнения сварки производится снятие усиления швов. Шов над основным металлом не должен выступать больше чем на 2 мм. Для его удаления используются фрезерные тракторы или шлифовочные машины с наждачной лентой. (рис. 3.7; рис. 3.8).



Рис. 3.7 Фрезерные тракторы для снятия усиления швов



Рис. 3.8 Шлифовальная машина для снятия усиления швов.

3.3.2 Ультразвуковой контроль сварных швов.

После выполнения стыковых сварных швов два или несколько листов должны представлять из себя единое целое. Металл в местах сварных швов должен быть равнопрочным с основным металлом листов. Только в этом случае состыкованные листы могут одинаково воспринимать нагрузки в любом месте. Для обеспечения этого условия должно быть полное проплавление кромок листов между собой, т. е. полный провар. Любые несплавления внутри шва, поры, наличие неметаллических включений, опалины приводят к ослаблению прочности шва.

Аппараты ультразвуковой проверки швов позволяют определить наличие дефектов шва, в каком месте располагается дефект, его размеры и на какой глубине он находится. (рис. 3.9).



Рис. 3.9 Ультразвуковой контроль швов

Листы с дефектами сварного шва подлежат исправлению и повторному контролю. На следующую операцию передаются только листы, прошедшие ультразвуковой контроль. 100% состыкованных листов проходят УЗК контроль.

3.3.3 Резка листов на полосы.

Резка листов на полосы производится с использованием нескольких видов оборудования.

Газорезательные машины с ЧПУ. Они, как правило, многорезаковые. Применяются для резки нескольких одинаковых полос одновременно. (рис. 3.10; 3.11.).



Рис. 3.10 Газорезательная машина с ЧПУ.

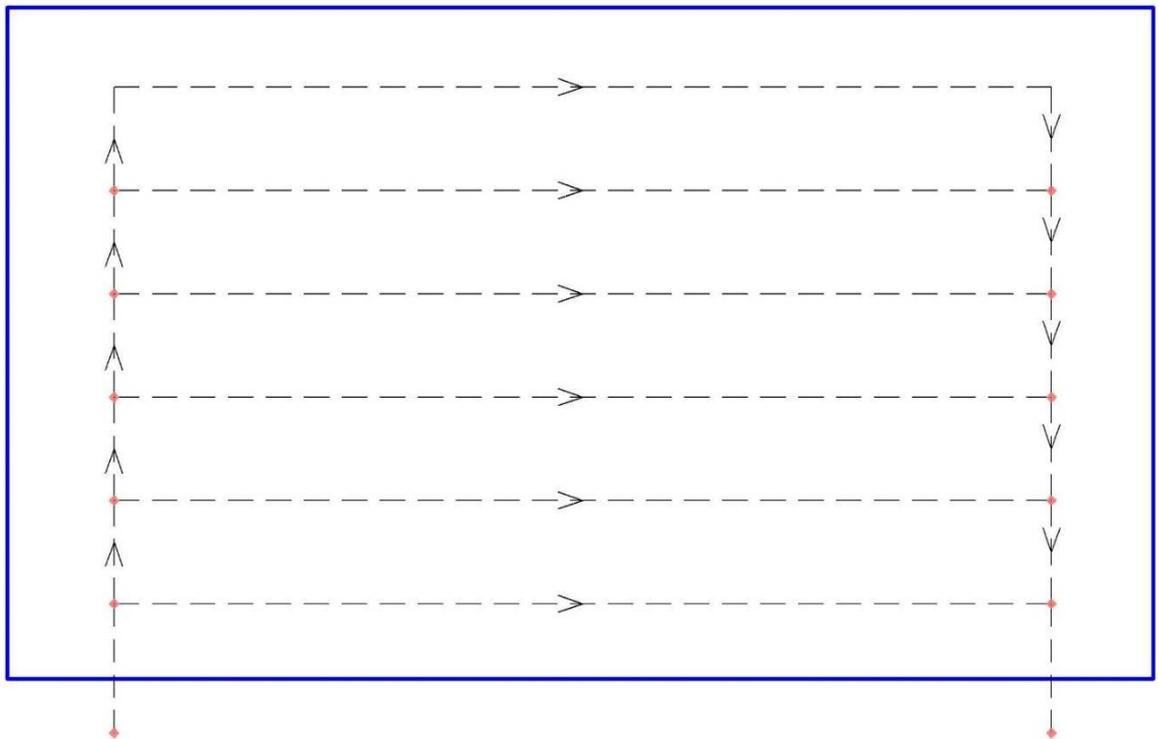


Рис. 3.11 Схема резки листа шестирезаковой машиной.

Каждый из шести резаков, двигаясь, вырезает контур детали. В результате движения шести резаков получается 5 одинаковых деталей. Эти машины получили наибольшее распространение на заводах металлоконструкций. Количество резаков на таких портальных машинах может достигать до 20 шт. Резке подвергаются листы толщиной от 8 до 200 мм. Скорость резки 0,2-0,6 мм в минуту. Для резки используется природный газ (ацетилен или пропан) и кислород. Газовая резка — наиболее дешевый способ резки.



Рис. 3.12 Машины плазменной резки

Машины плазменной резки оснащаются одним или двумя резаками-плазматронами. Образование плазменной дуги производится специальным источником. Скорость резки тонкого листа в 3-7 раз быстрее, чем при газовой резке. С увеличением толщины скорость резки резко уменьшается и на толщинах 30-40 мм сравнивается с газовой резкой. Такой способ эффективен при резке тонкого листа (8-16 мм). Единственная особенность плазменной резки: резак должен проходить замкнутый контур по периметру детали полностью. Плазменную резку целесообразно использовать для вырезки сложных по конфигурации деталей (рис. 3.12.).

Плазменная резка дороже газовой (большие изначальные инвестиции; велики эксплуатационные расходы). Оправдывает себя в массовом производстве за счет высокой скорости резки.

Очень часто заводы приобретают комбинированные машины, например: 6-8 газовых резаков плюс один плазменный резак. Такая машина получает

универсальные качества. Когда нужно резать большое количество листов с разными деталями сложной конфигурации (листы толщиной 8-16 мм) используется плазменный резак. Когда нужно резать много листов с одинаковыми деталями, (листы от 16 мм и толще), то, соответственно, используются газовые резаки.

В настоящее время всё большее распространение приобретает лазерная резка. (рис. 3.13.).



Рис. 3.13 Машина лазерной резки

Машины лазерной резки дают очень большую точность резки. Если при газовой резке ширина реза составляет 3-5 мм, при плазменной - 2-4 мм, то при лазерной резке - 1-1,5 мм. Скорость резки листов толщиной до 20 мм в 2-3 раза больше, чем у плазменной резки. Лазерная резка позволяет выполнить резку отверстий под обычные и высокопрочные болты. Резка отверстий значительно быстрее, чем сверление. Такие машины приобретают заводы, где в заказах преобладает крепление конструкций на высокопрочных болтах.

Практически на всех заводах по изготовлению мостовых конструкций установлены машины лазерной резки. Для мостовых конструкций это неза-

меняемая машина. Резка производится одним резаком по полному периметру детали или отверстий. (рис. 3.14.).

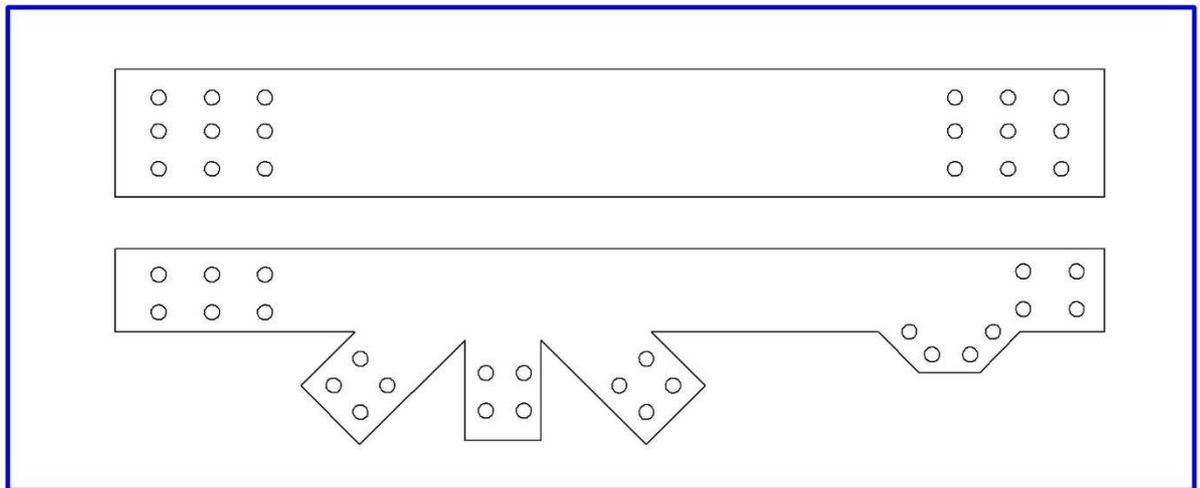


Рис. 3.14 Схема лазерной резки

В последнее время большое распространение приобрели комбинированные машины, оснащенные газовыми, плазменными резаками, а также узлом высокоскоростного сверления. (рис. 3.15.).

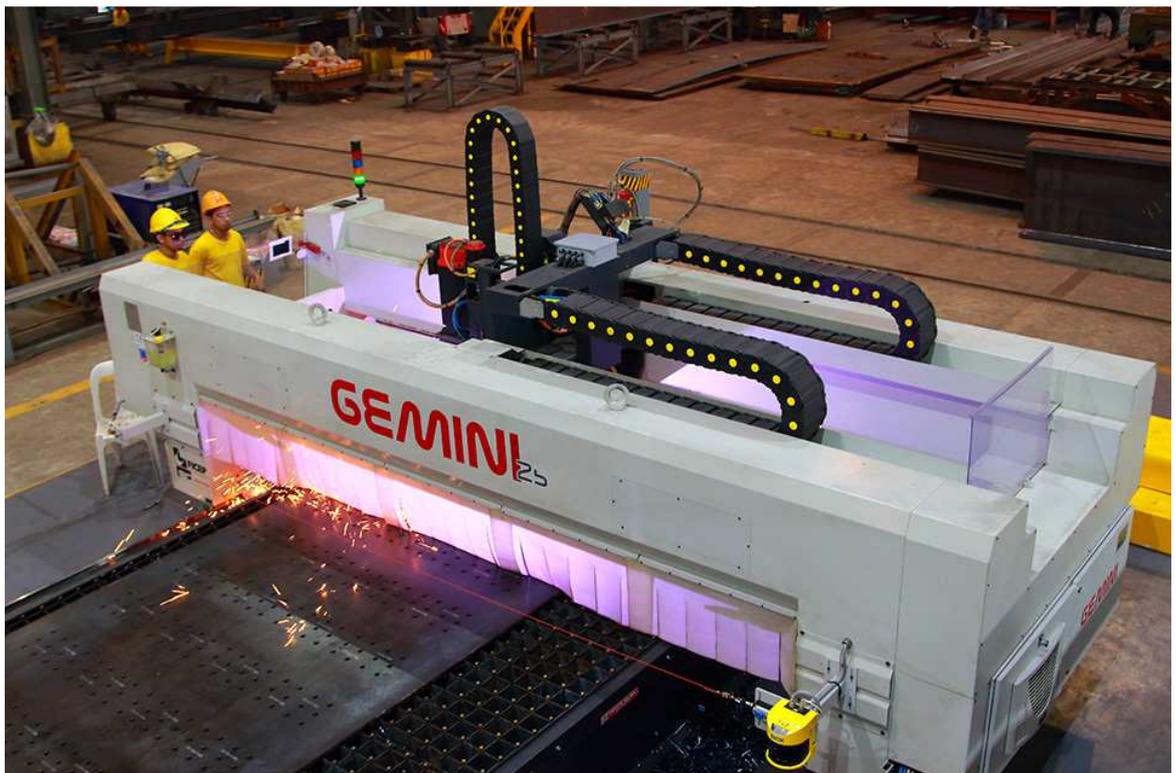


Рис. 3.15 Комбинированная машина для резки и сверления

Машины могут рассматриваться, как альтернатива машинам лазерной резки. Они подойдут для заводов со средним количеством крупногабаритных деталей со сверлением отверстий. Такие машины могут использоваться и для изготовления листовых деталей с отверстиями-фасонки и накладок.

3.3.4 Правка полос по плоскости и от серповидности.

После резки полос, особенно газовой или плазменной резкой из листа толщиной 6-10 мм, необходимо проводить операцию правки. Все 100% порезанных полос нужно править по плоскости, так как после резки полосы имеют волнообразность. Правку выполняют на специальных листопрямительных машинах с шириной правки от 1 до 3 м. (рис. 3.16.).

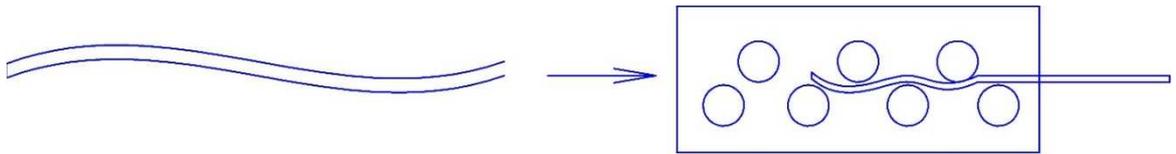


Рис. 3.16 Правка полос по плоскости

От 0% до 10% полос проходят правку от серповидности на гидравлическом кулачковом прессе. (рис. 3.17.).

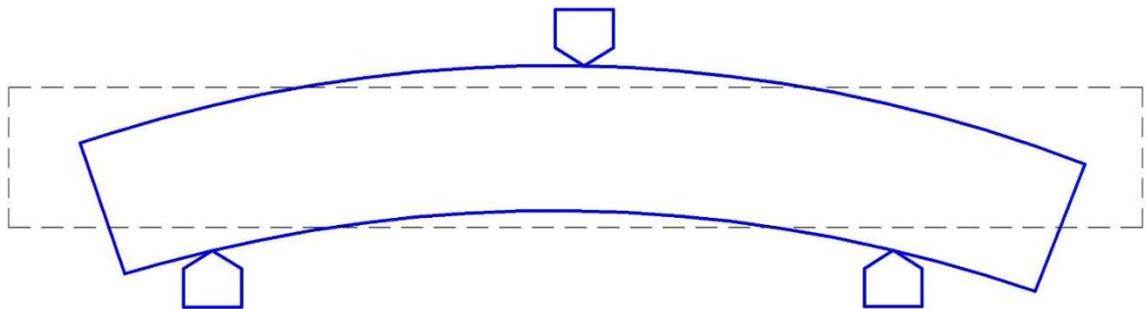


Рис. 3.17 Правка полос от серповидности

3.3.5 Сборка балок из полос.

3.3.5.1 Сборка балки вручную.

На стенде производят сборку балки в «Н»-образном положении. Последовательность сборки следующая:

- устанавливают на балки стенда стенку будущей балки краном,
- полку балки плотно прижимают по всей длине, и прихватывают детали ручной или полуавтоматической сваркой на расстоянии 400-500 мм,
- затем устанавливают, прижимают и прихватывают вторую полку.

Для удержания угла 90 градусов между полками и стенкой балки устанавливают распорки. (рис. 3.18.).

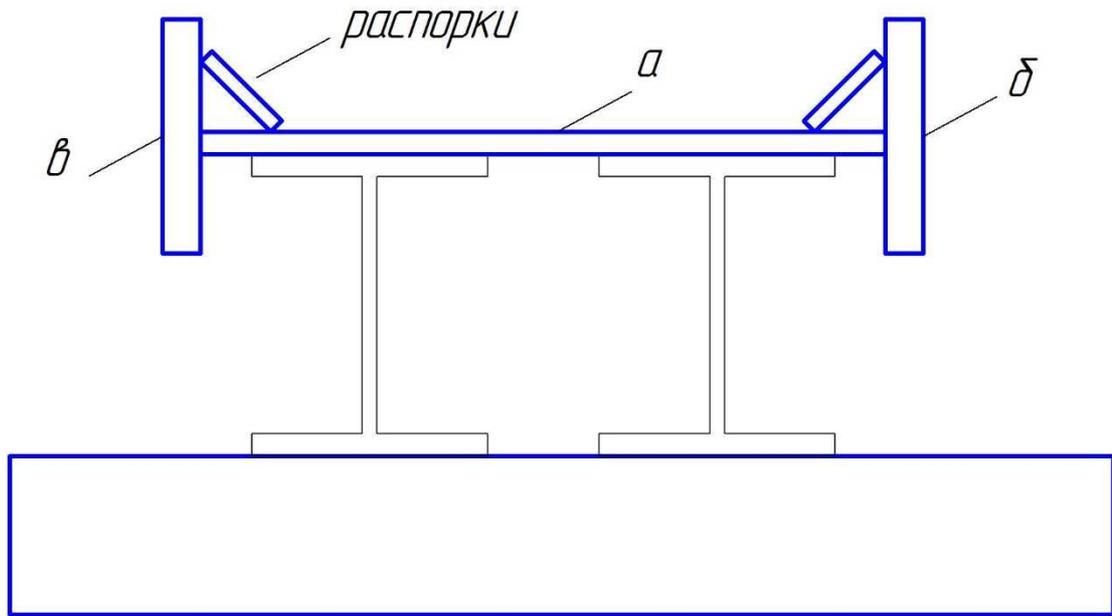


Рис. 3.18 Установка распорок стенда

Для поджима полок к стенке балки используют винтовой или клиновой прижимы. (рис. 3.19.).

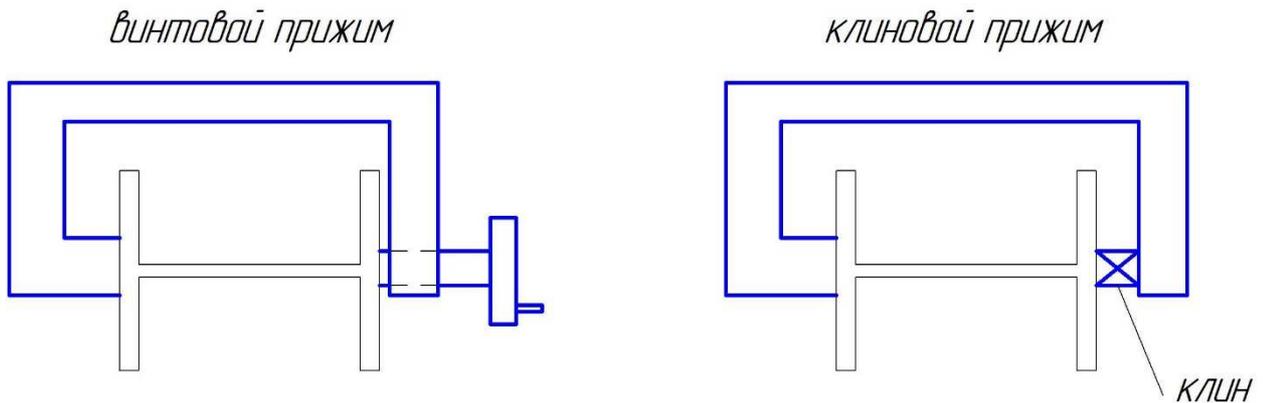


Рис. 3.19 Конструкции прижимов для поджима полок к стенке балки

Плотный прижим полок балки к стенке необходим для того, чтобы при сварке расплавленный металл не протекал в зазор. Для производства крупных балок для большепролетных зданий балки сборочного стенда раздвигают на необходимую ширину. (рис. 3.20.).

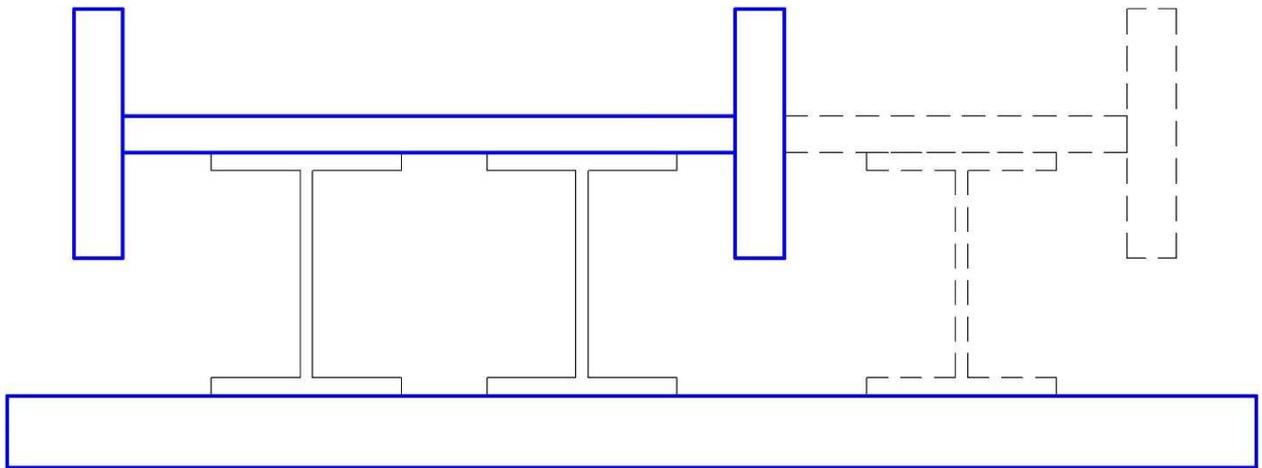
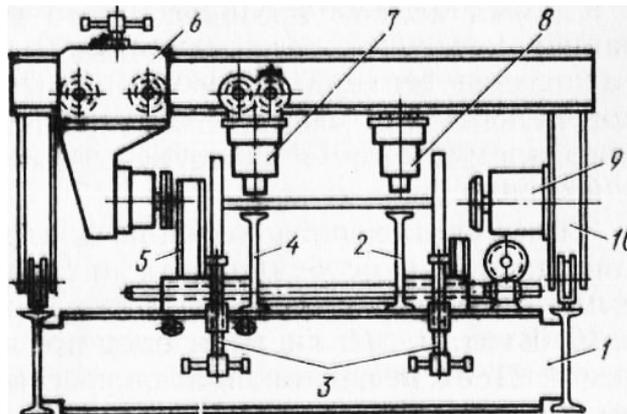


Рис. 3.20 Сборочный стенд

Балки большепролетных зданий могут быть разной формы, и на сборочном стенде устанавливают необходимые сборочные балки.

3.3.5.2 Механизированная сборка балок

На крупных заводах для изготовления балок большого сечения используются механизированные стенды. Роль прижимов на таких стендах выполняют пневмоцилиндры, т.к. вручную поджать толстостенные полки балок (30-80 мм) невозможно. На механизированном стенде устанавливаются раздвижные прямые балки с приводом, установлен портал с пневмоцилиндрами, которые осуществляют поджим. Портал движется вдоль балки и поджимает её по всей длине. При поджиме сборщик выполняет прихватки и перемещает портал дальше по всей длине. Так постепенно формируется



балка. (рис. 3.21.).

Рис. 3.21 Сборка балок на механизированном стенде

Процесс длится дольше, чем при ручной сборке, но зато можно собирать более крупные балки.

При изготовлении особо крупных балок собирается пневмоскоба, на которую устанавливают пневмоцилиндр того же механизированного стенда. При помощи скобы можно собрать балки высотой до 4 метров. Такие балки используются для покрытий крупных ангаров на больших пролетах крупных металлургических предприятий.

3.3.5.3 Сборка балок на сборочно-сварочных линиях

Многие заводы приобретают сборочно-сварочные линии, на которых производятся одновременно и сборка и сварка балки. (рис. 3.22.). Балка собирается и сваривается в вертикальном положении.



Рис. 3.22 Сборочно-сварочная линия для сборки балок

Сборка и сварка балок производится в следующей последовательности:

- в машину заводится одна полка будущей балки на рольганги;
- в вертикальном положении устанавливают стенку балки. От падения стенку удерживают роликовые упоры с двух сторон стенки;
- прижим стенки к полке осуществляется вертикальным роликом с гидравлическим приводом. Прокатывая балку в портал с прижимным роликом оператор добивается плотного прижима деталей между собой;
- во время прижима рядом с роликами производится сварка с двух сторон от стенки балки. Прокатывание деталей балки сквозь портал машины производится со скоростью сварки (0,4-0,5 метров в минуту). Для увеличения скорости с каждой стороны можно установить по две сварочные головки (скорость сварки увеличивается в 2 раза);

- при первом прохождении через машину получается сваренный тавр. Его возвращают к входным рольгангам, где уложена вторая полка балки. Тавр переворачивается и проваривается вторая полка балки. (рис. 3.23.).

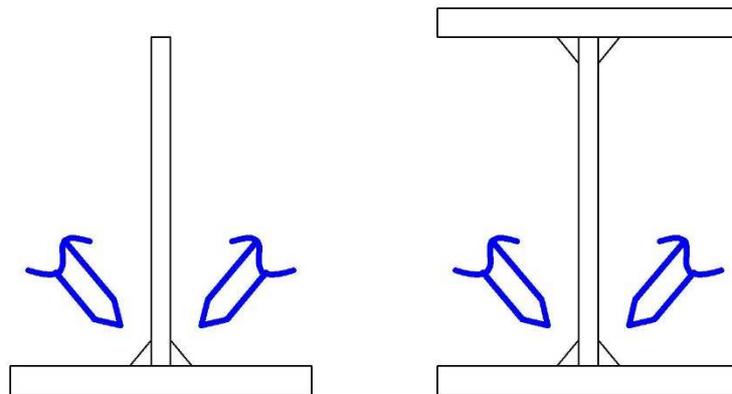


Рис. 3.23 Сборка и сварка балок

В результате получается собранная и сваренная балка. Этот метод сборки и сварки балок является самым производительным, но имеет свои ограничения. На таких машинах можно собирать только прямые балки. Есть ограничения по сварке: максимальный катет шва - 9 мм. При попытке наложить больший катет металл шва стекает и шов получается неравнополочным. (рис. 3.24.).

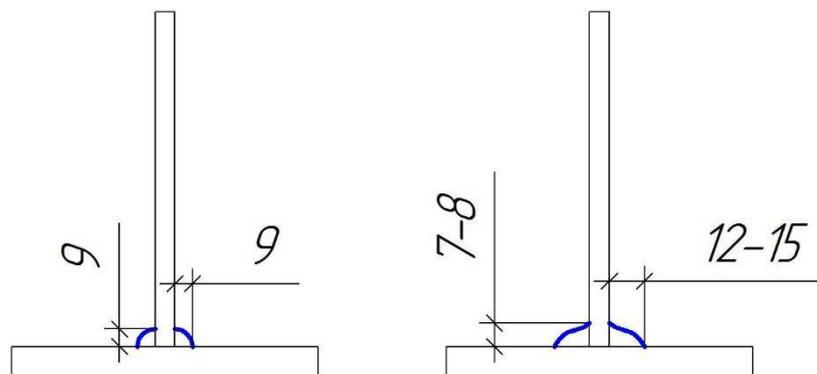


Рис. 3.24 Ограничение размеров сварного шва

На таких линиях собирают балки высотой до 2 метров. Некоторые заводы заказывают машины с возможностью собирать балки высотой до 3-х метров, но в любом случае катет сварки остаётся прежним. При необходимости сварки больших катетов на крупных балках необходимо производить наложение дополнительных 2-3 проходов сварочными тракторами на другом рабочем месте. Машины эффективны при изготовлении большого количества мелких, средних и крупных балок, на которых катеты швов не превышают максимального значения.

3.3.6. Сварка балок

3.3.6.1 Полуавтоматическая сварка в среде защитных газов (CO_2+Ar)

Балка устанавливается вертикально, 2 сварщика выполняют сварку продольных швов от середины к краям балки участками по 500 мм. Такой метод - самый трудоемкий и применяется только при малом объеме изготовления сварных балок.

3.3.6.2 Автоматическая сварка под слоем флюса

Сварка продольных швов производится сварочным трактором (рис. 3.25.).



Рис. 3.25 Сварка балки

Перед сваркой на балку обязательно устанавливают выводные планки, т.к. начало и окончание шва имеют дефекты. Выводные планки изготавливают из того же листа, что и остальные детали балки. После выполнения сварки планки срезают газовым резаком. На самой балке останется качественный шов на всей её протяжении. (рис. 3.26.).

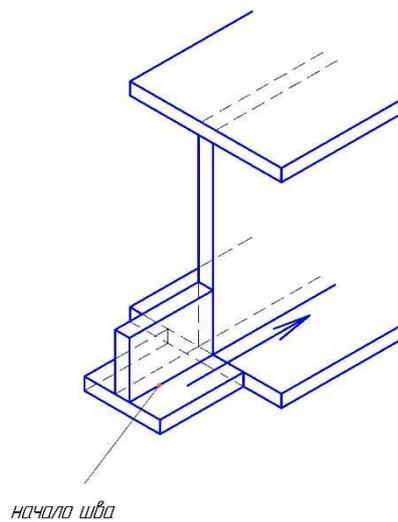


Рис. 3.26 Наложение выводных планок

Для сварки тракторами балки устанавливают на специальные ложементы под углом 45 градусов. (рис. 3.27.).

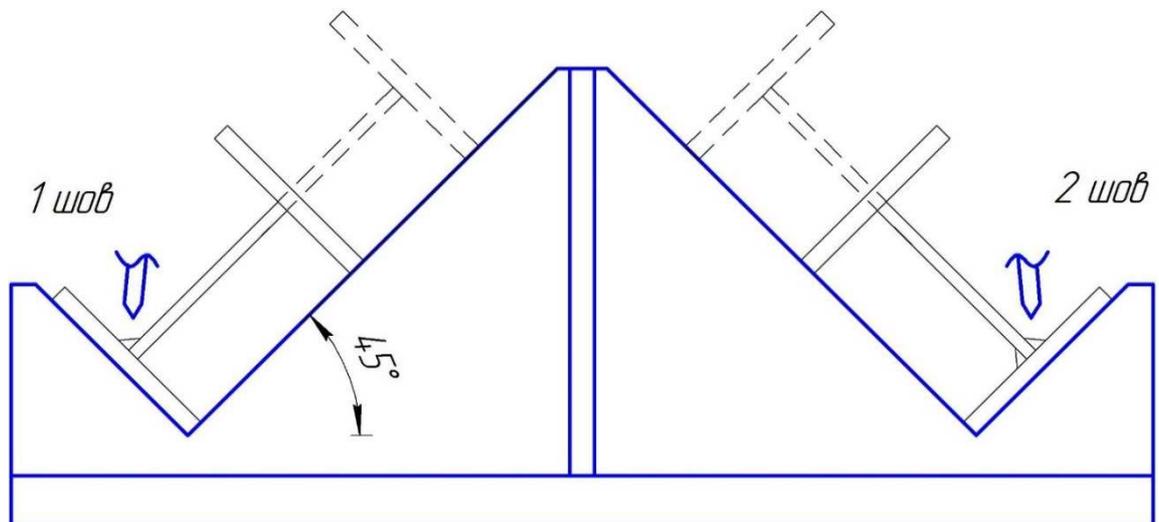


Рис. 3.27 Ложементы для автоматической сварки

При установке балки на одну сторону ложемента проваривается первый шов. Для сварки второго шва балку перемещают на другую сторону ложемента. После сварки двух швов балка кантуется на 180 градусов и операция сварки повторяется. Такой метод сварки является трудоемким. На каждый шов трактор устанавливают краном. Все перемещения выполняются краном.

Метод имеет одно преимущество. При такой сварке за один проход можно наложить шов катетом 12-14 мм. При использовании тракторов с мощными источниками можно накладывать швы до 18-20 мм. Такой диапазон катетов перекрывает все катеты, навариваемые на сварных балках. Одним трактором за месяц можно заварить 150-200 тонн балок. Сварка продольных швов сварочными консолями и порталами производится автоматической сваркой под слоем флюса. (рис. 3.28. - рис. 3.31.).

Приведем несколько примеров использования таких аппаратов.



Рис. 3.28 Сварка одной сварочной головкой



Рис. 3.29 Сварка двумя сварочными головками



Рис. 3.30 Сварка двумя сварочными головками



Рис. 3.31 Сварка двумя сварочными головками

Сварка на таких аппаратах может выполняться несколькими способами.

- одной сварочной головкой. Сварочная проволока диаметром 4 мм, скорость сварки 0,1-0,6 м в минуту, наложение швов катетом 4-14 мм;
- сварка методом «twin». В одну сварочную головку подаются 2 проволоки диаметром 1,6-2 мм, скорость 0,1-1,0 м в минуту, наложение швов катетом 4-16 мм;
- двумя сварочными головками, расположенными друг за другом. Такой метод сварки называется «tandem». Две сварочные проволоки диаметром 4 мм. Последовательное расположение сварочных головок позволяет увеличить скорость сварки до 2 метров в минуту и добиться наложения катета шва 6-20 мм.

Более сложные методы «twin» и «tandem» разработаны для повышения скорости сварки в 1,5-2 раза.

3.3.7 Правка балки от грибовидности.

После наложения продольных сварных швов на балках появляются сварочные деформации, так называемая «грибовидность» (рис. 3.32.).

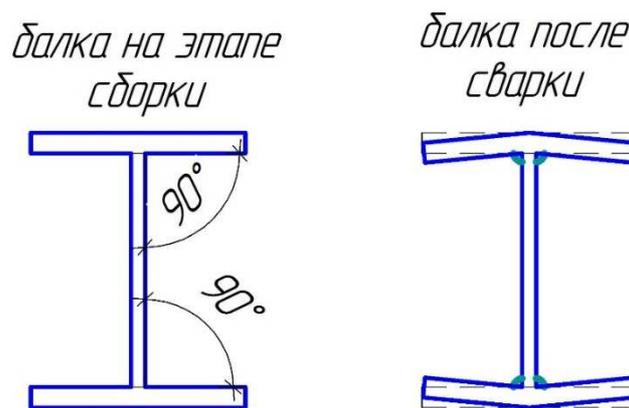


Рис. 3.32 Балка на сборке и после сварки

Для исправления таких деформаций применяют специализированные станки. (рис. 3.33.).

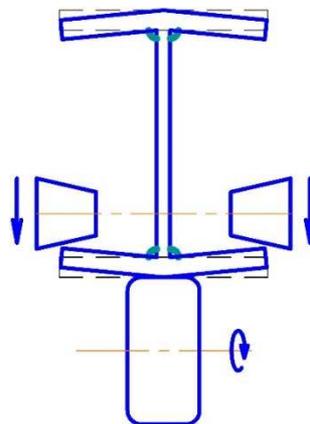


Рис. 3.33 Правка грибовидности полок

Опорный ролик станка располагается под центром полки балки. Нажимные ролики выставляются совместно на определенную высоту и вращением опорного ролика балка прокатывается по всей длине. В случае, если одной прокатки будет недостаточно, то нажимные ролики опускаются ниже и производится повторная прокатка. Обычно производится 1-3 прокатки. Правку выполняют последовательно первой, затем второй полки.

3.3.8 Термоправка и окончательная сдача балок.

Помимо грибовидности, сварные балки могут иметь и другие сварочные деформации: серповидность и винтовидность. Серповидность правится клиновыми прогревами ручным газовым резаком. (рис. 3.34.).

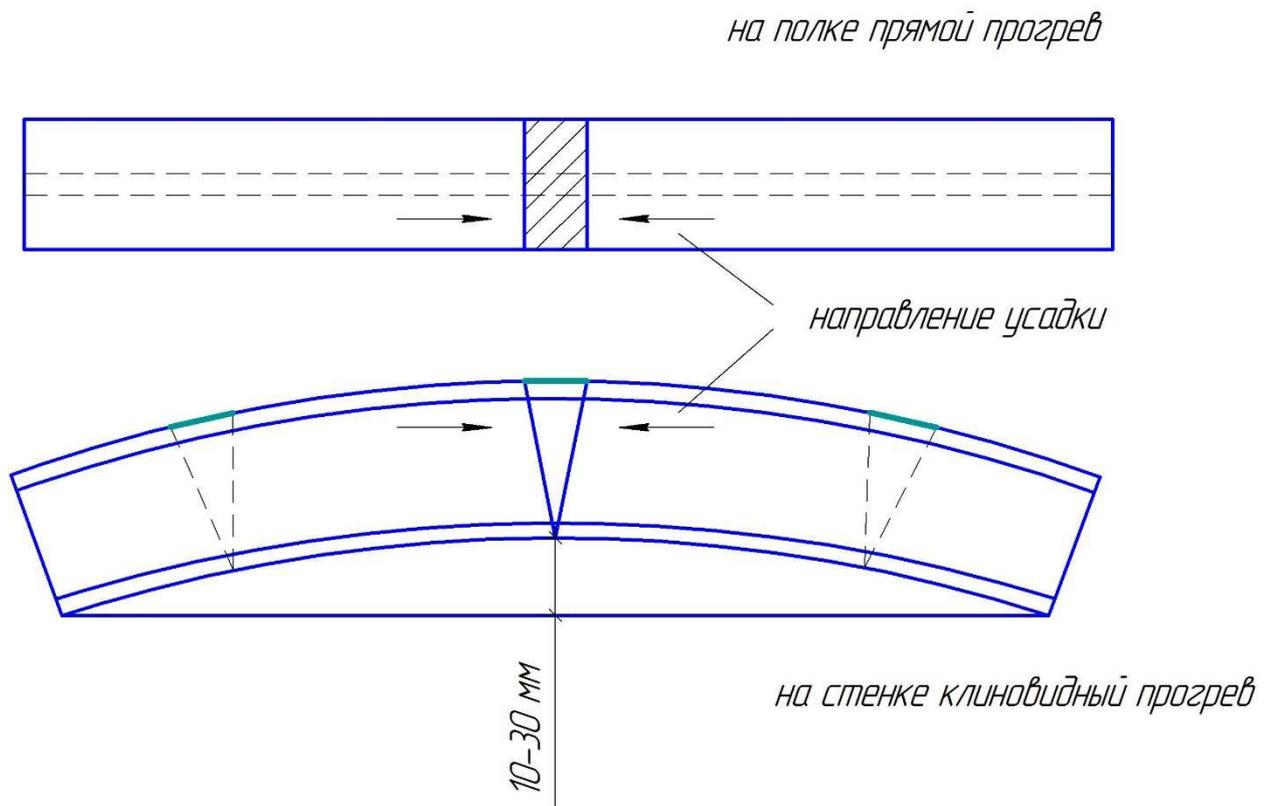


Рис. 3.34 Правка серповидности стенки

Одна из особенностей металла заключается в том, что он дает усадку: т.е. при нагреве металл расширяется, а при остывании участок нагрева становится меньше первоначального состояния. За счет этого происходит правка. В случае, если одного прогрева недостаточно, проводится 3-5 прогревов. В итоге балка выправляется. Допуск на серповидность составляет 1 мм на 1 метр длины балки, но не более 10 мм. Если серповидность обнаружена по полкам балки, то производят клиновидные прогревы только по полкам. (рис.

3.35.).

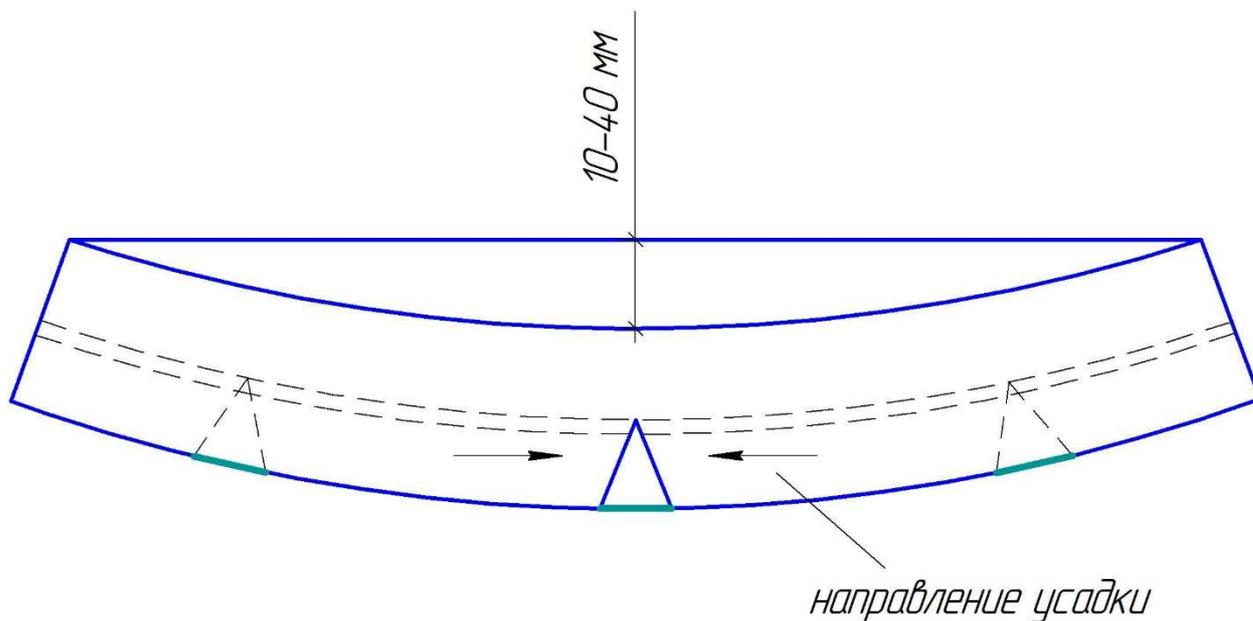


Рис. 3.35 Правка серповидности по полкам балки

Нагревы необходимо выполнять до середины ширины полки, после остывания в местах нагрева металл стягивается и за счет этого происходит правка. В зависимости от величины серповидности производится 1-5 прогревов.

Винтообразность – это когда один торец балки располагается прямо, а второй развернут. Такой вид деформации правится следующим образом (рис. 3.36.):

- один торец балки зажимается;
- под одну полку второго торца устанавливается подкладка;
- винтовым прижимом или грузом второй торец перегибается в другую сторону и выполняется кольцевой прогрев балки по обеим полкам и по стенке.

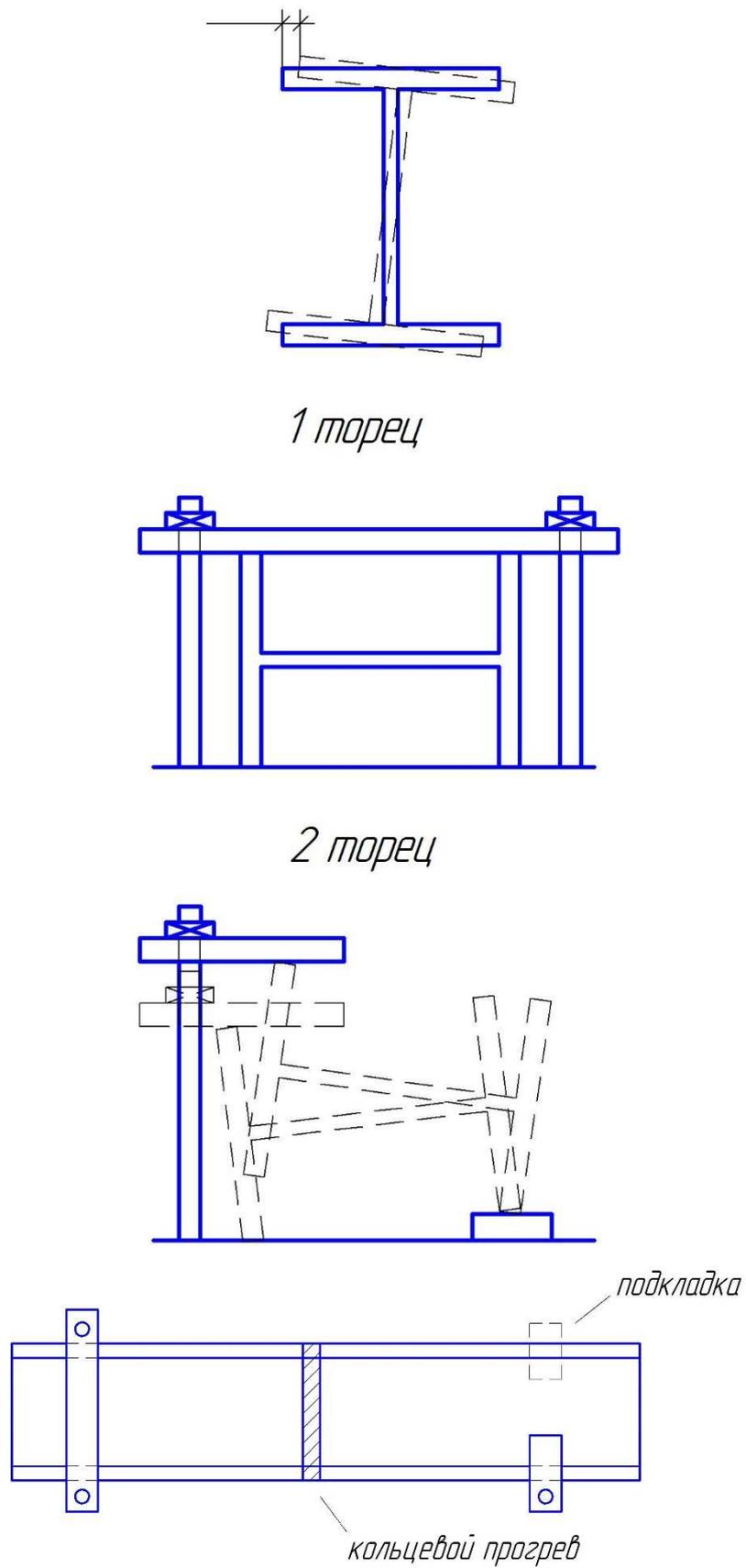


Рис. 3.36 Правка винтообразности

Подкладка нужна для того, чтобы перегнуть винт балки сильнее в другую сторону, т.к. после остывания и освобождения балки произойдет её пружинистое восстановление.

жинение. В случае, если после одного прогрева винтообразность осталась, то устанавливают подкладку большей толщины и повторяют зажим балки и кольцевой прогрев. Все прогревы при правке различных видов деформаций проводятся в разных местах балки; если выполнить прогрев второй раз на том же месте, то эффекта усадки не будет.

Встречается так же дефект перекоса полок на сварных балках (рис. 3.37.):

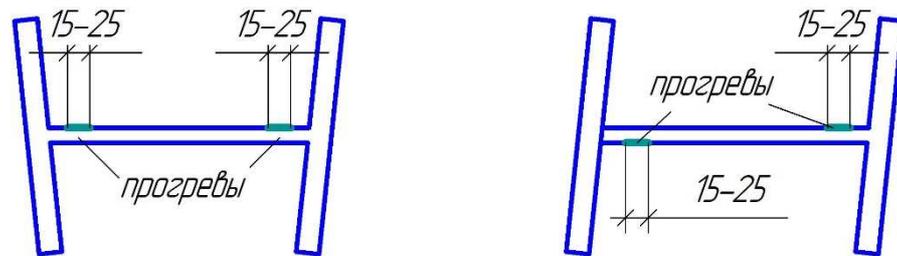


Рис. 3.37 Дефекты перекоса полок на сварных балках

Такие дефекты правят прогревом шириной 15-20 мм вдоль всего шва балки. Дефект встречается редко; исправлять его трудоемко.

К операции сдачи балки относится также срезка выводных планок ручным газовым резаком, и зачистка мест срезки шлифмашинкой. Отбивать выводные планки запрещено, так как при ударных воздействиях на краях швов остаются микротрещины. При нагрузках и низких температурах в процессе эксплуатации трещины могут увеличиваться и это может привести к ослаблению конструкции или её разрушению.

После выполнения вышеперечисленных операций балка предъявляется ОТК и передается на дальнейшие операции. Сварная балка становится металлопрокатом двутаврового сечения и может обрабатываться на тех же станках, что и прокатная двутавровая балка.

3.4 Оборудование для обработки деталей из прокатных профилей.

В России металлургические предприятия изготавливают прокатные профили длиной 12 м: уголки, швеллеры, квадратные и прямоугольные трубы, круглые трубы, двутавровые балки. Чтобы получить детали из этих профилей необходимо выполнить следующие операции:

- резка профиля в размер, в том числе под разными углами;
- сверление отверстий в любой плоскости профиля;
- фрезерование торцов профиля;
- вырезка прорезей, срезов и фигурных вырезов на профиле;
- снятие фасок под сварку.

Ранее каждая операция выполнялась на специальном станке. Они выполнялись последовательно; деталь перемещалась от одного станка к другому. На каждой операции разметка производилась вручную, на заводах было большое количество разметчиков. Точность разметки и, соответственно, изготовления оставляла желать лучшего (3-5 мм - по длине деталей, 1,5-2 мм - по точности отверстия). С появлением станков с ЧПУ точность изготовления увеличилась в десятки раз (0,1-0,5 мм - по длине; 0,1 мм по диаметру отверстий).

В настоящее время на всех заводах МК установлены поточные автоматические линии по обработке профилей совмещённого типа. На этих линиях выполняют две операции: сверление отверстий в 3-х плоскостях и резка в размер по программе с помощью ленточной пилы. Ленточнопильный блок имеет развороты в обе стороны относительно оси профиля. Это позволяет производить резку под углом 90 градусов, а также под разными углами. (рис. 3.38.). Три сверлильные головки могут одновременно сверлить отверстия в 3-х плоскостях профиля.



Рис. 3.38 Ленточнопильный станок

Заготовка фиксируется захватом, обмеривается с помощью фотоэлементов её длина и подается в сверлильный блок. В первую очередь выполняется сверление отверстий в детали (рис. 3.39.).



Рис. 3.39 Сверление отверстий

Вторая операция - резка детали в размер (рис. 3.40.).



Рис. 3.40 Резка детали

В случае, когда в детали нет отверстий, она проходит мимо сверлильного блока и выполняется только операция резки.

Как правило, такие линии комплектуются подающим столом на входе, чтобы можно было расположить несколько заготовок и подавать их с помощью передвижных механизмов. Комплектуются линии приёмным столом и на выходе, для накопления готовых деталей (рис. 3.41.).



Рис. 3.41 Технологическая линия

Эти столы могут быть шириной до 6 м. Оператор, разложив заготовки на всю ширину подающего стола обеспечивает себя работой и в дальнейшем работает без крана. Использование крана понадобится для уборки готовых деталей и закладки следующей партии заготовок.

Линии оснащены высоко эффективным оборудованием и позволяют изготавливать до 500 т деталей из профиля в двухсменном режиме. При использовании линии в трёх сменном режиме можно изготовить до 800 т деталей.

Некоторые производители оборудования разносят сверлильный и ленточнопильные блоки. Сначала выполняется резка деталей в размер, а затем деталь подается в блок сверления по системе рольгангов. Это расположение позволяет выполнять операцию пиления и сверления на двух разных деталях. Такая технология позволяет повысить производительность на 150-250 т в месяц (рис. 3.42.).



Рис. 3.42 Технологическая линия

Заводы металлоконструкций, имея 1-2 такие линии практически закрывают потребность в изготовлении деталей из профилей.

Эти линии выполняют три операции:

- сверление;
- резка в размер;
- резка ленточной пилой;

Последняя операция, по точности, заменяет фрезерование. Единственным нюансом является выполнение подобных резов на пониженных режимах.

Заводы, специализирующиеся на изготовлении вышек ЛЭП и сотовой связи из уголка, закупают автоматические линии по обработке уголка (рис. 3.43.).



Рис. 3.43 Технологическая линия по обработке уголкового проката

Выполнение прорезей, срезов, фигурных вырезов и снятие фасок под сварку, зачастую, до сих пор производится вручную. Но в последнее время стали появляться роботизированные комплексы по выполнению этих операций.

Подобные комплексы установлены только на 2-3 заводах в России в связи с тем, что имеют очень высокую стоимость (около 1 млн евро). Но за такими комплексами большое будущее. К их использованию придут все предприятия, желающие производить качественную продукцию в больших объемах.

Специальное оборудование предназначается для обработки цилиндрической трубы. Это - роботизированный комплекс, состоящий из 2-х блоков (рис. 3.44.).



Рис. 3.44 Технологический комплекс для обработки трубы

Первый блок обеспечивает вращение самой заготовки. Второй блок выполняет перемещение газового или плазменного резака вдоль трубы, наклоны, повороты и все перемещения резака по заданным программой траекториям.

Комплекс позволяет выполнить сложные примыкания трубы к трубе под разными углами, а также в местах, где сходятся несколько труб в одном узле (рис. 3.45.).



Рис. 3.45 Примыкание нескольких труб друг к другу

В настоящее время такое оборудование имеется на большинстве заводов металлоконструкций.

3.5 Оборудование для изготовления листовых деталей МК

При изготовлении листовых деталей проводятся следующие операции:

- резка деталей по контуру;
- сверление отверстий;
- снятие фасок под сварку;
- фрезерование торцов деталей;
- фрезерование деталей по плоскости.

Ранее все вышеперечисленные операции выполнялись на отдельных станках последовательно, передавая от станка к станку партии деталей. Много времени занимала разметка контура деталей и расположения отверстий. Это время сопоставимо с временем выполнения самой операции. Станки с ЧПУ позволяют полностью отказаться от разметки. Операции резки и сверления выполняются по программам.

3.5.1 Газорезательные машины с ЧПУ

Для резки деталей по контуру применяют газорезательные машины с ЧПУ (рис. 3.46.).



Рис. 3.46 Газорезательная машина с ЧПУ

Эти машины позволяют выполнять фигурную резку деталей из листа толщиной от 8 до 200 мм. В основном, они используются для изготовления деталей из толстого листа: опорные плиты колонн, несущие фланцы главных и подкрановых балок, основные фасонки (рис.3.47.).



Рис. 3.47 Детали, изготовленные на газорезательной машине с ЧПУ

Машины могут оснащаться одним или несколькими резаками для возможности изготовления значительного количества одинаковых деталей.

3.5.2 Машины плазменной резки

Для резки деталей по контуру из тонкого листа используют машины плазменной резки. Такие машины позволяют резать детали из листа от 2 до 40 мм. При увеличении мощности источника можно резать листы толщиной до 60 мм (рис. 3.48.).



Рис. 3.48 Машина плазменной резки

Плазменная резка особенно эффективна при резке листов толщиной до 25 мм. Скорость резки плазмой выше в 3-7 раз по сравнению с газовой резкой. Эти машины используются для резки различных фасонки, накладок, деталей крепления связей и других мелких деталей конструкций.

3.5.3 Сверлильные станки с ЧПУ

Сверление отверстий производят на сверлильных станках с ЧПУ. Некоторые станки позволяют сверлить отверстия в деталях, собранных в пакет (рис. 3.49.).



Рис. 3.49 Сверлильный станок с ЧПУ

В пакет набирают одинаковые детали (общей толщиной до 100 мм), прижимные устройства зажимают пакет деталей от сдвига и сверлильная головка выполняет сверление сразу во всех деталях, собранных в пакет. Сверлильная головка перемещается по программе. Сверление происходит на стандартных скоростях 150-250 оборотов в минуту. Это довольно медленно, но на выходе получаем несколько одинаковых готовых деталей.

В последнее время стали применять станки с ЧПУ с функцией высокоскоростного сверления (рис. 3.50.).



Рис. 3.50 Сверлильный станок для высокоскоростного сверления

Скорость сверления на таких станках в 3-5 раз выше. Для выполнения сверления на таких скоростях применяют специальные сверла с твердосплавными наконечниками. Сверление отверстий производят в одной детали. Использование таких станков в 2-3 раза эффективнее, чем станков с пакетным сверлением, но есть свои ограничения: на них нельзя сверлить габаритные детали из толстого листа (максимальный размер - 1000x1500 мм). Заводы МК, как правило, имеют оба вида станков.

3.5.4 Комплексные технологические линии

Появились линии по обработке листа, в которых совмещены операции сверления отверстий, пробивки отверстий, плазменной резки. Применяют 2 варианта:

- лист, из которого вырезают детали, передвигается по рольгангу, а блок станка со сверлильной головкой и плазменным резаком неподвижен. Здесь же устанавливают узел для пробивки отверстий (рис. 3.51.);



Рис. 3.51 Комплексная технологическая линия

- лист устанавливают неподвижно, а блок со сверлильной головкой и плазменным резаком располагаются на портале, который передвигается вдоль листа (рис. 3.52.);



Рис. 3.52 Комплексная технологическая линия

В обоих вариантах станки оснащают сверлильной головкой с высокоскоростным сверлением.

Совмещение операций позволяет сразу из листа получать готовые детали не перемещая их от станка к станку по операциям. Но имеются ограничения по толщине листа из-за возможностей плазмы. Линии эффективны при изготовлении деталей толщиной 20-25 мм.

На крупных заводах металлоконструкций имеются станки для изготовления деталей из толстого листа – это газорезательные машины, сверлильные станки с ЧПУ и 1-2 совмещенные технологические линии для изготовления деталей из тонкого листа.

3.5.5 Фрезерование деталей

Операция фрезерования выполняется на торцефрезерных станках (рис. 3.53.), фрезерно-расточных станках (рис. 3.54.), портальных фрезерных станках (рис. 3.55.).



Рис. 3.53 Торцефрезерный станок



Рис. 3.54 Фрезерно-расточной станок



Рис. 3.55 Портально-фрезерный станок

Эти станки позволяют выполнить фрезерование опорных торцов фланцев и фрезерование детали по плоскости. Фрезерные станки с ЧПУ также позволяют выполнить сверление деталей по программе.

В разделе 3 были описаны основные операции для изготовления деталей как для обычных строительных конструкций, так и для конструкций большепролетных зданий.

4. ВЛИЯНИЕ МАРОК СТАЛИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МК

При изготовлении деталей конструкций большепролетных зданий и сооружений используются несколько групп сталей. Применение конкретных сталей производится согласно расчетам по нагрузкам на металлоконструкции, а также согласно группам конструкций и температурному режиму эксплуатации, указанным в СП 16.13330.2011. Применение некоторых сталей приводит к ограничениям в выборе оборудования и к дополнительным технологическим операциям при изготовлении металлоконструкций.

4.1 Группа сталей С235, С245, С255

При изготовлении листовых деталей фасонки допускаются:

- резка на листовых гильотинных ножницах,
- газовая резка по периметру,
- плазменная резка,
- лазерная резка.

При изготовлении фасонки для ферм из уголка не допускается резка на гильотинных ножницах. Фасонки работают в условиях разнонаправленных нагрузок (сжимающих и растягивающих) и относятся к 1-й группе уровня ответственности, согласно Приложению В СП 16.13330.2011. Для изготовления фасонки применяются только термические виды резки.

При образовании отверстий на листовых деталях допускаются:

- пробивка отверстий на прессах и комбинированных машинах с ЧПУ,
- сверление отверстий,
- резка отверстий лазером на машинах с ЧПУ.

При изготовлении деталей из профильного проката допускаются:

- резка на пресс-ножницах,
- резка на ленточно-пильных станках,
- газовая резка,
- плазменная резка.

При образовании отверстий в профильном прокате допускаются:

- пробивка,
- сверление.

4.2 Группа сталей С345, С390, С440, С590.

При изготовлении деталей из этих сталей запрещаются:

- резка листовых деталей гильотинных ножницах,

- пробивка отверстий на прессах и комбинированных машинах с ЧПУ в листовых деталях и деталях из профиля,
- резка профиля на пресс-ножницах.

При изготовлении деталей из листа допускаются только термические виды резки:

- газовая,
- плазменная,
- лазерная.

При образовании отверстий допускаются:

- сверление,
- лазерная резка.

При изготовлении деталей из профильного проката допускаются:

- резка на ленточно-пильных станках,
- газовая резка,
- плазменная резка.

Запрет резки на гильотинных ножницах, пресс-ножницах и пробивки отверстий вызван тем, что при этих видах обработки металлопроката образуются микротрещины на кромках деталей и отверстий.

При эксплуатации зданий в зимний период на всю площадь покрытия действуют нагрузки от снега. В самые холодные дни, при температуре до -45°C происходит разрастание этих микротрещин, так называемый эффект «хладноломкости». Поэтому может произойти разрушение конструкции в самом нагруженном месте.

4.3 Меры по предупреждению образования микротрещин и разрушения МК.

При изготовлении МК из сталей С390, С440, С590 выполняется дополнительная операция подогрева околошовной зоны перед сваркой. Нагрев выполняется ручным газовым резаком до температуры 120-160 С. Для конструкций из сталей С390 подогрев производится при сварке деталей толщиной 20 мм и более. Для конструкций из сталей С440, С590 подогрев производится при сварке деталей любой толщины. Если не выполнить подогрев, то после сварки будут образовываться продольные трещины (рис. 4.1.).

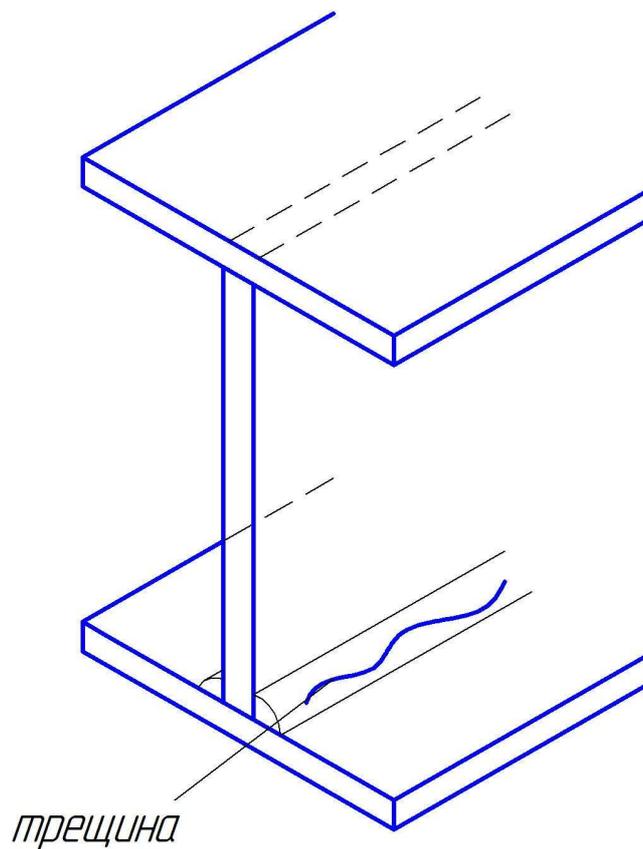


Рис. 4.1 Образование продольных трещин

Операция подогрева осуществляется для всех видов сварки:

- при стыковке листов,
- при сварке двутавровых балок,
- при сварке конструкций после сборки.

Контроль нагрева деталей производится специальным прибором-пирометром (рис. 4.2.).



Рис. 4.1 Пирометр для контроля нагрева деталей

5. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА

При проектировании зданий и сооружений после определения нагрузок на элементы конструкций возникает необходимость выбрать металлопрокат. Российская металлургическая промышленность предлагает широкий сортимент металлопроката:

- прокатные двутавровые балки (20Б1-100Б3, 20Ш1-70Ш4, 20К1-40к5),
- швеллеры - от [10 до [40,
- уголки от 25х2 до 250х20,
- квадратные трубы - от 20х1,5 до 300х12,
- прямоугольные трубы - от 20х40х2 до 360х240х12,
- круглые трубы - от 10х1 до 1420х20.

Для выбора оптимального профиля конструкций проектировщик должен знать процесс производства. В обратном случае возникают ситуации, при которых решения проектных организаций приводят к большим потерям времени и финансов при реализации проекта на производстве. Разберем несколько подобных случаев:

1. Для колонн крупного логистического центра по нагрузкам двутавровые балки 40К2 не проходят. Напрашивается выбор следующей в списке балки 40К3, но, в то же время, от заказчика есть четкая установка на минимальную металлоёмкость здания. В здании - 200-300 колонн. Применение балок 40К3 увеличивает общий вес здания и, есть вероятность, что заказчик может потребовать пересмотр проекта. В этом случае обязательно нужно рассмотреть вариант применения сварной балки, так как она позволяет варьировать сечение. Например, мы можем увеличить ширину полки на 10-15 мм, что позволит выдержать необходимые нагрузки. Таким же образом можно поступить с общей высотой балки (рис.5.1.).

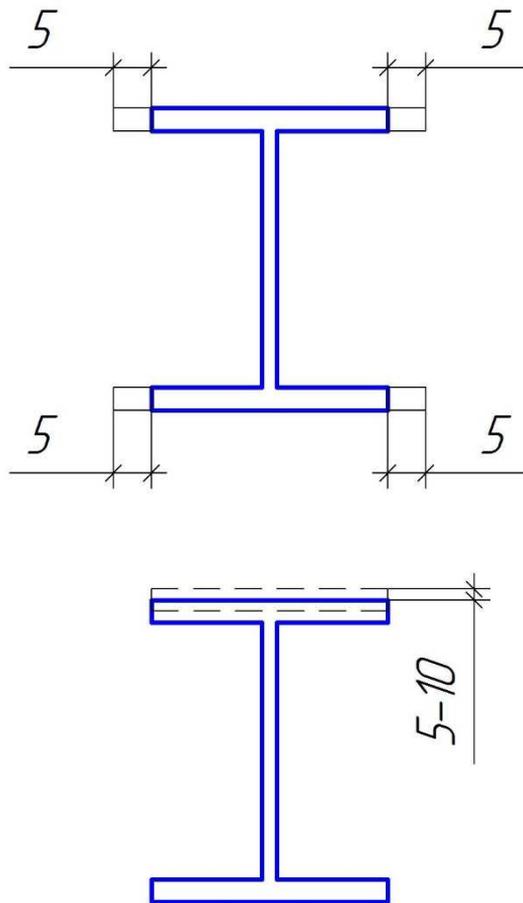


Рис. 5.1 Вариант изменения размеров сечения колонны

Применение сварной балки позволит снизить общий вес здания на несколько десятков тонн. Так же необходимо учитывать, что стоимость листового проката гораздо ниже профильного. Принятие такого решения позволяет снизить стоимость реализации этого проекта. В то же время, увлекаться заменой мелких прокатных балок на сварной вариант не стоит, потому что для заводов металлоконструкций это оборачивается значительным повышением трудоемкости и сроков изготовления. Нежелательна замена балок высотой до 400 мм.

2. При расчете выяснилось, что для колонн здания выгодно применить прокатную балку I30K4. Всего колонн в здании - 120 т. Проектировщиков всё устраивает, но при реализации этого проекта завод металлоконструкций сталкивается с проблемой закупки такой балки. На небольших металлобазах такого профиля не находится из-за его редкого использования и редких заказов. При обращении на металлургический комбинат оказывается, что минимальная партия заказа будет составлять 400 тонн и цена на балку данного профиля на 15-30% выше, чем на часто используемые профили. Это обусловлено тем, что для прокатки такой балки придется останавливать прокатный стан на 3-5 дней и менять все формирующие балку валки. Работа по замене валков закладывается в стоимость металлопроката и обуславливает мини-

мальный размер партии в 400 тонн. При изготовлении меньшей партии комбинат сработает себе в убыток. Соответственно комбинат откажется от изготовления 120 тонн балки I30K4. Замена прокатной балки на сварную в данном случае не выгодна самому заводу. Исходя из всего этого проектной организации придется пересмотреть профили, подобранные при расчете. Во избежание такой ситуации проектировщики при выборе прокатного профиля должны провести мониторинг наличия металлопроката на крупных металлобазах, а также возможности и ограничения металлургических комбинатов и заводов.

3. При выборе металлопроката для объектов необходимо применять как можно больше одинаковых профилей. Надо понимать, что запроектированное здание общей массой в 40 тонн, состоящее из 50-60 разных видов профиля на этапе изготовления доставляет заводу-изготовителю массу проблем. Для закупки металлопроката необходимо обратиться в десятки организаций. Обработка деталей из разного профиля и сборка единичных конструкций значительно увеличат трудоемкость, и вместе с тем, стоимость и сроки изготовления. В некоторых случаях заводы вынуждены отказываться от подобных заказов. Поэтому, на этапе проектирования, в погоне за минимальной массой конструкций нельзя забывать об унификации.

4. В некоторых случаях, выполняя установку на применение одинаковых профилей, проектировщики забывают о трудоёмкости изготовления конструкций. Часто это встречается при проектировании стоек и ригелей фахверка. Основное количество стоек и ригелей, допустим, изготавливается из швеллера [14 (высотой 140 мм), а часть ригелей и стоек необходимо выполнить из коробчатого сечения. В этом случае некоторые проектные организации неправильно применяют спаривание швеллеров в коробчатое сечение с последующей продольной сваркой по двум швам. Казалось бы, обычное конструкторское решение, но оно приводит к увеличению трудоёмкости изготовления деталей в 4-7 раз. Вместо резки одной детали из квадратной трубы, необходимо будет резать в 2 раза больше деталей. Затем будет необходима дополнительная сборка в коробчатое сечение элемента и сварка продольных швов на каждом элементе. После чего необходимо избавиться от сварочных деформаций с помощью термической правки. Все эти операции намного растянут процесс изготовления конструкции. Поэтому, в данном случае, обязательно применение элементов фахверка из квадратной или прямоугольной трубы.

5. При проектировании склада мергеля для цементного завода в виде купола диаметром 100 м в качестве образующих были приняты решетчатые конструкции из круглых труб. Это, по сути, ферма с вальцованными поя-

сами из труб 377x10 и 426x12. На этапе проектирования конструкции не доставляют никаких проблем; они несут расчетную нагрузку и выдают низкую металлоёмкость объекта, что не может не устраивать заказчика. Но при реализации данного объекта заказчик столкнулся со следующей проблемой. На всех заводах металлоконструкций, куда он обратился, ему отказали в изготовлении по причине отсутствия оборудования для вальцовки труб такого диаметра. Единственным заводом, который смог бы изготовить эти конструкции оказался Белгородский завод «Энергомаш», но он так же отказался из-за загрузки этого оборудования на 2 года вперед. Заказчик объездил все заводы металлоконструкций России, проект был заморожен на 9-12 месяцев. В итоге был разработан новый проект под возможности конкретного завода, заново пройдена экспертиза и, только после этого, с задержкой в 1,5 года, проект начал реализовываться.

При проектировании крупных объектов, в том числе, большепролетных зданий и сооружений, необходимо ориентироваться на возможности не одного завода, а нескольких. Это позволит ускорить процесс изготовления. Из этого следует, что конструкции должны быть максимально простыми в изготовлении и состоять из легкодоступного металлопроката.

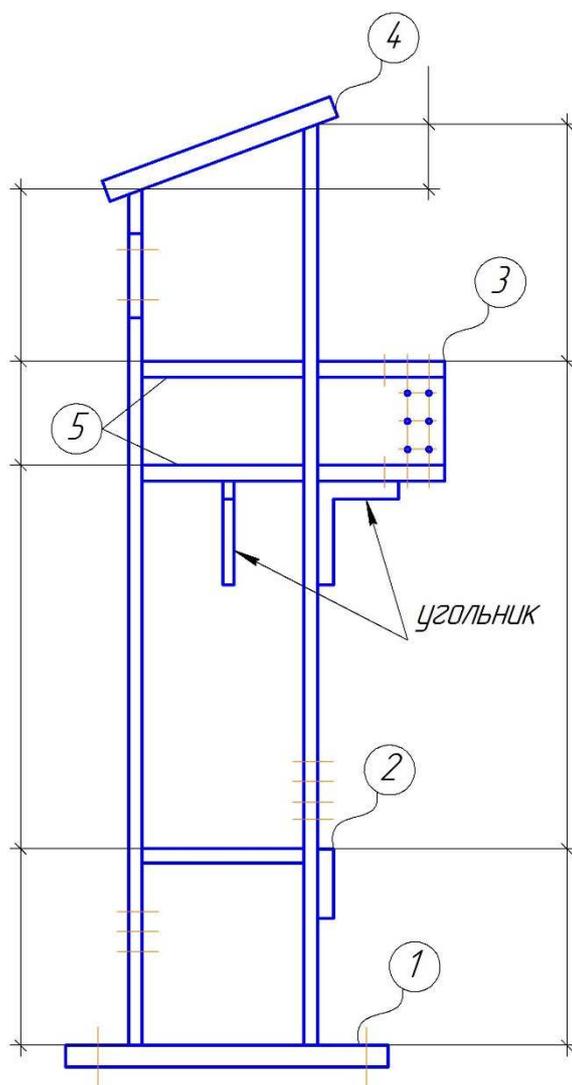
6. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ТИПУ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Все здания и сооружения состоят из основных и второстепенных видов конструкций. В этом разделе рассмотрены методы сборки основных элементов большепролетных зданий. Сборка является одной из самых сложных и трудоёмких операций при изготовлении металлоконструкций.

6.1 Колонны

6.1.1 Одноветвевые колонны

Этот вид колонн является относительно простым элементом. И, как правило, сборка таких элементов осуществляется по разметке. Сборку производит звено сборщиков из 2-х человек. Разметка для установки опорных столиков (2), верхней плиты



(4) и промежуточных ребер (5) производится от опорной плиты (1). Сборщики с помощью рулетки и угольника размечают места, где должны быть установлены вышеперечисленные детали. После чего следует установка и прихватка этих деталей на ствол колонны. Прихватка выполняется ручной или полуавтоматической сваркой. Перпендикулярность элементов проверяется угольником. После сборки колонна сдается контролерам ОТК, а затем передается для сварки.

Рис. 6.1 Одноветвевая колонна

Часто колонны большепролетных зданий необходимо изготавливать высотой 20-40 метров. Такие длинные конструкции невозможно транспортировать, поэтому конструкцию делят на секции, кратные 12 метрам. Эта величина обусловлена автотранспортными габаритами. В связи с этим, колонны состоят из 2 и более секций.

Монтажные узлы соединения секций между собой могут быть нескольких видов (рис. 6.2.):

1. Монтажный узел на сварке

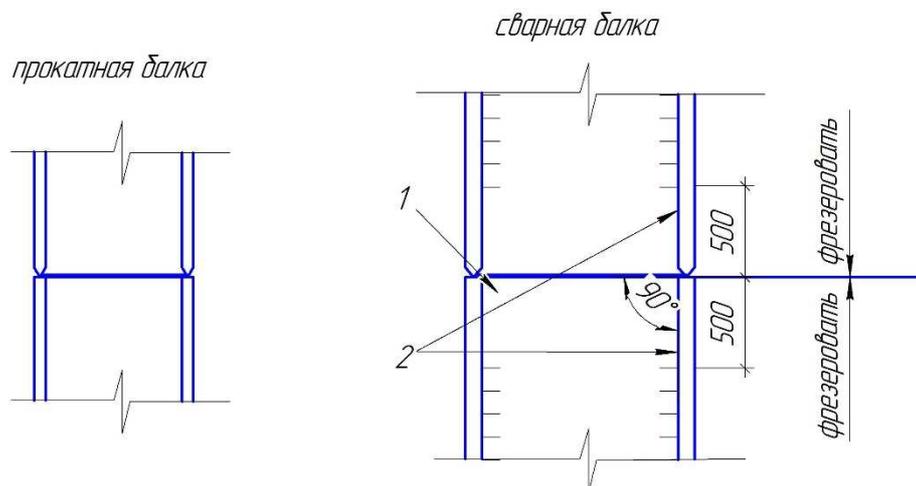


Рис. 6.2 Монтажный узел на сварке

Стволы колонн из прокатных балок отрезаются на ленточнопильном станке и с одного из них снимается фаска под сварку, как показано на рис. 6.2. Фаска снимается только с нижнего конца верхней секции колонны, чтобы на монтаже, при выполнении сварки, расплавленный металл не стекал вниз.

Стволы колонн из сварных балок по виду имеют аналогичную форму, за исключением 2-х отличий. Первое-продольные швы сварных балок не довариваются по 500 мм до стыка. Это делается для того, чтобы четко выровнять полки верхней и нижней секций колонн. Это необходимо и для выполнения правильной последовательности наложения швов. Первыми выполняются швы по торцу балок. Затем накладываются продольные швы по стволу. Если поменять последовательность наложения, то в местах пересечения швов могут возникнуть трещины. Второе- фрезерование торцов после сборки самой балки для получения угла в 90° .

2. Монтажный стык на фланцах

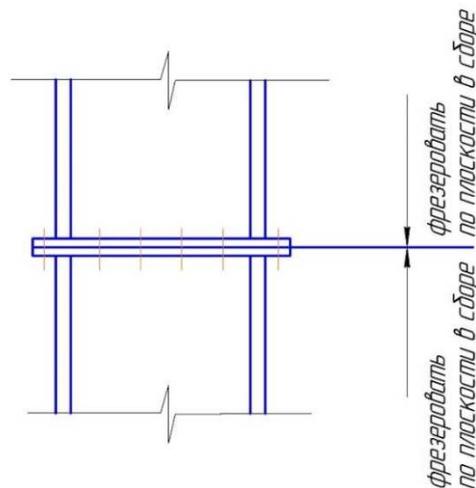
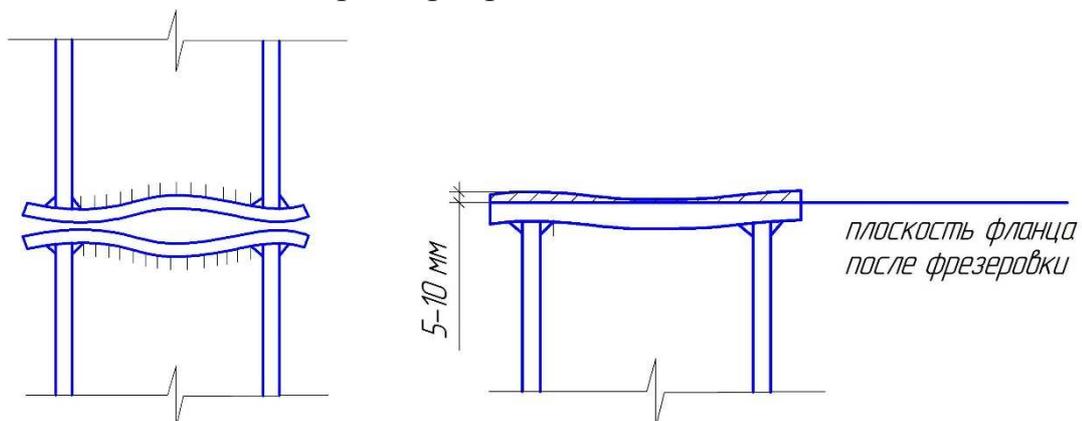


Рис. 6.3 Монтажный стык на фланцах

Отличительная особенность такого монтажного узла – это фрезерование фланцев в сборе после сварки. После наложения сварных швов происходят небольшие сварочные деформации, которые не позволяют плотно соединяться двум фланцам. Чтобы выровнять плоскость фланца выполняется его фрезерование по плоскости. В зависимости от размеров фланца, изначально даётся припуск в 5-15 мм на толщину фланца для фрезерования. В этом случае сборка секций колонн производится с учетом припуска. Установка элементов производится от чистого размера (рис. 6.4.).



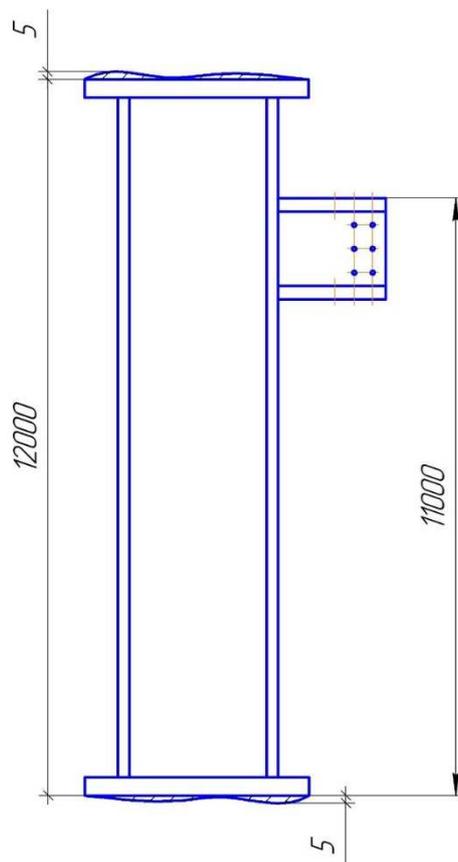


Рис. 6.4 Фрезерование фланцев и установка элементов колонны

3. Монтажный узел на накладках и высокопрочных болтах

Наличие такого узла не имеет большого влияния на сборку секции. Единственным нюансом является установка всех элементов секции от центров отверстий монтажного узла (рис. 6.5.).

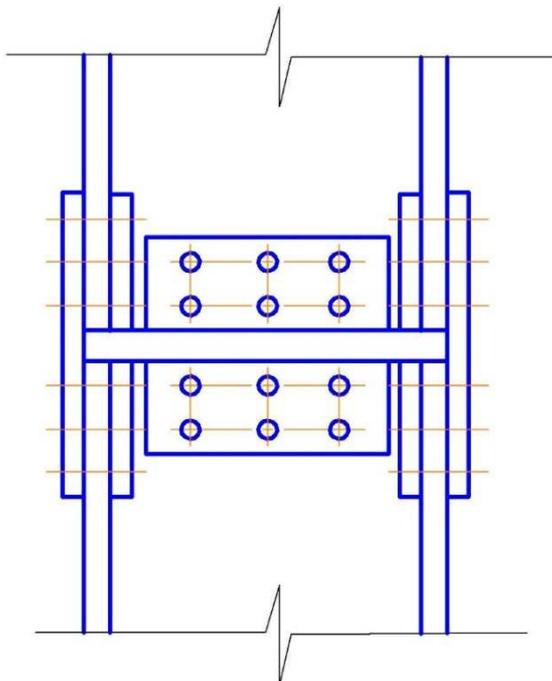


Рис. 6.5 Монтажный узел на накладках и высокопрочных болтах

Сложной разновидностью одноветвевых колонн являются крестовые колонны. Они используются в середине здания, когда с четырех сторон подходят сильно нагруженные главные балки. Колонна состоит из двутавра и продольно приваренных к нему с двух сторон тавров. Как правило, такие колонны выполняют из сварных профилей (рис. 6.6.).

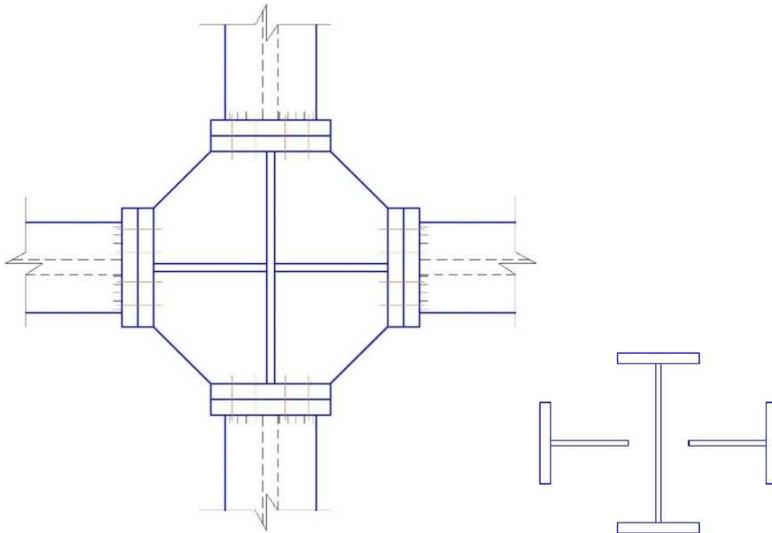


Рис. 6.6 Крестовая колонна

Изготовление двутаврового ствола происходит по описанной выше технологии. А изготовление сварных тавров имеет свою особенность. Стенки тавров на сборочном стенде соединяют в единую стенку на накладках. Накладки устанавливаются с двух сторон (рис. 6.7.). Затем навешивают полки и получаем обычную двутавровую балку, которую сваривают по обычной технологии. Если попытаться сварить тавры по отдельности, то у полученного элемента будет наблюдаться явно выраженная серповидность, которую будет сложно исправить термической правкой.

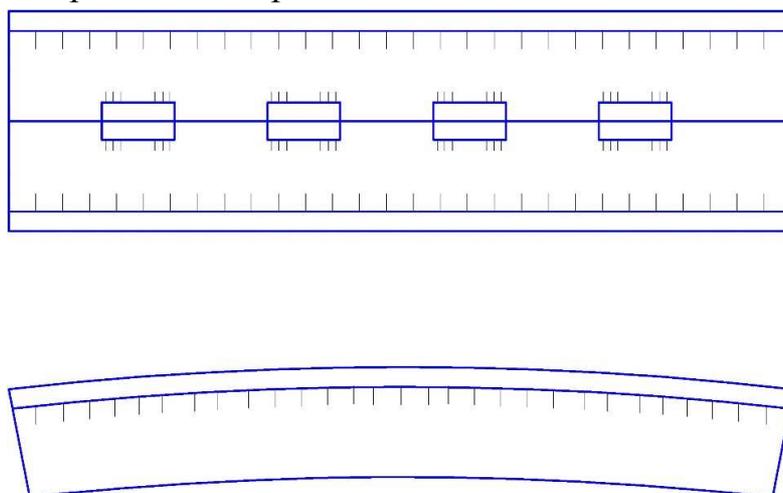


Рис. 6.7 Схема установки накладок

После сварки тавров важно дождаться полного остывания конструкции и только после этого можно разделить тавры. Сборка ствола такой колонны осуществляется в следующей последовательности (рис. 6.8.):

На одну сторону двутавра устанавливаются ребра для удержания тавра в вертикальном положении. Строго контролируется зазор между ребрами (на 4 мм больше, чем толщина стенки тавра). Это необходимо для свободного заведения тавра в нужное положение. Проверяется и высота ребер. Увеличенный размер ребер может в последствии привести к увеличенному размеру по стволу колонны, что повлечет за собой невозможность установки балок в проектное положение. При проектировании необходимо предусматривать компенсационные прокладки по плоскостям фланцев. С их помощью можно регулировать отклонения по ширине сечения таких колонн и свободно заводить балки в монтажное положение.

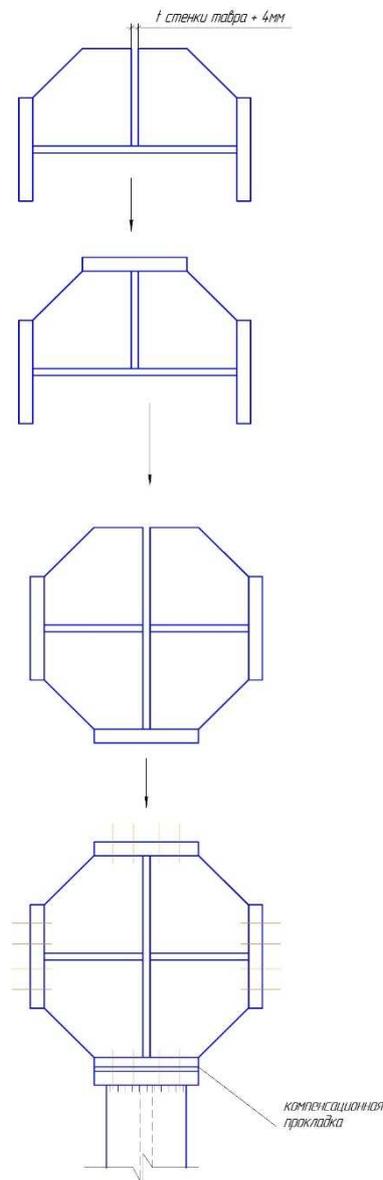


Рис. 6.8 Последовательность сборки колонны

Если такие колонны необходимо изготовить из двух и более секций, то монтажные узлы рекомендуется выполнять на монтажной сварке, или на фланцах. Применение узла на накладках и высокопрочных болтах значительно повысит трудоемкость изготовления колонн. Крайне сложно совместить отверстия на двутавре и таврах в крестовой колонне. Сверление отверстий на стенках тавров после сборки крестового сечения невозможно.

Крестовые колонны часто применяют в зданиях аэропортов, крупных торгово-развлекательных центрах в районе куполов и атриумов.

6.1.2 Решетчатые колонны

Решетчатые колонны значительно сложнее в изготовлении. Применяются обычно в промышленных зданиях, в которых установлены мостовые краны. Один ствол переходит в надколонник, на который крепятся стропильные фермы. Соответственно вся нагрузка от покрытия передается на этот ствол. На второй ствол устанавливают подкрановые балки и пути, и он воспринимает нагрузку от действия мостового крана. Два ствола соединяют между собой обрешеткой из уголка. Цехи промышленных зданий, как правило, имеют большую протяженность, поэтому в здании цеха или блока цехов размещается большое количество таких колонн (рис. 6.9.).

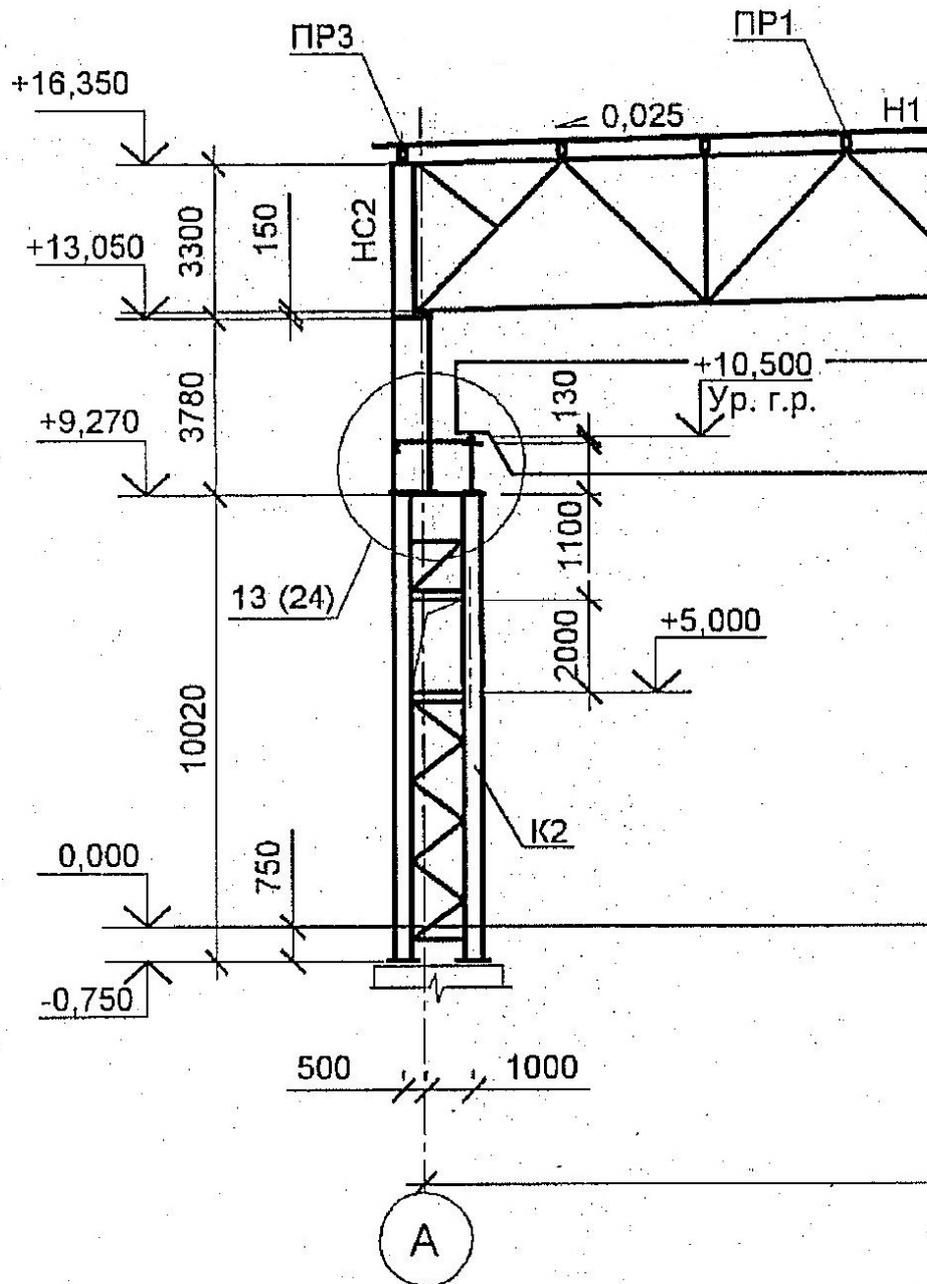


Рис. 6.9 Решетчатая колонна

Для получения одинаковых колонн при изготовлении выполняют сборку по схеме. Она разбивается на сборочном стенде при помощи шнуров и мела. Мел натирают о шнур, затем 2 сборщика натягивают ее и отбивают прямую линию на стенде.

Сборку осуществляют в следующей последовательности:

- Сначала разбиваются осевые линии стволов колонн и измеряют диагонали для проверки прямоугольности (рис. 6.10.).

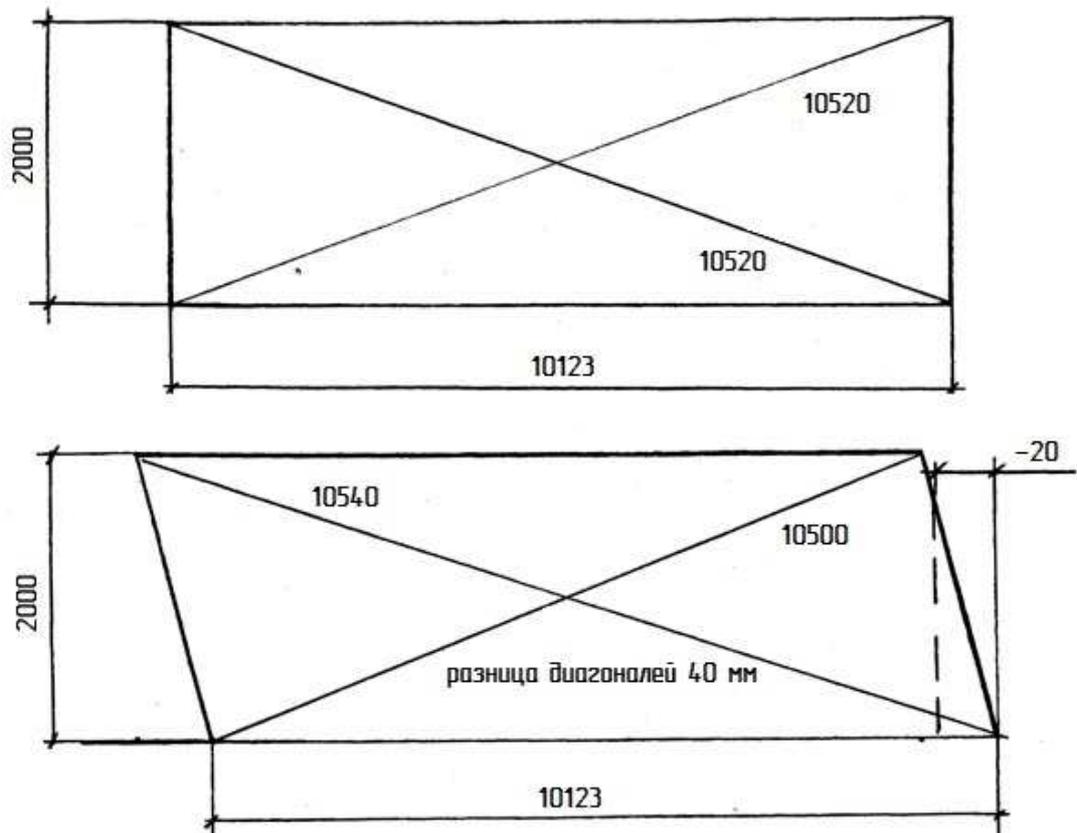


Рис. 6.10 Проверка прямоугольности стволов колонн

- После этого, относительно прямоугольника, разбивают контуры стволов, контуры уголков раскосов, опорные плиты и контур надколонника. Если надколонник имеет монтажный стык, то отбивают осевые отверстия на монтажном стыке (рис. 6.11.).

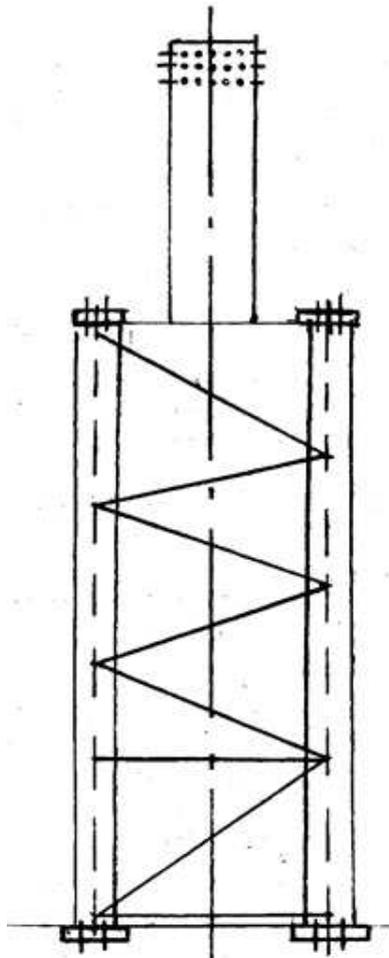


Рис. 6.11 Отбивка осевых отверстий

По сути разбивка схемы – это прочерчивание на стенде самой колонны в масштабе 1:1. Схема обязательно сдается ОТК завода для проверки.

- После проверки на схему устанавливают проложки, чтобы колонна была поднята над стендом при установке опорных плит, и ограничители по стволам колонн (рис. 6.12.).

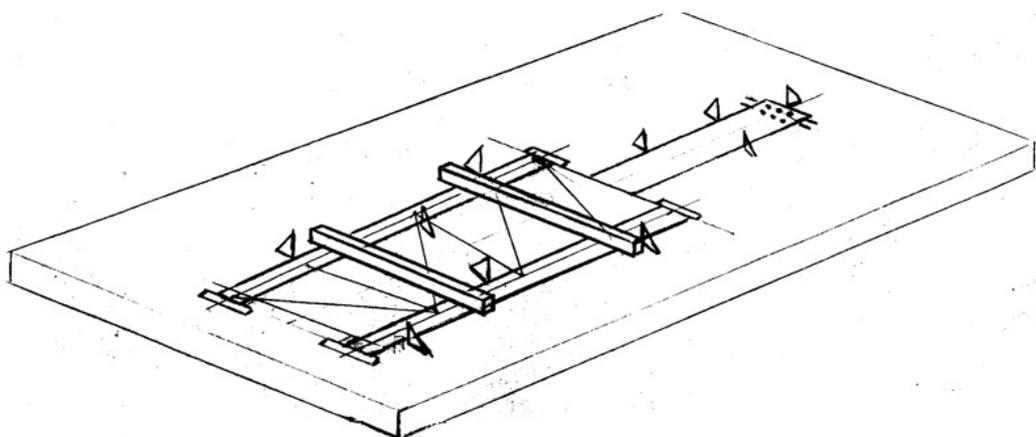


Рис. 6.12 Установка проложек

- На подложки устанавливают краном стволы колонны. Проверяют диагонали по осевым линиям стволов и по обоим торцам стволов. Производят нивелировку стволов колонн, чтобы оба ствола находились в одной плоскости (рис. 6.13.).

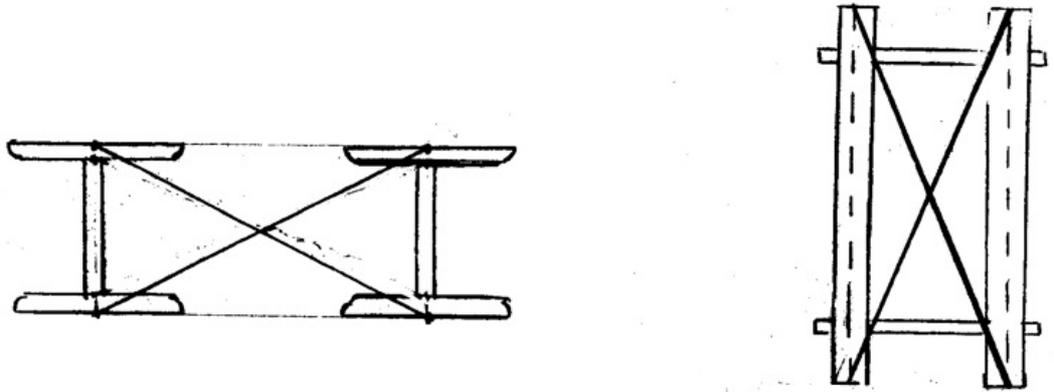


Рис. 6.13 Проверка плоскостности стволов колонны

- По центру вертикальных стенок стволов устанавливают связующую вставку из листа. Вставка может иметь большую массу, поэтому чтобы не использовать для её установки кран, изначально на стенках стволов пробивают линию расположения вставки и приваривают небольшие детали из листа – «сухари». Затем вставку краном заводят между стволами и опускают на «сухари». После чего вставку выравнивают по торцам стволов и прихватывают сваркой (рис. 6.14.).

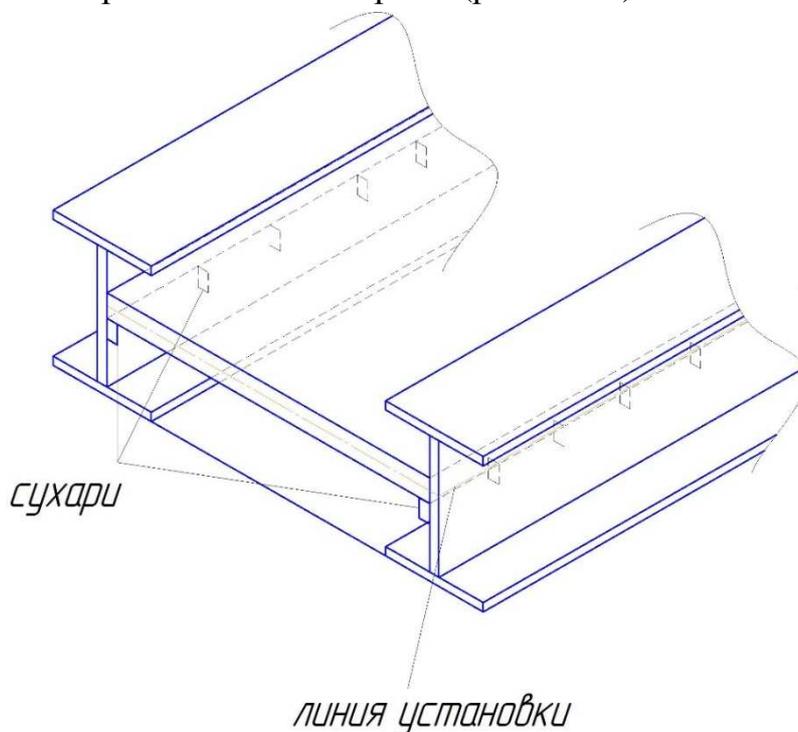


Рис. 6.14 Установка вставки

- По верхней и нижней полкам устанавливают 2 обрешётки из уголков. Нижнюю обрешётку устанавливают при помощи угольника. Угольник совмещают с краем уголка, отбитым на схеме. Проверяют в двух точках

по линии установки уголка. Расстояние между вертикальными стенками стволов и краями раскоса делают одинаковыми (рис. 6.15.).

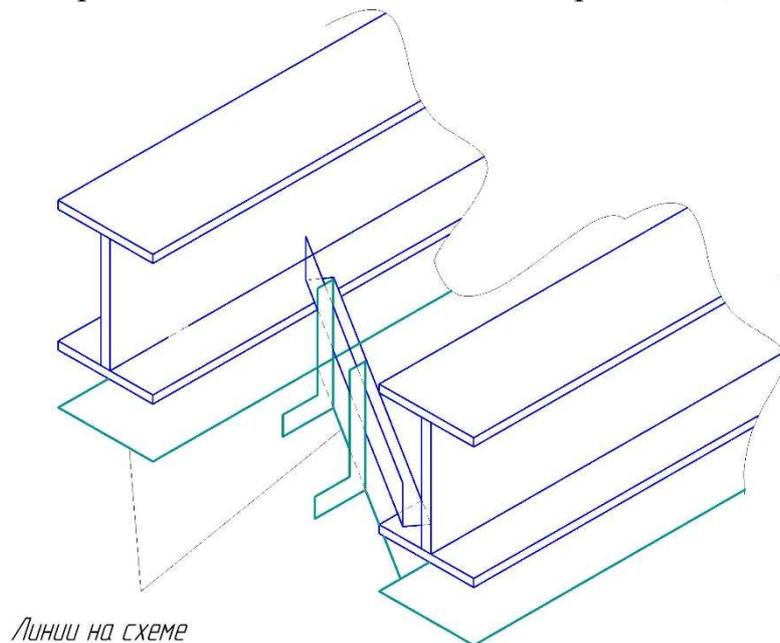


Рис. 6.15 Установка нижней обрешётки

- Для установки верхней обрешетки по верхним полкам стволов опять отбивают осевые стволов и раскосов. По этим линиям устанавливают верхнюю обрешётку. С помощью отвеса совмещают её с линией на схеме. Эту операцию выполняют для всех уголков обрешётки (рис. 6.16.).

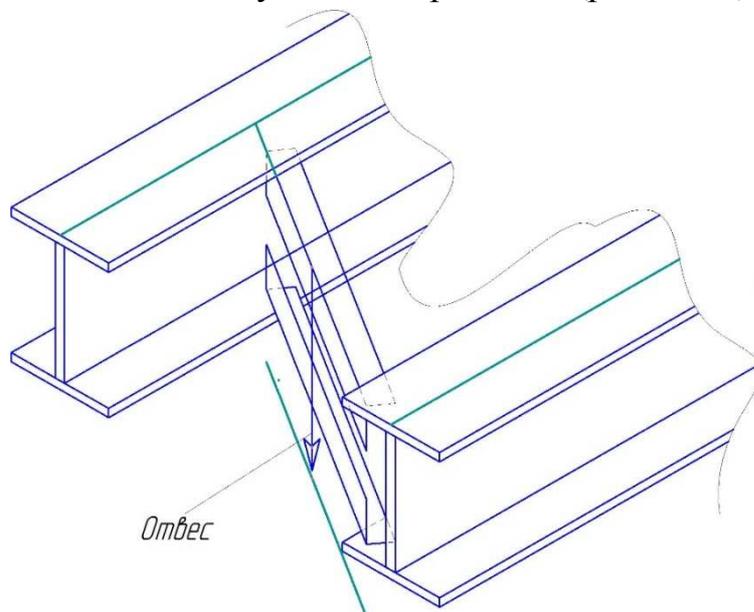


Рис. 6.16 Установка верхней обрешётки

- Чтобы в дальнейшем не проводить много замеров на следующих колоннах по уголкам устанавливают ограничители из уголка или квадратной трубы по 2 штуки на каждый уголок обрешетки. Ограничители приваривают по линии схемы к стенду и устанавливают подкосы для укрепления

ограничителей. Ограничители устанавливают для всех уголков обрешётки.

После этого устанавливают опорные плиты. Для этого на плите пробивают линию установки и по ней устанавливают 2 сухаря (рис. 6.17.).

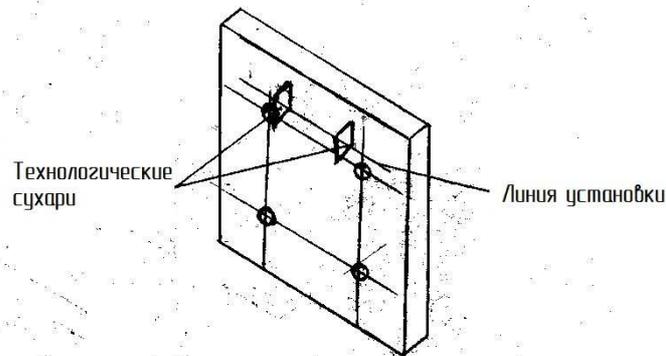


Рис. 6.17 Установка сухарей

- Затем плиту подвешивают на эти сухари на торец ствола колонны и совмещают осевую линию ствола и осевую опорной плиты, после чего её прихватывают. То же самое проделывают со второй плитой и проверяют расстояние между крайними отверстиями.
- Следующим этапом устанавливают надколонник. Для него подбирают подложки из другого профиля; далее проверяют прямолинейность его установки в 2-х плоскостях по натянутому шнуру. При необходимости, делают дополнительные подкладки. В горизонтальной плоскости прямолинейность корректируется ударами кувалды, после чего надколонник прихватывают к решетчатой части колонны. Проверяют соответствие схеме отвеса и сдают ОТК (рис. 6.18.).

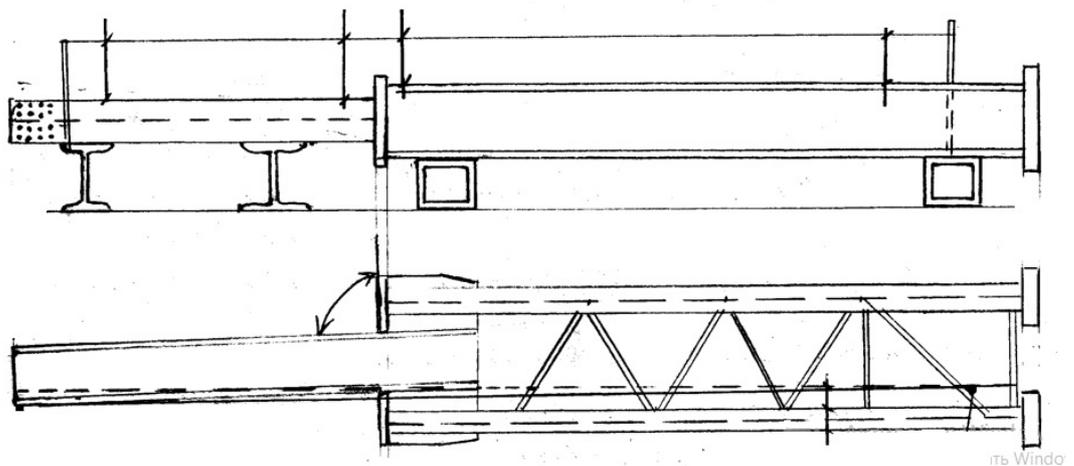


Рис. 6.18 Проверка прямолинейности установки надколонника

- После проверки колонну аккуратно снимают со схемы, чтобы не повредить ограничители раскосов и убирают на свободное место на стеллажах. Одно звено из 2х сборщиков доставляет необходимые фасонки для связей и другие детали. Другое звено из 2-3 человек закладывает на схему стволы для следующей колонны. Последующие колонны собираются быстрее из за того, что по обрешётке стоят ограничители.

Для колонн, у которых высота решетчатой части значительно больше 12 м, вводится монтажный стык. Наиболее распространёнными являются стыки на сварке и на высокопрочных болтах с накладками. Секции колонн со стыком на монтажной сварке собирают таким же образом, что описан выше. Для колонн с монтажным стыком на высокопрочных болтах вводится небольшое изменение (рис. 6.19.).

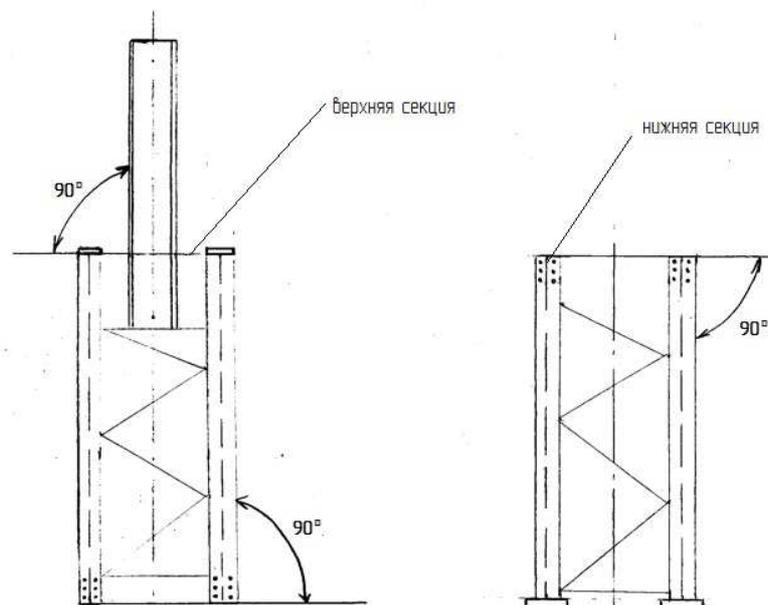


Рис. 6.19 Верхняя и нижняя секции решетчатой колонны

Схема для сборки разбивается в той же последовательности. Единственное дополнение-на торцах монтажных стыков пробиваются все осевые линии отверстий по полке стволов (рис. 6.20.).

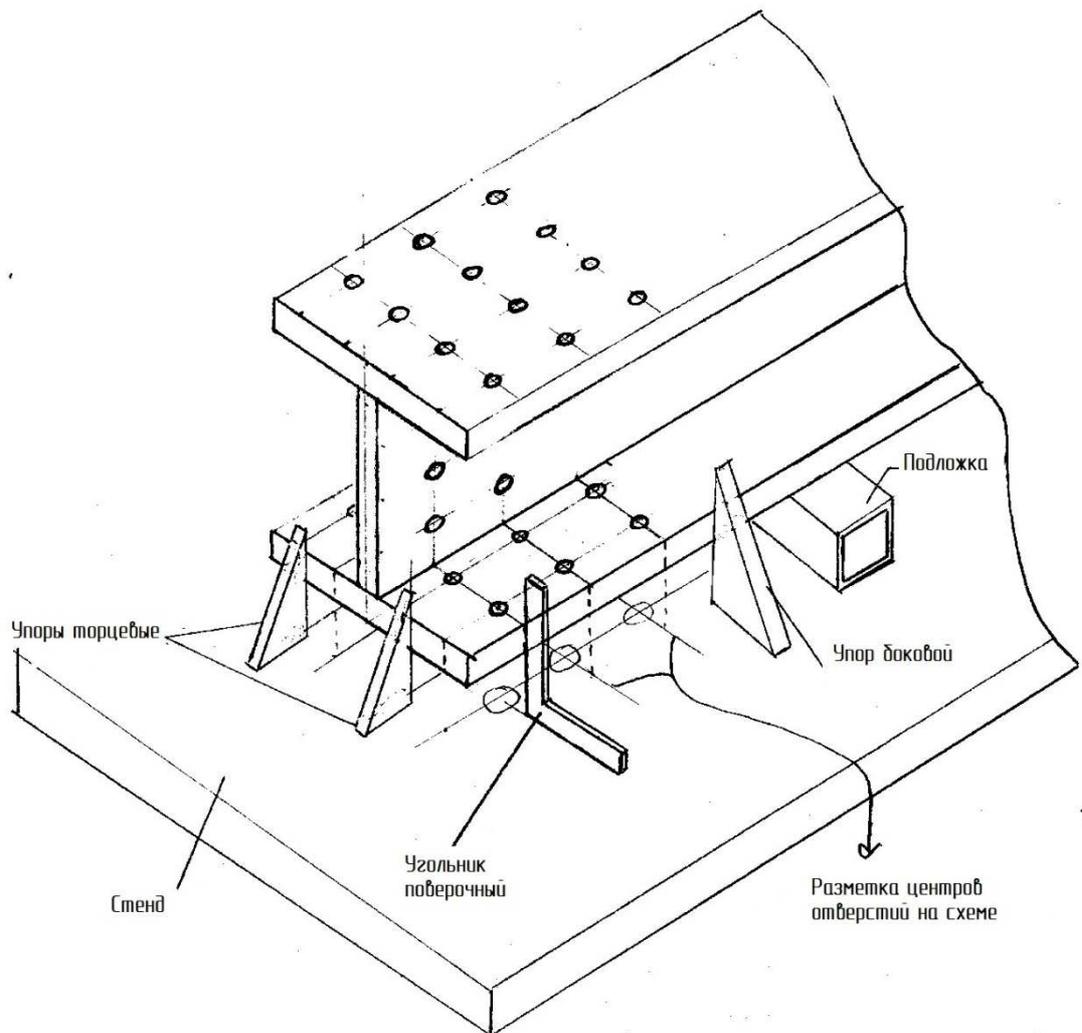


Рис. 6.20 Разбивка осевых линий отверстий колонны

Если колонн со схемы будут собирать меньше 10 штук, то ограничиваются установкой торцевых и боковых упоров. В случае более массовой сборки со одной схемы, устанавливают кондукторную плиту с точкой фиксации отверстий на сборочные пробки. В каждую группу отверстий их устанавливают не менее трёх. Диаметр пробки на 0,5 мм меньше диаметра отверстия (рис. 6.21.).

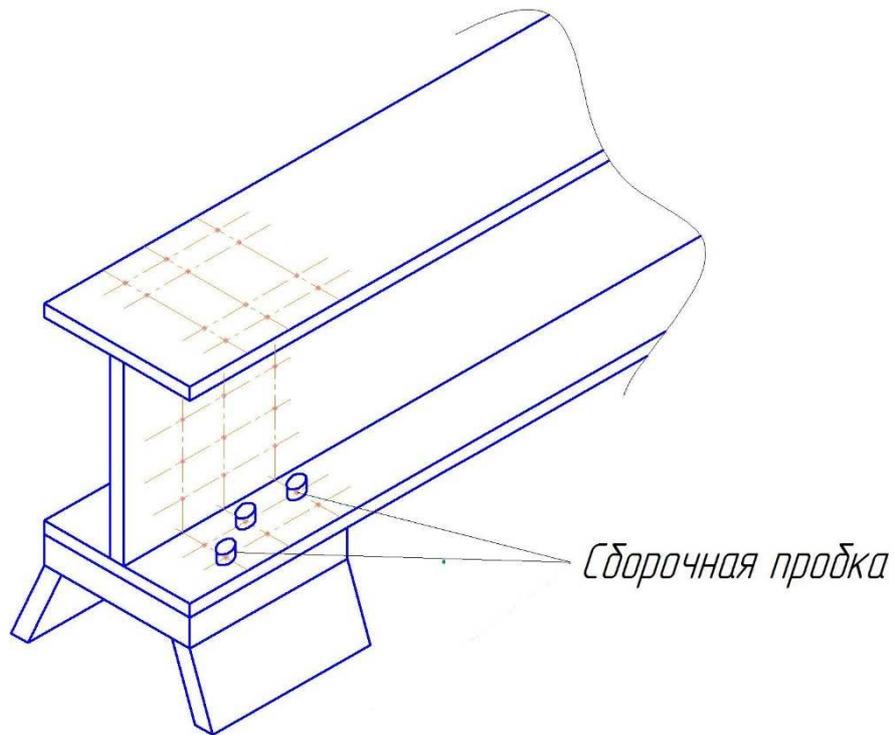


Рис. 6.21 Установка колонны на кондуктор с помощью сборочных пробок



Рис. 6.22 Кондукторные плиты, применяемые для массовой сборки колонн

Кондукторные плиты (рис. 6.22.) устанавливаются для фиксации отверстий на обоих стволах. Сборка начинается с фиксации отверстий на пробки. Таким образом, все последующие секции колонн будут одинако-

выми по расположению отверстий на монтажном стыке. Для проверки правильности изготовления секций колонн проводят контрольную сборку (рис. 6.23.).

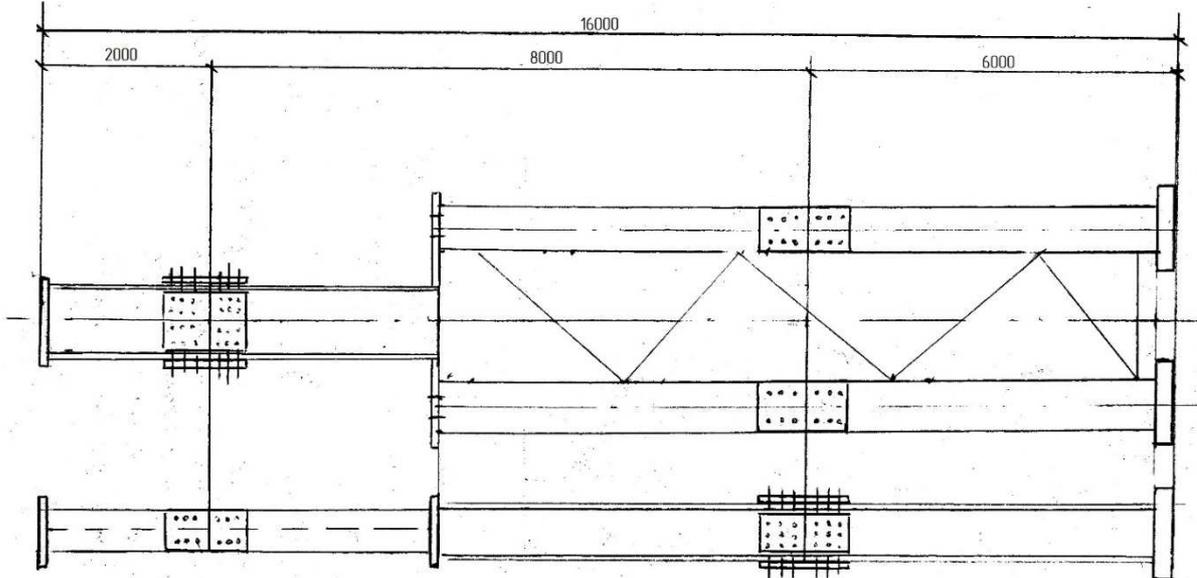


Рис. 6.23 Контрольная сборка

Для этого на ровной площадке на подложках выкладывают 2 секции колонн, устанавливают все накладки. В каждую группу отверстий устанавливают по 3 сборочных пробки и после этого болтом, который указан по проекту, проверяют 100% отверстий. Так же при контрольной сборке проверяют:

- общую длину колонны,
- прямолинейность колонны в 2-х плоскостях,
- прямолинейность расположения надколонника.

Контрольная сборка сдается ОТК. Если все размеры сходятся с заданными на чертежах, то с этого момента допускается массовое изготовление секций колонн.

Одной из разновидностей решетчатых колонн являются колонны, в которых вместо обрешётки устанавливают цельную листовую вставку на всю высоту колонны. Такие колонны применяют для нагруженных участков зданий, воспринимающих постоянную вибрационную нагрузку, нагрузки от кранов большой грузоподъемности (50-100 т.) Часто используются в зданиях ТЭЦ, ГРЭС и в ангарах для самолётов с шириной пролетов 60-100 метров.

6.1.3 Пространственные колонны.

Основная разновидность колонн – это 4-х плоскостные колонны, имеющие квадратное или прямоугольное сечение. Чаще всего такие колонны применяют на эстакадах газопроводов, на эстакадах трубопроводов нефтеперерабатывающих комбинатов, транспортных эстакадах. Их всегда устанавливают в ключевых местах: на перепадах высот эстакады, в местах её поворота, в местах температурного расширения эстакад газопроводов. Такие колонны выполняют роль связевого блока. Они могут воспринимать нагрузку с 4-х сторон. Большой размер колонны располагают параллельно направлению действия большей нагрузки на колонну (в случае прямоугольного сечения). Колонны данного типа используют при строительстве стадионов и называются «пилонами». К ним крепятся растяжки («ванты»), которые удерживают покрытие над трибунами (рис. 6.24.).



Рис. 6.24 Футбольная арена «Химки»

Как видно, широкую часть колонны располагают в направлении висящего над ней покрытия трибун. В данном конкретном случае ширина колонны на главных трибунах - 9 метров, а в перпендикулярном направлении - 3 м. Целиком такую объёмную колонну невозможно транспортировать. Соответственно на заводах металлоконструкций полностью изготавливают плоскости меньшей стороны колонны, а по большей стороне элементы колонны соединяют на высокопрочных болтах или на временных болтах с последующей сваркой на монтаже. Еще одной особенностью таких колонн является большая высота (40-80 м). Поэтому при её изготовлении необходимо делить на секции по высоте для возможности транспортировки. Монтажные соедине-

ния по высоте, в основном, делают на высокопрочных болтах. Нижние секции по узкой стороне колонны практически полностью похожи на плоские решетчатые колонны с опорными плитами, которые были рассмотрены выше.

Следующие по высоте секции колонны будут иметь 2 группы отверстий по всем 4-ём торцам стволов колонн и все группы отверстий должны быть увязаны между собой. Главным условием качественного изготовления таких колонн является точность изготовления стволов колонны. Длина стволов должна быть одинаковой ($\pm 0,5$ мм), так как, если один из них будет короче, то на монтаже колонна будет заваливаться в сторону короткого ствола. Таким же точным должно быть расположение отверстий на стволах. ($\pm 1,5$ мм) между группами отверстий.

Изготовление стволов можно выполнять только на станках с ЧПУ, которые позволяют получить стабильную точность при резке по длине и сверлении отверстий. Изготовление стволов по разметке исключено. При сборке, как и для решетчатых колонн, разбивается схема на стенде. Разбивают все осевые по отверстиям и устанавливают кондукторные плиты для фиксации стволов колонны по отверстиям на пробки (рис. 6.25.).

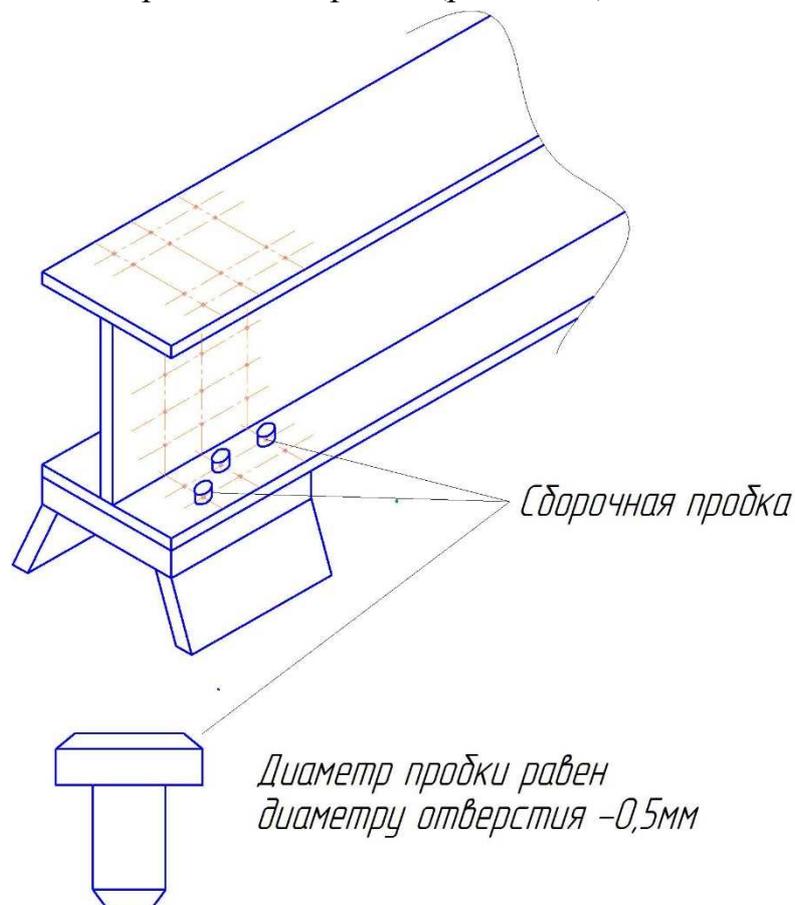


Рис. 6.25 Фиксация стволов колонны по отверстиям на пробки

Кондукторные плиты устанавливают по всем 4-ём торцам стволов. В остальном, сборка полностью повторяет сборку решётчатых колонн с установ-

кой ограничителей для раскосов. С большой точностью устанавливаются и детали для крепления элементов по широкой стороне колонны. Их, в свою очередь, также изготавливают на станках с ЧПУ.

На начальном этапе производства, на разных стендах собирают по одной плоской секции всех уровней колонны по высоте и производят контрольную сборку всех секций одной плоскости между собой на накладках и болтах. Затем производится сборка второй плоскости. Контрольная сборка позволяет проверить правильность изготовления деталей, правильность установки кондукторных плит. Производится проверка на прямолинейность, проверяют совпадение отверстий на 100% и наличие зазоров между секциями. Как правило, на такие контрольные сборки приглашают представителей заказчика, чтобы они своими глазами увидели, что колонна полностью соберется на монтаже. После этого начинают массовое изготовление секций колонн.

6.2 Фермы

Самым распространенным видом покрытий зданий являются покрытия из ферм. Каркас покрытия состоит из стропильных, подстропильных ферм, связей и прогонов. Покрытие данного типа позволяет выдержать снеговые, вибрационные, а иногда и крановые нагрузки (при использовании подвесных кранов). В зависимости от некоторых нюансов, таких как ширина пролета, наличие подвесных и мостовых кранов и др. Можно выделить несколько видов ферм, отличающихся профилем стержней и своим очертанием:

- из уголков,
- из квадратных и прямоугольных труб,
- из прокатных и сварных балок,
- арочные и хребтовые фермы.

6.2.1 Фермы из уголков.

Этот тип ферм самый распространенный для промышленных зданий. В основном, пролеты промышленных зданий бывают следующих размеров: 18, 24, 30, 36, 42 м (рис. 6.26.).

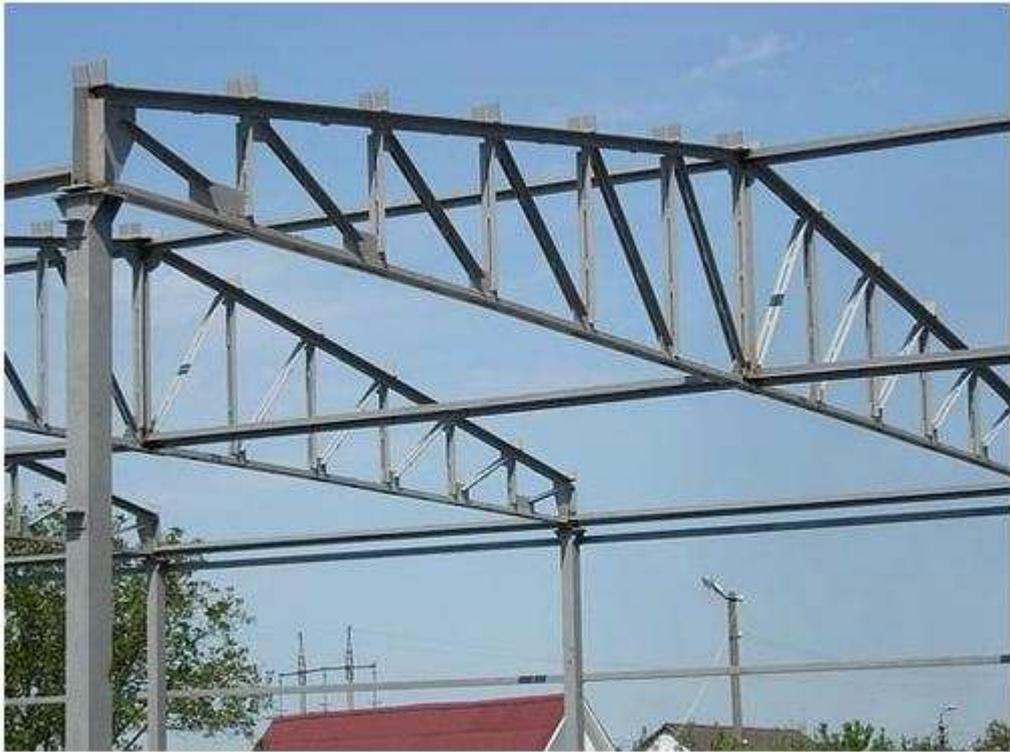


Рис. 6.26 Ферма из уголков

На пролетах свыше 42 метров используются фермы других видов. Для транспортировки фермы делят на секции по длине (рис. 6.27.).

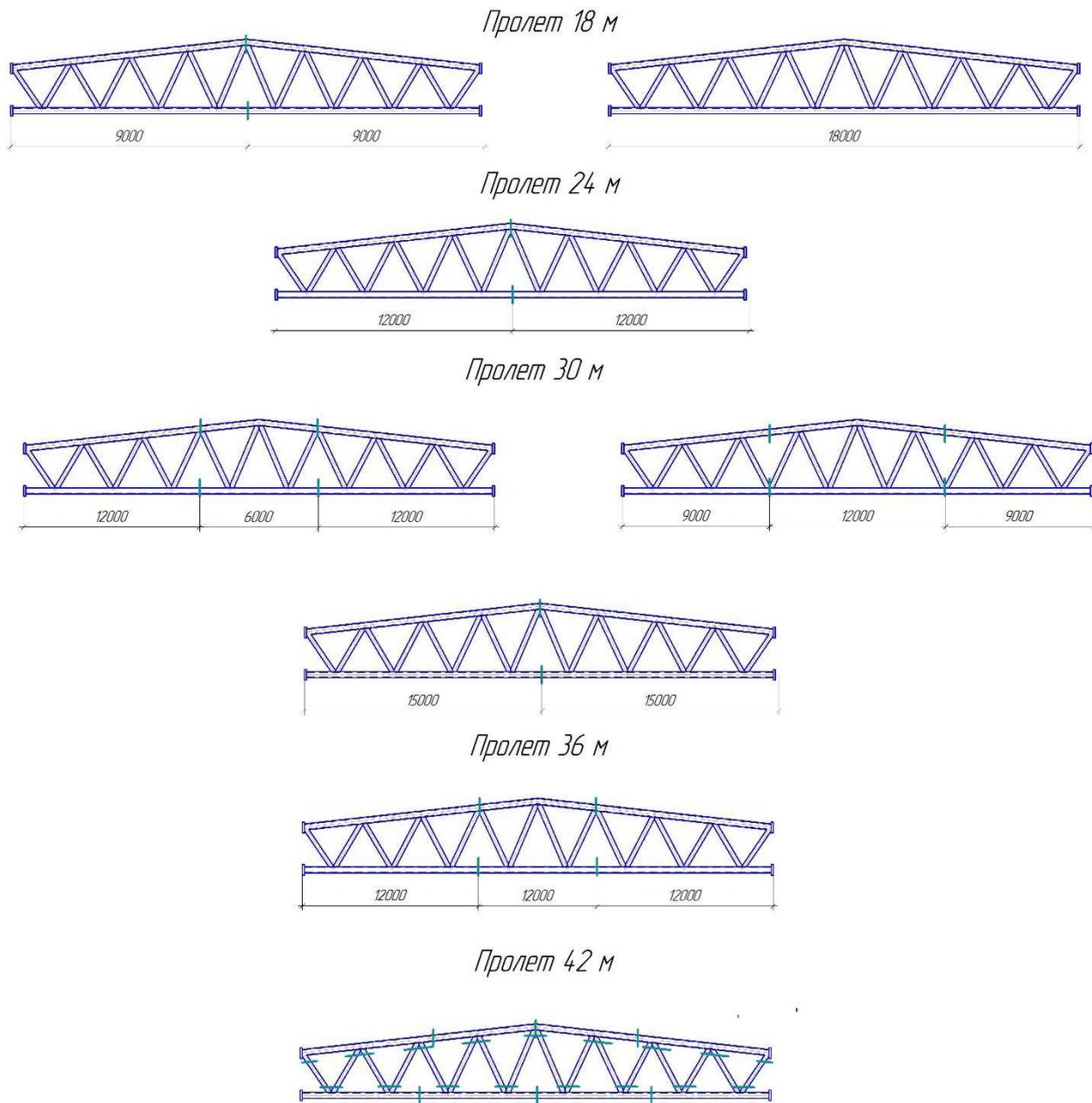


Рис. 6.27 Деление ферм на секции по длине

Фермы пролетом 18 м редко изготавливают целиком. Это делается для ускорения монтажа здания. Как правило, фермы в пролетах до 42 м имеют высоту 4,5-6 метров. Такие конструкции сложно и затратно транспортировать, поэтому всю ферму разделяют на отдельные элементы. Окончательную сборку и сварку производят на монтаже.

Все фермы, изготавливаемые секциями, собираются по «копиру»; меняются только размеры по ширине и длине секций. Сборка ферм «по копиру» начинается с разбивки схемы на сборочном стенде.

На схеме наносят осевые линии поясов и раскосов, линии расположения «обушков» всех уголков, контуры всех узловых фасонки, пробивают все центры отверстий на монтажном стыке и в местах крепления к колоннам. Полностью разбитая схема (рис. 6.28.). Схема сдается контролерам ОТК.

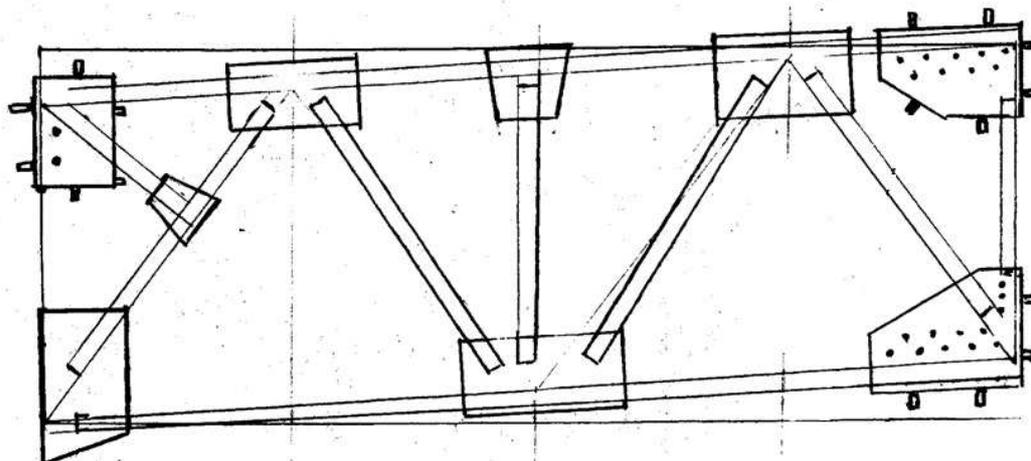


Рис. 6.28 Схема фермы, разбитая на сборочном стенде
Сборка «копира» производится в следующей последовательности:

- устанавливают ограничители на все узловые фасонки для того, чтобы они не сдвинулись со своего места при наложении поясов и раскосов;
- закладывают фасонки на свои места и прижимаются к ограничителям;
- осевые линии раскосов и обушков уголков обязательно пробивают за пределы контура фасонки. Закладывая фасонку на схему, мы закрываем всю разбивку в узлах (рис. 6.29.);

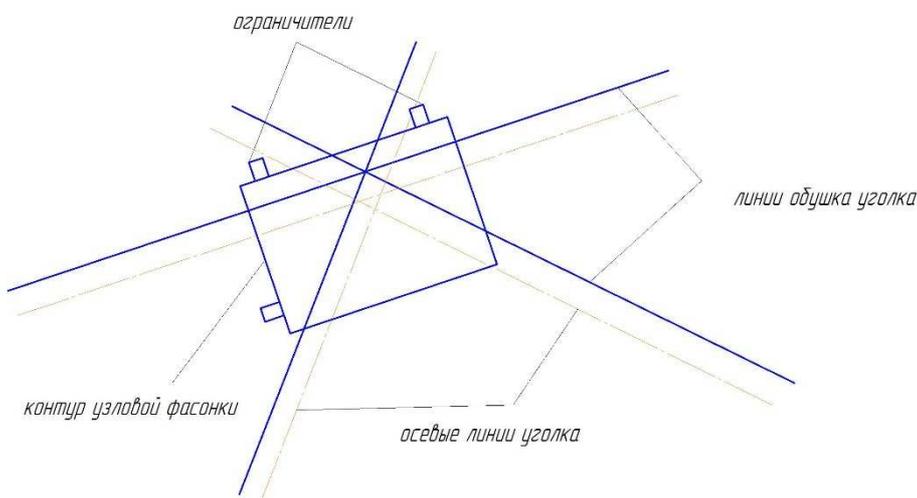


Рис. 6.29 Установка ограничителей и фасонки

- по имеющимся линиям на схеме восстанавливаем схему уже на плоскости фасонки, откладываем размеры от пересечения осевых линий для установки раскосов. Эту операцию проводим для всех фасонки схемы (рис. 6.30.);

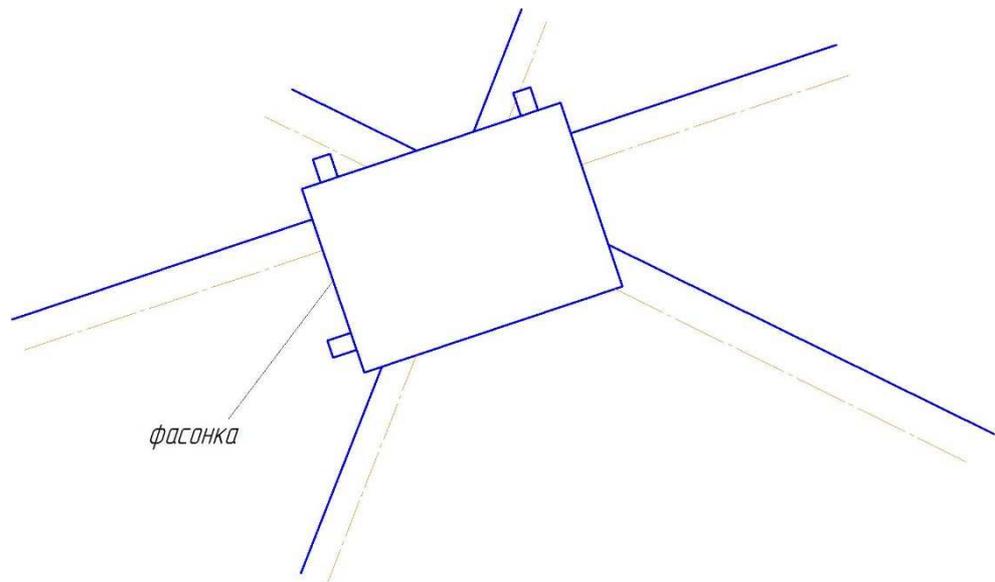


Рис. 6.30 Восстановление схемы на плоскости фасонок

- получив все размеры для расположения раскосов, устанавливаем их на свои места и прихватываем к фасонкам ручной или полуавтоматической сваркой (рис. 6.31.);

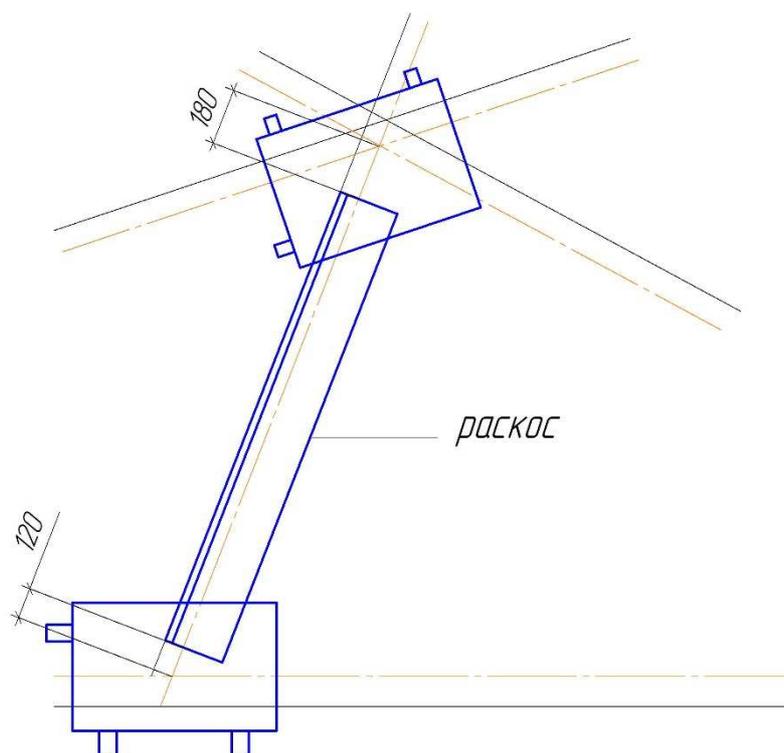


Рис. 6.31 Установка одного из стержней

- после этого на фасонки устанавливаем пояса фермы. Совмещаем центры отверстий на поясах с центрами отверстий на схеме.

В итоге получаем половину фермы (рис. 6.32.);

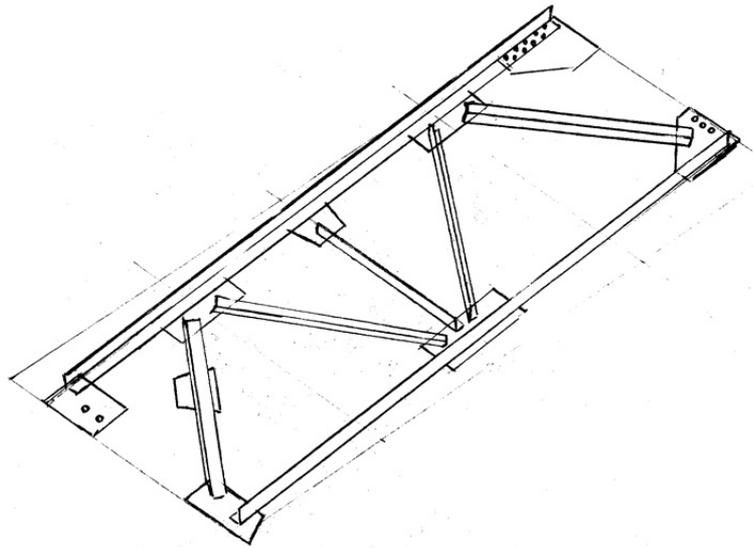


Рис. 6.32 Половина фермы

Эта половина фермы является «копиром», с которого будут собраны все остальные фермы, имеющие такие же размеры. «Копир» сдается ОТК. Частые проверки ОТК необходимы для предотвращения ошибок при сборке «копира», что, в свою очередь, может повлечь массовое производство конструкций с браком.

Копир переворачивается фасонками кверху.

На фасонки на копира устанавливаем еще один комплект фасонки. Фасонки с отверстиями фиксируем на пробки. На фасонки устанавливаем раскосы и пояса фермы и прихватываем их (рис. 6.33.).

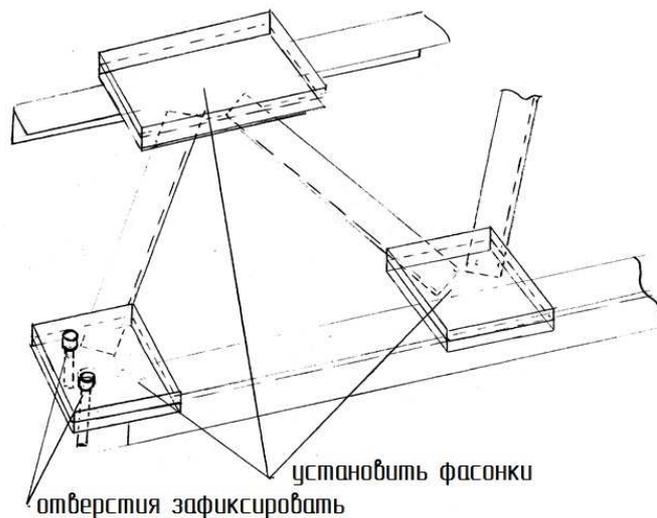


Рис. 6.33 Установка раскосов и поясов фермы

Получаем еще одну половину фермы. Её снимаем с «копира» и переворачиваем на 180 градусов, фасонками вверх (рис. 6.34).

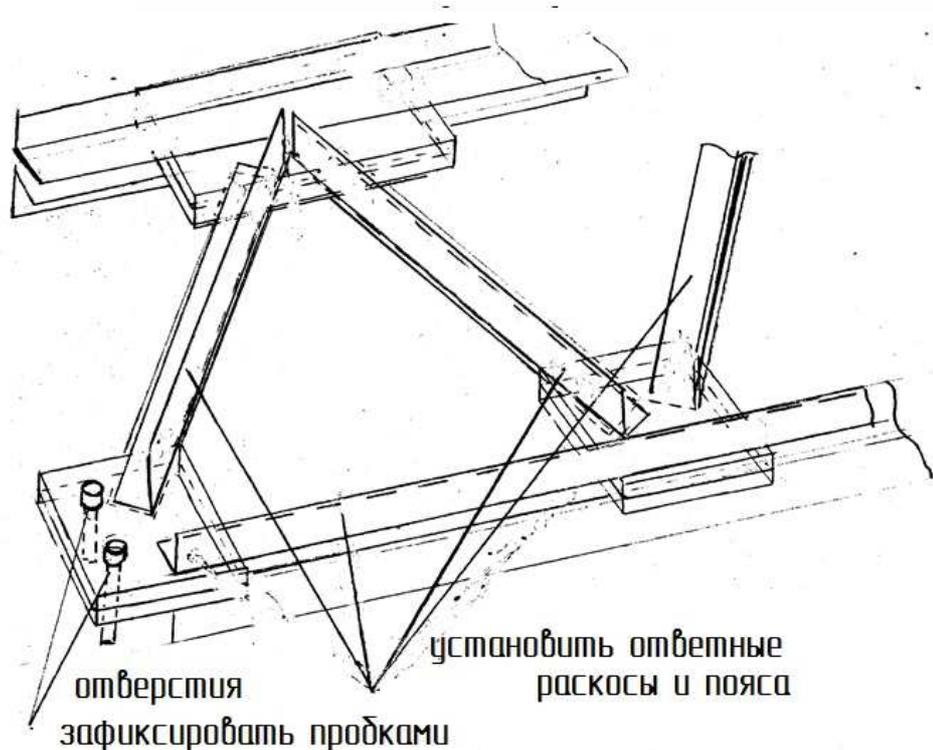


Рис. 6.34 Поворот половины фермы на 180 градусов

На полученную половину фермы устанавливаем комплект раскосов, поясов и фланцев. Таким образом, первая ферма будет готова, а «копир» так и останется в первоначальном виде и с него будут собраны все необходимые фермы. Самую последнюю ферму собирают из «копира». Таким образом можно собрать любые фермы из уголка. Фермы в пролетах 42 м, обычно, имеют высоту в коньке 4,5-6 м. Для того, чтобы можно было транспортировать такие фермы, их изготавливают из отдельных элементов.

Сборку производят по описанной последовательности. Разбивают схему, на которую, в первую очередь, устанавливают фасонки. Пояса к фасонкам прихватывают, а на раскосах совмещают отверстия для временных болтов с отверстиями на фасонках. Раскосы к фасонкам не прихватывают. В таком виде «копир» сдают в ОТК и затем разбирают.

В качестве «копира» используют только пояса с фасонками. Раскосы идут отдельными деталями без сборки. Собирают все секции пояса длиной 42 м по одной штуке и проводят полную контрольную сборку фермы с установкой временных болтов по раскосам. Если геометрические параметры фермы совпадают с проектными, ферму разбирают и начинают массовое изготовление ферм. На монтаж отдельно отправляют нижние пояса, верхние пояса и раскосы. Таким образом, решается проблема транспортировки негабаритных ферм. На монтаже производят такую же сборку на временных болтах с последующей сваркой раскосов.

6.2.2 Фермы из квадратных и прямоугольных труб

Этот вид ферм применяют чаще в зданиях складов, торговых центров, логистических центров, спортивных залов, бассейнов, аэропортов. Такие фермы применяют в зданиях с пролетами до 42 метров. Разбивка на секции аналогична фермам из уголков. Фермы пролетом 42 метра поставляют на монтаж поэлементно. Однако сборка таких ферм на монтаже значительно сложнее, поэтому в 42-метровых пролетах фермы из квадратных труб используют крайне редко. Сборку таких ферм производят по кондуктору. Всё начинается с разбивки схемы на сборочном стенде. На схеме разбивают осевые линии и контуры поясов, раскосов, контуры фланцев и осевые линии отверстий на фланцах (рис. 6.35.).

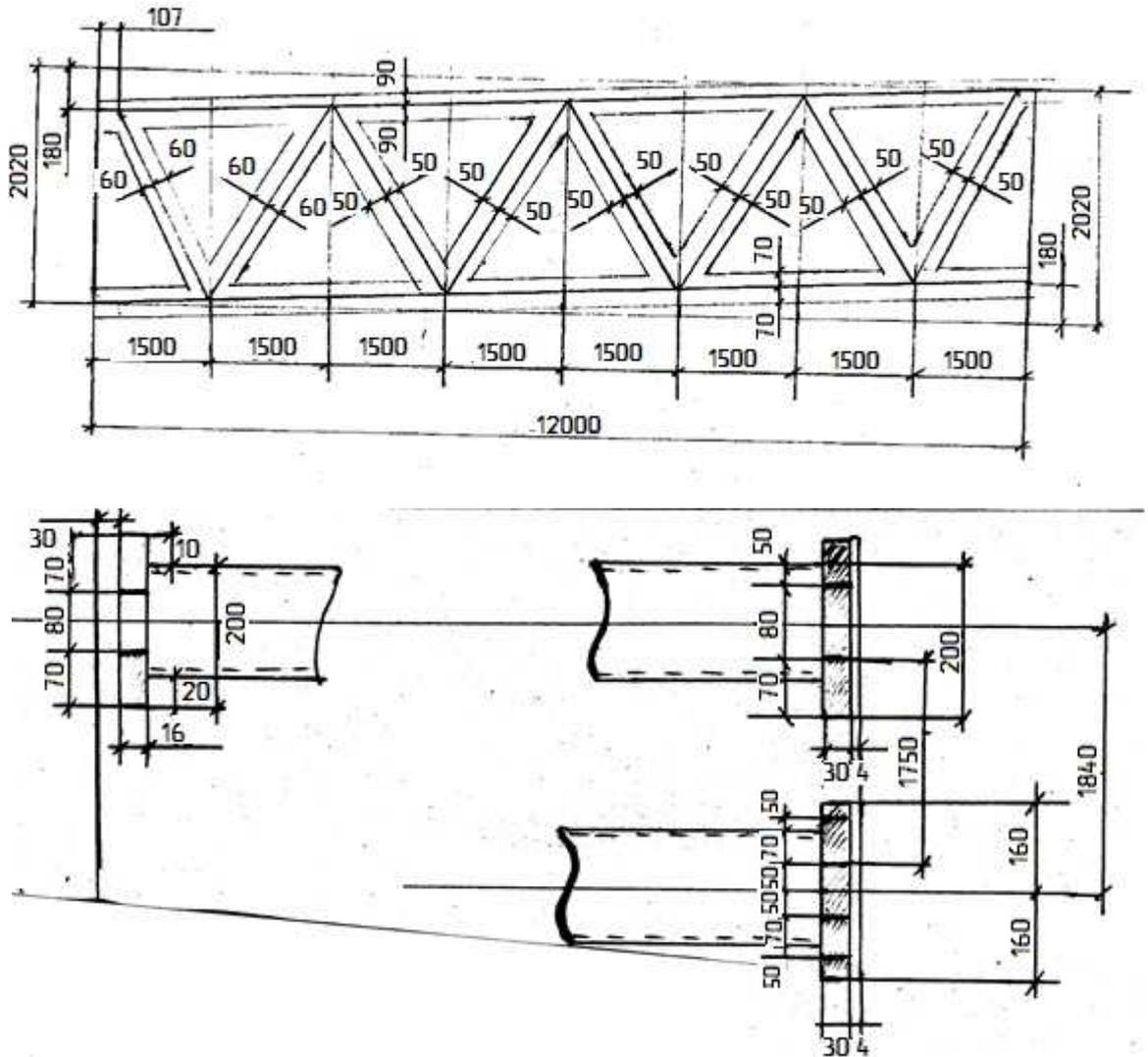


Рис. 6.35 Разбивка схемы фермы

Последовательность сборки кондуктора:

- на полученную схему устанавливают подложки из квадратной трубы (3-4 штуки по длине фермы) (рис. 6.36.);

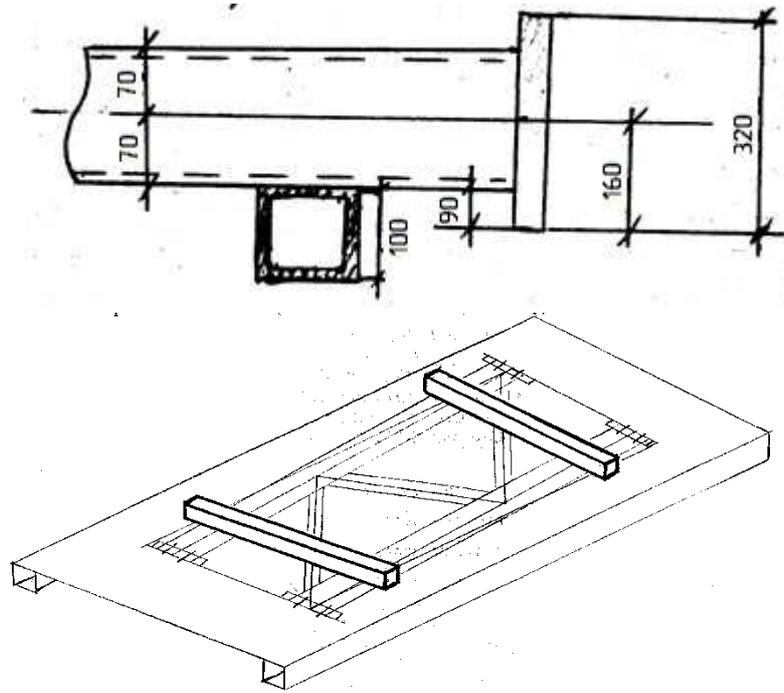


Рис. 6.36 Установка на схеме подложек

- на стенде устанавливают упоры по контуру поясов (рис. 6.37.);

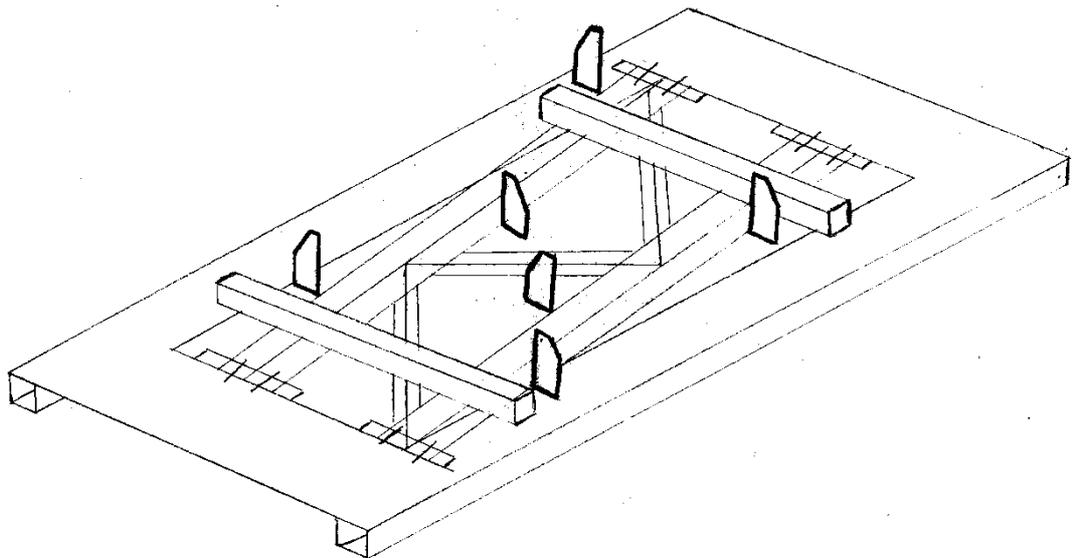


Рис. 6.37 Установка упоров по контуру поясов

- на подложки устанавливают пояса ферм и совмещают торцы поясов со схемой с помощью угольника (рис. 6.38.);

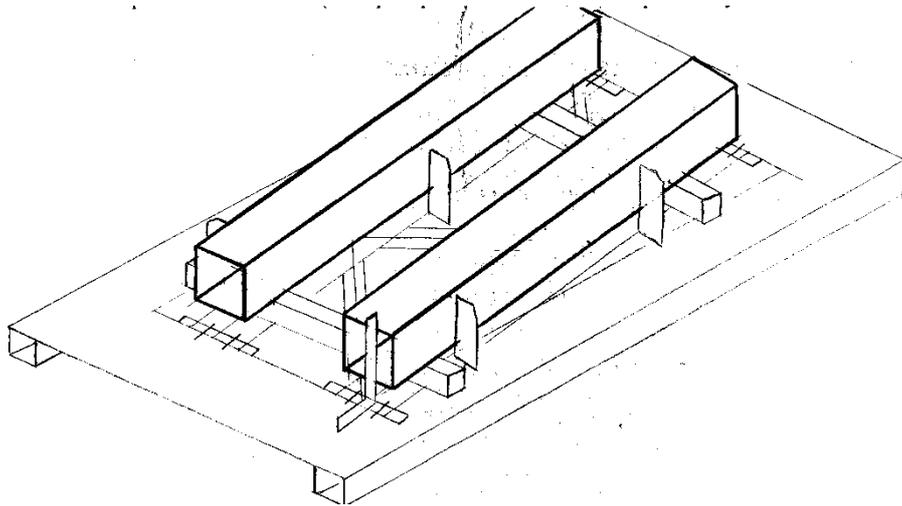


Рис. 6.38 Установка поясов ферм на подложки

- на фланцах с помощью шнура и мела пробивают осевые по отверстиям и контур пояса фермы для установки фланца (рис. 6.39.);

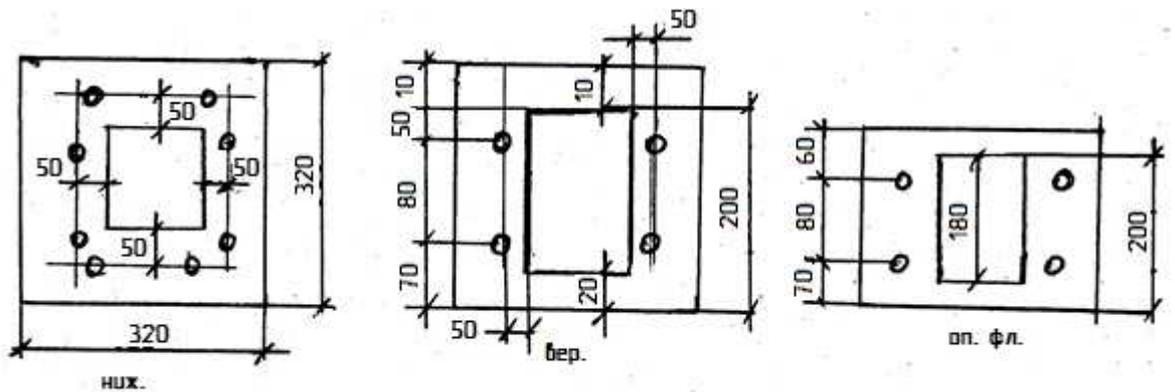


Рис. 6.39 Разбивка осевых по отверстиям

- для того, чтобы не держать в руках тяжелый фланец, на него прихватывают небольшие детали (рис. 6.40.);

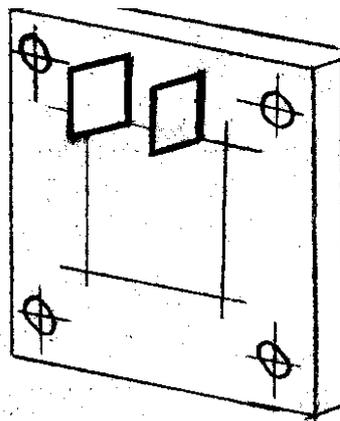


Рис. 6.40 Установка небольших деталей

- фланцы устанавливают на пояса ферм и совмещают осевые по отверстиям с осевыми на схеме (рис. 6.41.);

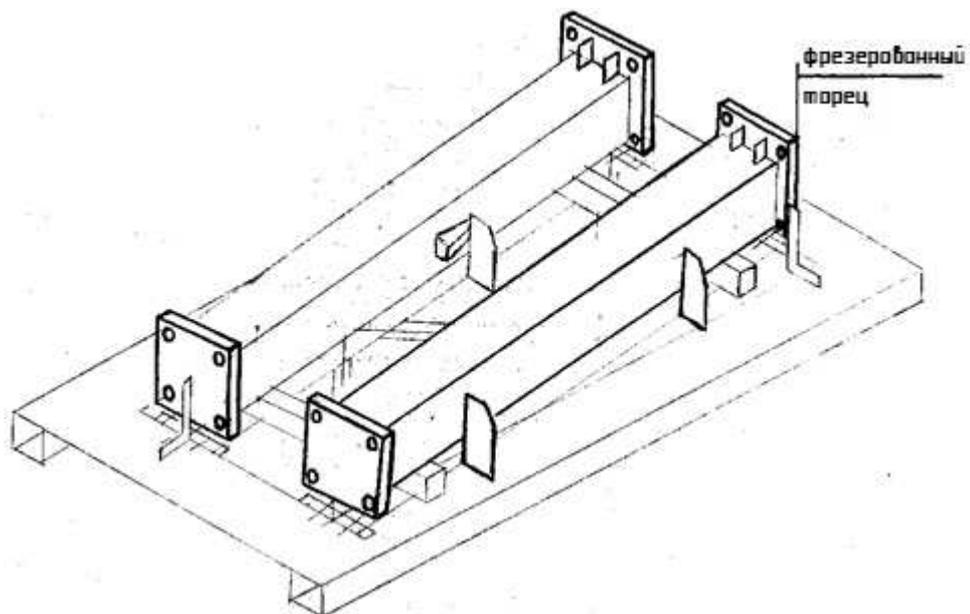


Рис. 6.41 Установка фланцев на пояса схемы

- проверяют перпендикулярность установки фланца с помощью угольника или отвеса;
- на фланцы закрепляют еще по одному такому же фланцу (рис. 6.42.);

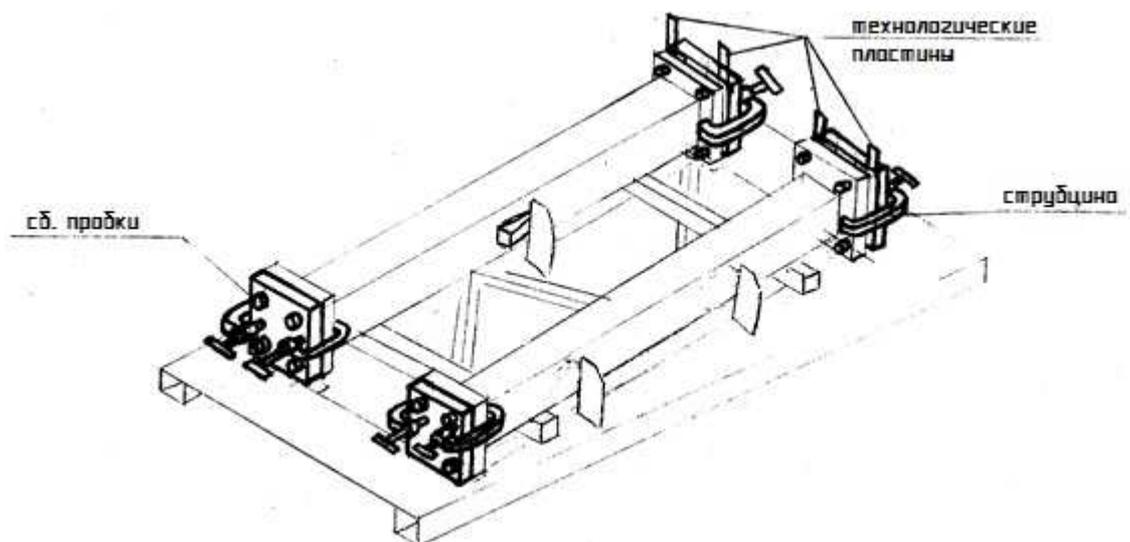


Рис. 6.42 Установка дополнительных фланцев

Отверстия совмещают на сборочных пробках. Между собой фланцы стягиваются струбцинами. С одной стороны фермы фланцы соединяются плотно друг к другу (рис. 6.43.);



Рис. 6.43 Соединение фланцев

С другой стороны, между ними устанавливают технологические пластины толщиной 6-10 мм. Все пластины должны быть одной толщины.

- вторые фланцы будут деталями кондуктора и их необходимо закрепить к стенду с помощью технологических пластин, которые прихватывают к фланцу и стенду ручной сваркой (рис. 6.44.);

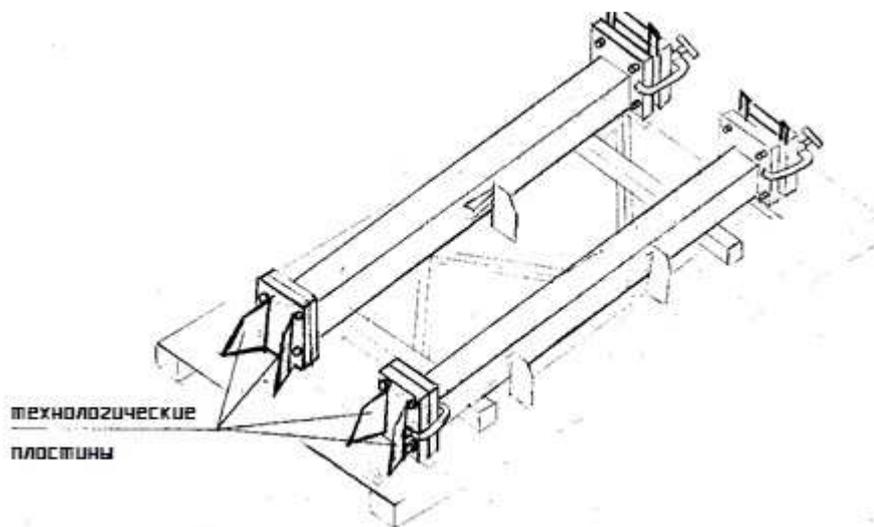


Рис. 6.44 Установка и прихватка к стенду вторых фланцев

- для установки раскосов на схему к стенду приваривают упоры. Раскосы, как правило, выполняются из меньшего профиля, поэтому на поясах пробиваются линии установки раскосов по высоте. Их устанавливают 3 сборщика, два из которых прижимают раскос к упорам и вы-

равнивают его по линии установки к поясу, а третий сборщик прихватывает раскос к поясам;

- для того, чтобы на следующих фермах не разбивать линию установки раскосов к поясу, под всеми раскосами привариваются листовые подкладки;

- для извлечения фермы из сборочного кондуктора освобождают все фланцы от струбцин и пробок. На тех фланцах, где были установлены технологические пластины, их выбивают, образовав зазор, который позволит вывести ферму из кондуктора;

- для окончательной проверки правильности сборки ферм в кондукторе изготавливают по одной секции и производят контрольную сборку фермы целиком. Контрольные сборки проводят для каждой 10-ой изготовленной фермы (для периодического контроля партии).

В 42-метровом пролёте иногда применяют фермы из квадратных и прямоугольных труб. Такие фермы, обычно, выходят за рамки транспортных габаритов по ширине, поэтому их также изготавливают из отдельных элементов.

К поясам приваривают узловые фасонки, на раскосах выполняют прорези для установки на фасонки. Такой способ разделения ферм приводит к очень высокой трудоемкости сборки на монтаже, большому объему сварочных работ, а также влечет за собой необходимость привлечения высококвалифицированного персонала. По сути, на монтажной площадке нужно организовывать сборочный стенд. К тому же есть еще одна особенность: при выполнении прорези на трубе происходит её сужение (рис. 6.45.).

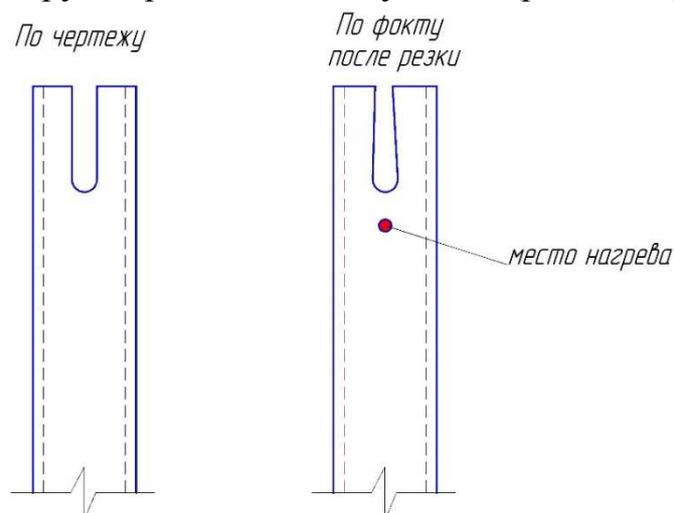


Рис. 6.45 Сужение прорези после резки

После резки ширина прорези на 5-7 мм меньше из за сварочных деформаций. Установить такие раскосы на фасонки невозможно. При сборке таких узлов на заводах используют следующий способ. На конце прорези с обеих сторон квадратной трубы производят прогрев газовым резаком. В результате

прогрева прорезь раскрывается и раскос сразу же нужно устанавливать в проектное положение. При остывании прорезь снова смыкается и прогон фиксируется на фасонке. После этого раскос обваривается. Далеко не все монтажные бригады обладают знаниями и средствами для качественной сборки подобных конструкций. Поэтому на пролетах 42 м они используются крайне редко.

6.2.3 Фермы из круглых труб

Эти фермы делятся на 2 категории:

- фермы, применяемые в зданиях со сравнительно небольшими пролетами 18-36 метров. Фермы целиком изготавливают на заводах металлоконструкций в виде сваренных секций, пригодных для транспортировки автомобильным и ж\д транспортом;
- фермы, применяемые в большепролетных зданиях, на стадионах, в аэропортах и других сооружениях, которые изготавливают отдельными элементами, так как из-за своих больших размеров они непригодны к транспортировке секциями.

Фермы, собираемые целиком на заводах, практически ничем не отличаются от ферм из квадратной трубы. Единственное отличие – для изготовления деталей из круглых труб заводу необходимо иметь специализированный станок с ЧПУ, на котором можно вырезать детали примыкания круглых труб друг к другу. Трубы, как правило, разного диаметра и примыкают друг к другу под разными углами (рис. 6.46.).



Рис. 6.46 Примыкание труб друг к другу

Обязательным условием при сборке ферм из круглой трубы является плотное примыкание деталей друг к другу. Зазоры между деталями более 2 мм недопустимы.

Фермы из круглой трубы, поставляемые на монтаж отдельными элементами обычно имеют очень большие размеры. Часто из круглых труб выполняются несущие конструкции покрытий стадионов (рис. 6.47.).



Рис. 6.47 Стадион «Открытие арена»

Для каждого элемента фермы устанавливают сборочный кондуктор (рис. 6.48.).

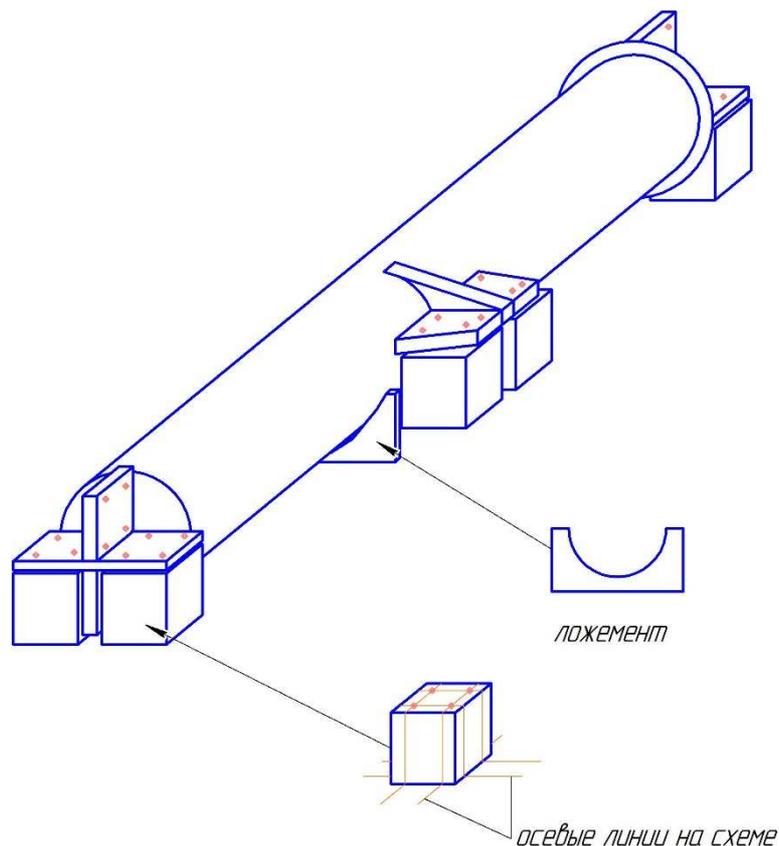


Рис. 6.48 Установка сборочного кондуктора

На стенде разбивают схему со всеми осевыми линиями по отверстиям. Изготавливают «тумбочки» с отверстиями. Плоскости «тумбочек» со всех сторон фрезеруют, а отверстия сверлят только на станках с ЧПУ. По центрам отверстий, а также по вертикальным плоскостям «тумбочки» пробивают линии. Эти линии совмещают с линиями отверстий, пробитыми на схеме. Так выставляют все тумбочки, необходимые для сборки элемента. Производят также невилировку всех «тумбочек» по горизонтали, а затем их приваривают к стенду. Устанавливают ложементы для поддержания трубы в горизонтальном положении. Для раскосов принцип сборки в кондукторах такой же, только нет боковых элементов и размеры трубы и фасонки меньше. В покрытии стадиона таких элементов - тысячи, соответственно, нужно большое количество сборочных стендов и квалифицированных сборщиков. За изготовление таких объектов берутся, как правило, самые опытные заводы. После изготовления обязательно производят контрольную сборку. Сборка производится в части покрытия. Для этой операции требуется бетонная или асфальтированная площадка размером не меньше футбольного поля. Контрольная сборка представляет из себя крупную монтажную операцию с привлечением башенных и автомобильных кранов. Сборку проводят силами нанятой монтажной организации.

Такая контрольная сборка-это грандиозное событие для завода-изготовителя, потому что в этот момент проверяют точность изготов-

ления всех элементов, которые изготавливались в течении нескольких месяцев. От результатов этой сборки зависит дальнейшая работа завода по изготовлению остальных частей стадиона (рис. 6.49.).



Рис. 6.49 Контрольная сборка стадиона «Открытие арена». Изготавливал завод «Курганстальмост».

6.2.4 Фермы из сварных и прокатных двутавров

Эти фермы делятся на 2 категории:

- изготавливаемые сварными секциями;
- изготавливаемые из отдельных элементов.

Сборка ферм сварными секциями производится так же, как и фермы из квадратных труб. Сначала разбивают схему, устанавливают ответные фланцы кондуктора и ограничители с подложками для раскосов (рис. 6.50.).



Рис. 6.50 Установка ответных фланцев кондуктора и ограничителей с подложками для раскосов

Часто в таких фермах встречается комбинированное использование раскосов. Тяжело нагруженные раскосы изготавливают из двутавров, а менее нагруженные - из квадратных труб (рис. 6.51.).



Рис. 6.51 Конструкция раскосов

Эти фермы изготавливают из более мощных профилей и, соответственно, могут удерживать большие нагрузки по сравнению с фермами из уголка и квадратной трубы. Такие фермы используют в пролетах зданий до 54-60 метров шириной. Фермы из двутавров могут быть объемными, но, в отличие от ферм из круглой трубы, они бывают только четырехплоскостными.

Большие возможности для применения в большепролетных зданиях нашли фермы из прокатных и сварных двутавров, изготавливаемых отдельными элементами. Это один из самых применяемых видов ферм для покрытий стадионов, аэропортов, ангаров, производственных цехов в авиастроении, судостроении и металлургии (рис. 6.52.). Крепление элементов производят на высокопрочных болтах и накладках.



Рис. 6.52 Узел большепролетного здания

Пояса ферм могут быть прокатными или сварными. Чаще встречаются сварные пояса, так как проектные организации не ограничены сортаментом, который производят металлургические комбинаты. При использовании сварных двутавров можно свободно прибавлять ширину полок, высоту стенки и толщины этих элементов.

Стволы ферм изготавливают как стандартные сварные двутавры, с условием более точного изготовления профиля самой балки в монтажном узле и в местах примыкания консоли (рис. 6.53.).

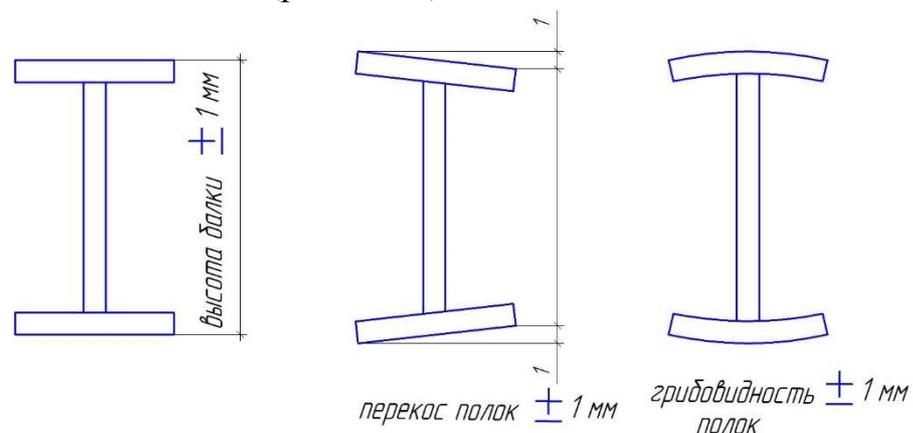


Рис. 6.53 Ствол ферм и возможные дефекты

Пояса ферм из сварных двутавров фрезеруют по торцам в размер. Сверление выполняют обязательно на станках с ЧПУ. Раскос представляет собой

балку с отверстиями. Консоли изготавливают отдельными листовыми деталями на станках с ЧПУ. В таких конструкциях основное внимание уделяют расположению отверстий. Поэтому сверление по разметке запрещено. Крепление раскосов к поясу фермы и поясов между собой по длине производят на накладках. При изготовлении большого количества одинаковых секций поясов ферм на стенде собирают кондуктор (рис. 6.54.).

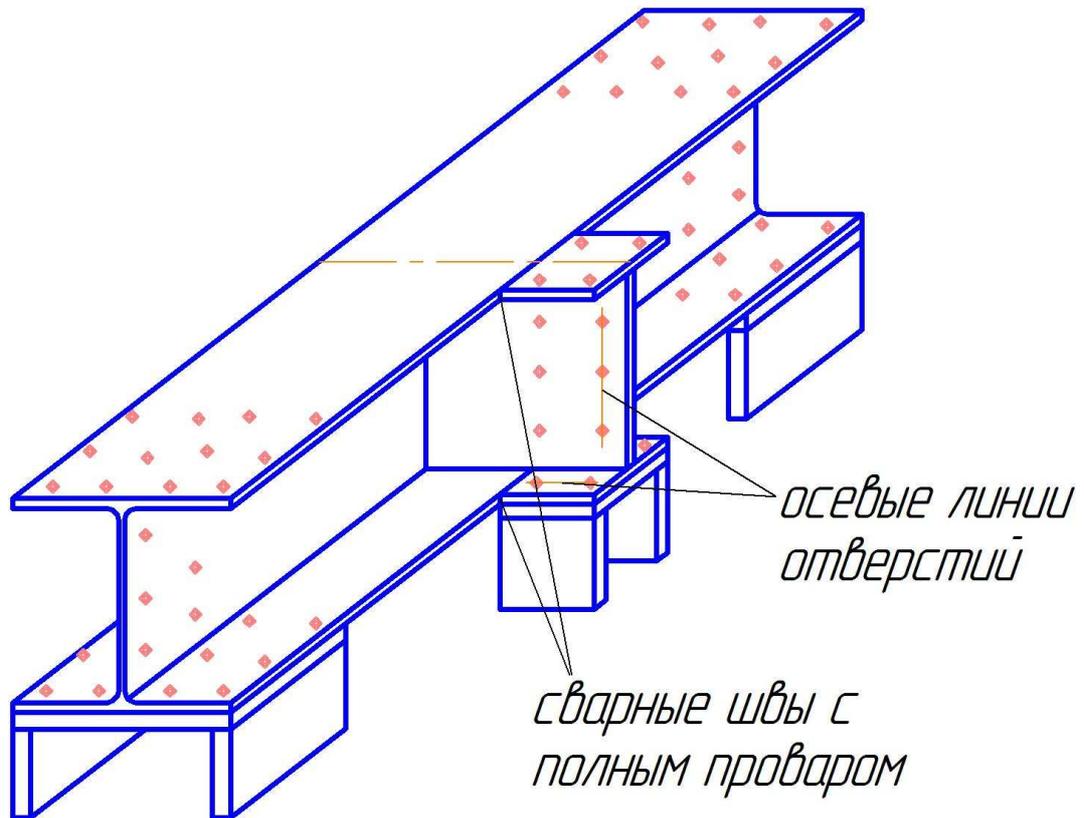


Рис. 6.54 Сборка кондуктора

Все «столики» кондуктора нивелируют в одну плоскость. На деталях консолей пробивают шнуром и мелом осевые линии отверстий. При сборке осевые линии точно совмещают между собой. Вертикальность установки стенки консоли проверяют отвесом. По такой технологии собирают все консоли. Часто вместо нескольких консолей применяют узловые вставки на полке поясов (рис. 6.55.). Принцип сборки тот же, только вместо трех отдельных «стульчиков» можно поставить на кондуктор одну узловую вставку. Фермы из сварных и прокатных балок используют в пролетах до 90-100 метров.

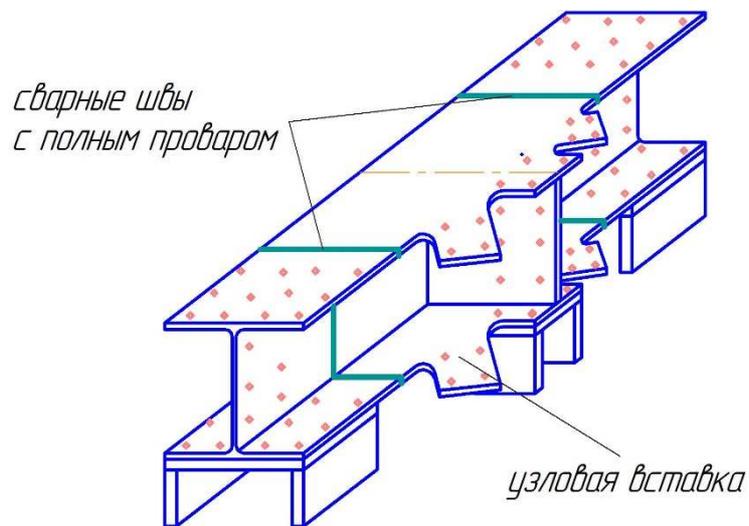


Рис. 6.55 Узловая вставка

Иногда в качестве раскосов на фермах могут быть использованы квадратные трубы. В качестве примера, можно привести конструкции олимпийских трамплинов «Русские горки» в г. Сочи. Криволинейные поверхности зоны разгона и зоны приземления выполнялись из продольных ферм двутаврового сечения длиной 60 и 107 метров. Наибольшая ширина ферм составляла 8 метров. В качестве поясов были использованы криволинейные сварные двутавры. В качестве раскосов – квадратная труба. В зоне разгона располагались 4 продольные фермы, в зоне приземления – 7. Для изготовления криволинейных сварных двутавров применяется следующий метод:

- вертикальную стенку двутавра вырезают криволинейной на газорезательной машине с ЧПУ. Если кривизна стенки большая, то её делают из 2-3 деталей, чтобы уменьшить отходы металла (рис. 6.56.).

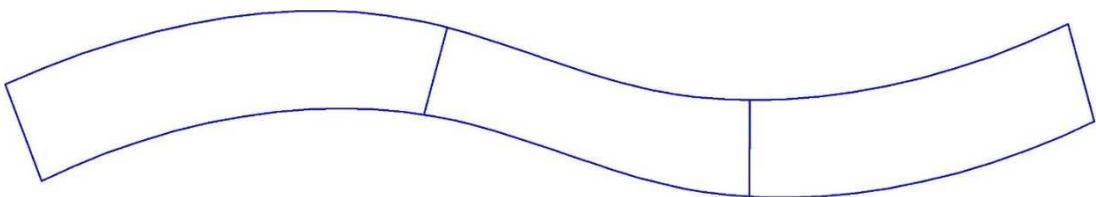


Рис. 6.56 Вертикальная стенка двутавра

- полки после резки отправляют на подвальцовку, примерно по контуру стенки. Полки толщиной до 16 мм не вальцуют. Их прижимают к стенке с помощью упора и клина, который забивают кувалдой;
- сварка таких элементов возможна на сварочных станках автоматической сварки с электронной системой слежения за дугой и формой профиля. Не имея таких машин, выполнить сварку криволинейных двутавров можно только с помощью полуавтомата. Это увеличивает время данной операции в 3-4 раза. В продольной ферме трамплина нет ни одного одинакового участка. Каждая секция пояса продольной фермы имеет свою кривизну. Пояса ферм изготавливали со схем, без кон-

дукторов. Расположение отверстий на столиках проверяли с осевыми линиями отверстий на схеме с помощью отвеса. Металлоконструкции для данного объекта изготавливал «Кулебакский завод металлоконструкций» (рис. 6.57.).

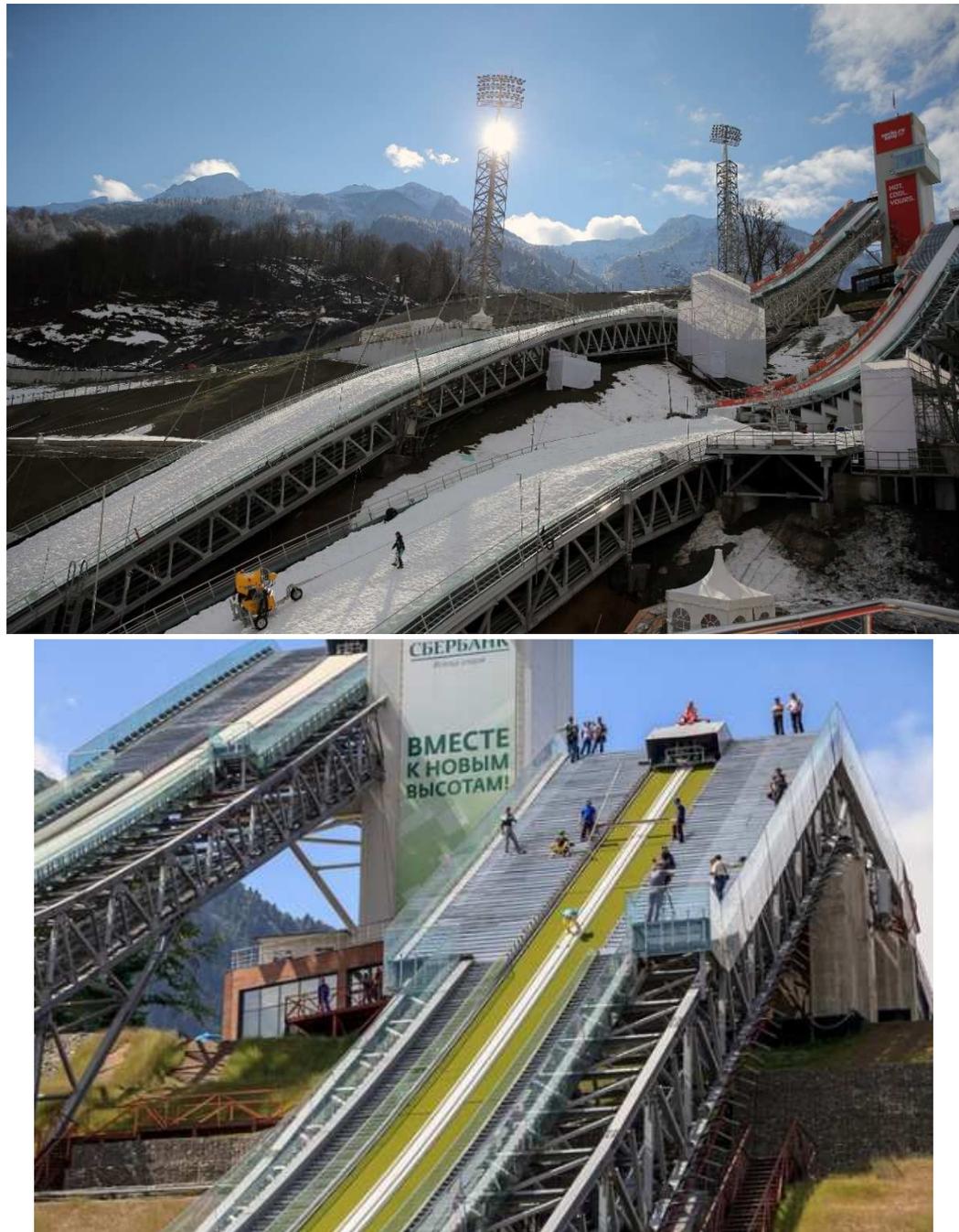


Рис. 6.57 Трамплины «Русские горки» в г. Сочи.

6.2.5 Арочные и хребтовые фермы

Арочные фермы являются главными несущими элементами большепролетных зданий. Они воспринимают снеговую нагрузку и нагрузку от веса всех вспомогательных конструкций. По сути, это те же фермы из двутавров, только имеющие верхний пояс в виде арки. Такие фермы применяют на пролетах зданий до 100 метров. Элементы таких ферм, как правило, очень мас-

сивные и выполнены из стали повышенной прочности (С 345, С 390, С440 и др.). Рассмотрим конструкцию покрытия главного сборочного цеха одного из авиационных заводов. Пролет цеха составляет 96 метров, высота фермы - 16 метров (5 этажный дом), длина цеха - 324 метра. Как видно из 3D модели, всё покрытие над этим цехом держат 16 арочных ферм (рис. 6.58).

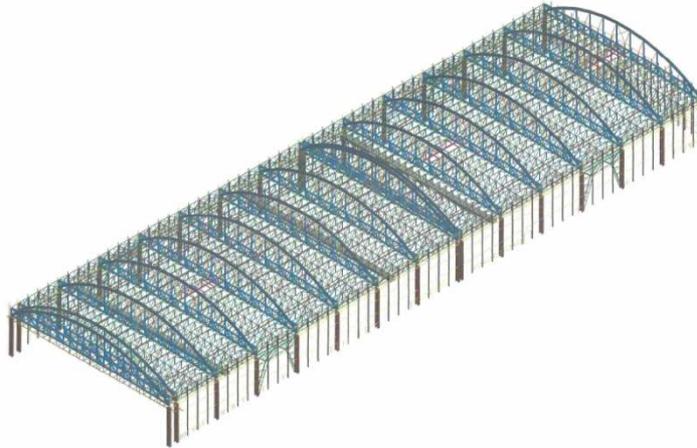


Рис. 6.58 Конструкция покрытия цеха

Каждая ферма состоит из трёх поясов из сварных двутавров (рис. 6.59).

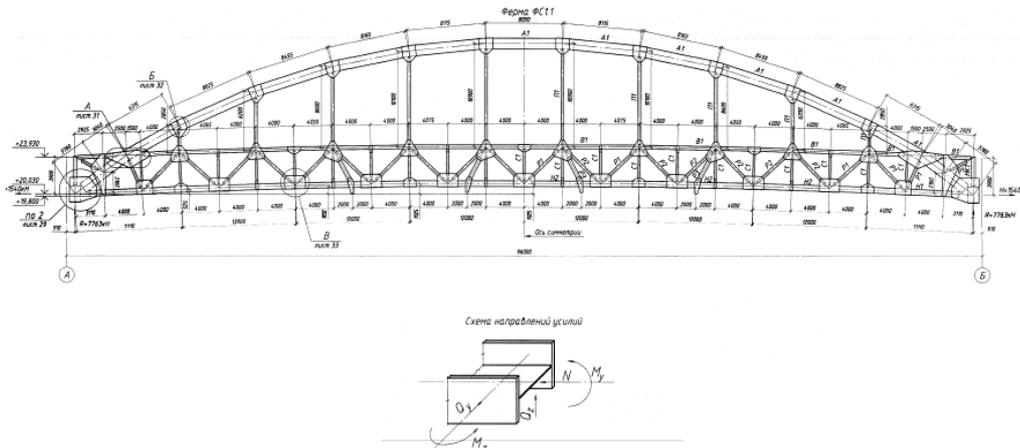


Рис. 6.59 Пояса из сварных двутавров покрытия цеха

Пояса состоят из отдельных элементов. Арочный пояс – из 13 элементов, соединенных между собой на накладках и высокопрочных болтах. Для удержания таких больших нагрузок на пролете применяют огромное количество болтов. В узловой фасонке, которая соединяет арочный пояс с опорной стойкой фермы использовано около 500 болтов. И это только по одной полке двутавра (рис. 6.60.).

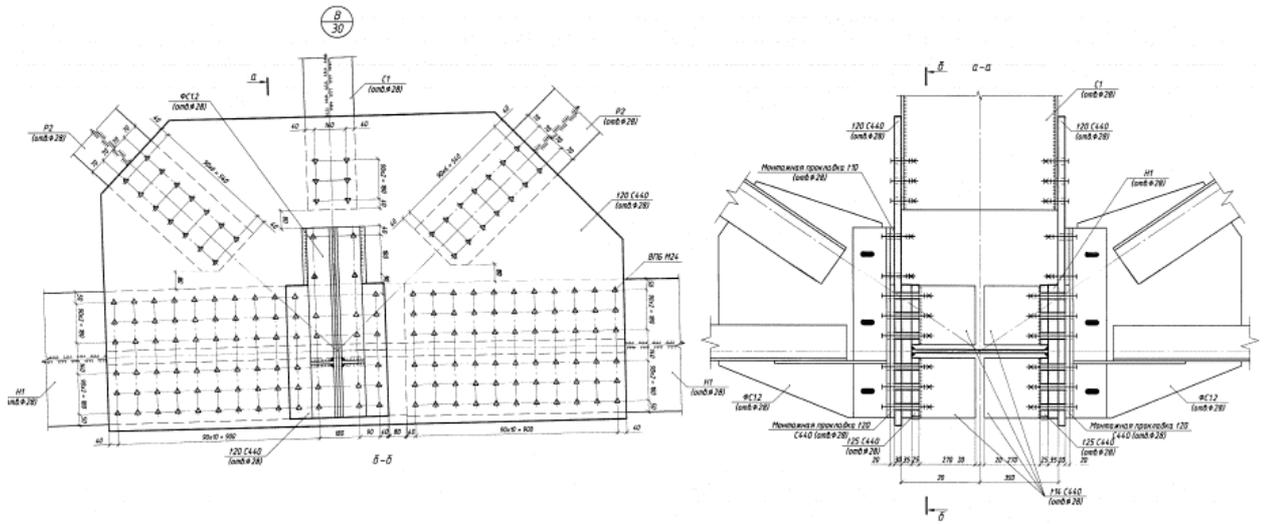


Рис. 6.60 Расположение высокопрочных болтов на узловой фасонке
Узловая фасонка имеет размеры 2700x3800 мм. В рядовой фасонке, к которой приходит раскос, 180-200 болтов в соединении (рис. 6.61.).

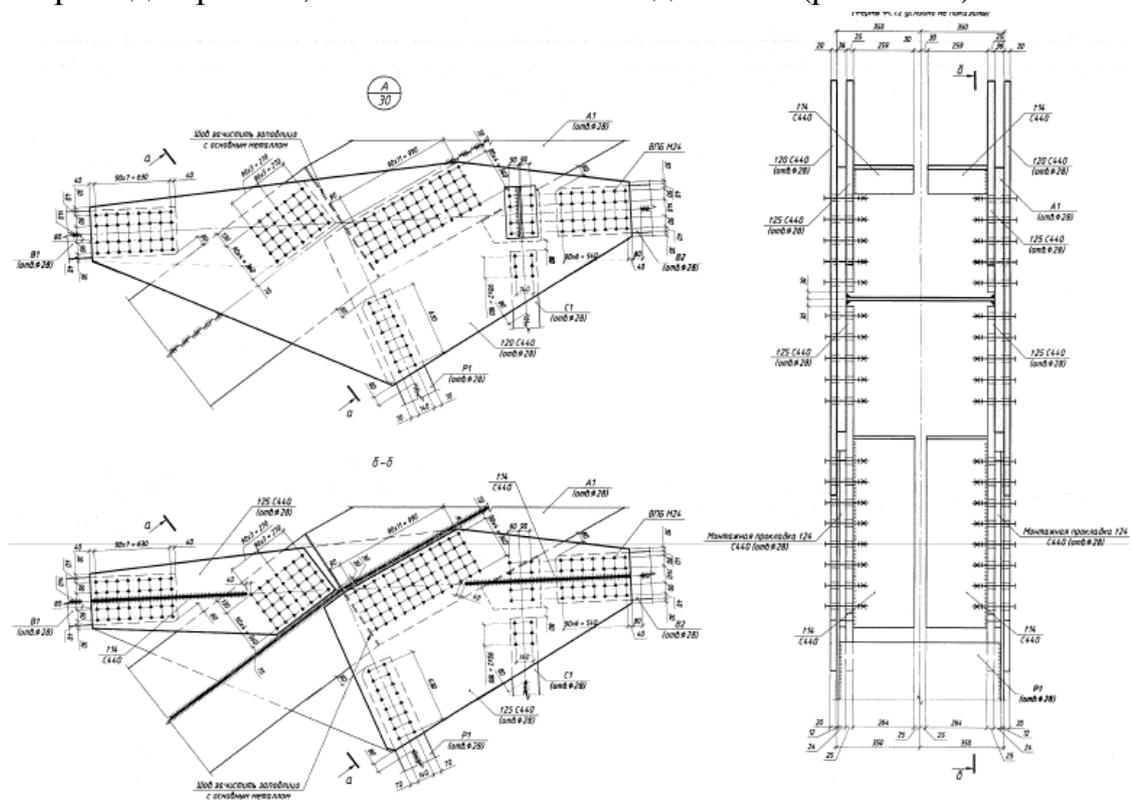


Рис. 6.61 Рядовая фасонка арочной фермы

В одной арочной ферме 7500-8000 болтов. Для изготовления таких конструкций заводу придется просверлить отверстий в 3 раза больше, чем болтов, потому что отверстия сверлятся в двутаврах и в двух накладках, которые устанавливаются в соединении. Соответственно, заводу-изготовителю придется просверлить около 24 000 отверстий для изготовления одной фермы. Всего по 16 фермам будет примерно 380 000 отверстий. Изготовить такие конструкции сможет только завод, обладающий большим количеством свер-

лильных станков с ЧПУ. Процесс сборки элементов арочных ферм повторяет сборку ферм из двутавров. После полной сборки всех элементов и изготовления всех фасонки будет проходить полная контрольная сборка конструкции длиной 96 метров и шириной 16. Только крупным заводам под силу справиться с такими объектами. В целом арочные фермы позволяют выполнять покрытия над большепролетными зданиями различного назначения - спортивные стадионы, в том числе и футбольные с полным закрытием поля, крупные бассейны, ледовые арены, аэропорты и производственные здания.

Хребтовые фермы, как правило, объёмные четырехплоскостные фермы из двутавров, самые массивные и большие по размерам среди ферм. В покрытии используют 1 или 2 фермы. Проходят они по центру и к ним присоединяются все вспомогательные фермы, которые образуют покрытие. Применяют такие фермы на покрытиях спортивных сооружений, ледовых арен, бассейнов и др. Пример- ледовая арена «Дизель» г. Пенза (рис. 6.62.).



Рис. 6.62 Ледовая арена «Дизель» г. Пенза

На фото показана только одна плоскость хребтовой фермы. Две плоскости между собой скрепляются раскосами из двутавров. Крепление раскосов производят на высокопрочных болтах. Такая ферма имеет очертание арки большого радиуса. Еще одним ярким объектом применения хребтовых ферм является главный олимпийский стадион «Фишт» в г. Сочи (рис. 6.63.).

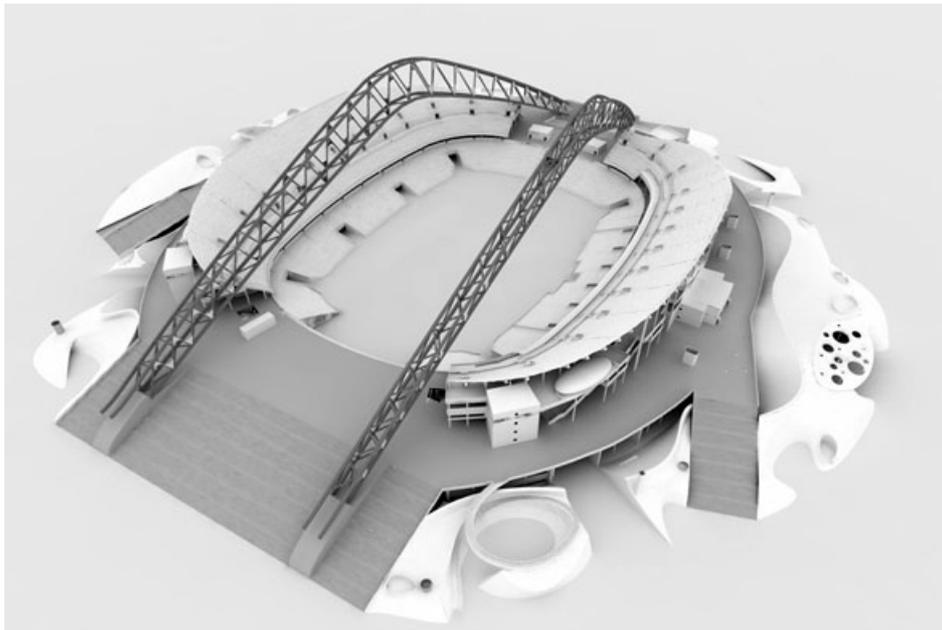


Рис. 6.63 Олимпийский стадион «Фишт» г.Сочи

Здесь мы видим 2 хребтовые фермы, образующие основу для покрытия над двумя трибунами. Длина фермы - около 480 метров. Высота - 60 метров. Это один из самых больших образцов хребтовых ферм в России. Они представляют собой четырёхплоскостные арочные фермы из двутавров, состоящие из множества отдельных элементов, соединённых огромным количеством высокопрочных болтов. Их количество исчисляется миллионами. Это грандиозное сооружение изготавливали 3 завода. Хребтовые фермы изготавливал «Курганстальмост». Вспомогательные фермы и другие конструкции изготавливали «Нижнетагильский завод металлоконструкций» и завод «Тюменьстальмост». Это одни из самых крупных заводов в стране. Кроме трудоемкого изготовления конструкций при возведении этого объекта был также крайне сложным монтаж конструкций. Для установки всех элементов фермы пришлось изготовить не одну тысячу тонн вспомогательных конструкций, на которые опирались секции фермы (рис. 6.64.).



Рис. 6.64 Строительство олимпийского стадиона «Фишт» г.Сочи

Задействованы десятки кранов и другой техники. Этот объект был возведен в результате работы десятков тысяч человек в течении трёх лет. Аналогом объёмных ферм из двутавров являются также конструкции пролетных строений, автомобильных и ж\д мостов (рис. 6.65.).



Рис. 6.65 Железнодорожный мост

При сравнительно небольших пролетах между опорами (40-60 метров) пролетные строения прямые, а при больших пролетах они усиливаются арочными поясами или расширяются к центру.

Одним из примеров применения объёмных ферм из двутавров в мостовых сооружениях является метромост в г. Нижний Новгород. Конструкции для него изготавливал завод «Воронежстальмост» в течении двух лет. Пояса объёмных ферм представляют собой двутавры с узловыми вставками. В качестве раскосов выступают сварные двутавры с группами отверстий по торцам. Для соединения элементов конструкций моста было использовано 3-5 миллионов болтов (рис. 6.66.).

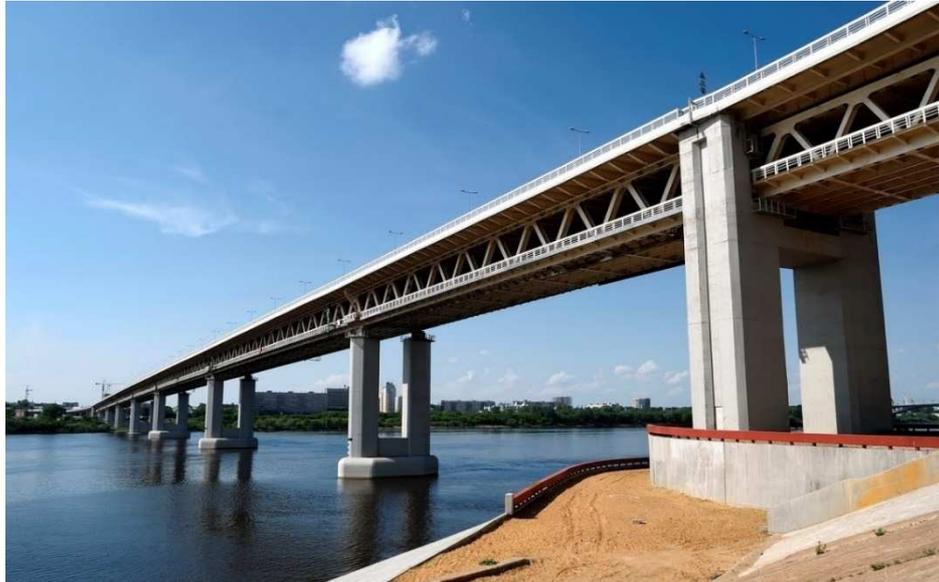


Рис. 6.66 Метромост в г. Нижний Новгород

6.3 Покрытия из сварного двутавра переменного сечения

Балки покрытия переменного сечения совместно с колоннами, также переменного сечения, создают несущую раму здания (рис.6.67.).



Рис. 6.67 Несущая рама здания

Рамы выставляют через определенное расстояние (чаще 6-12 метров). Между собой рамы соединяют связями, распорками, прогонами и ригелями фахверка. В таких зданиях очень много одинаковых элементов. Их преиму-

Чем больше пролет здания, тем больше сечение элементов, больше их количество и больше болтов во фланцевых соединениях. При производстве конструкций таких зданий есть свои особенности:

- уклон покрытия создается формой стенки двутавра. По ней устанавливают полки двутавра. Стволы балок изготавливаются с припуском на фрезерование по 10-15 мм на каждую сторону (рис.6.69.).

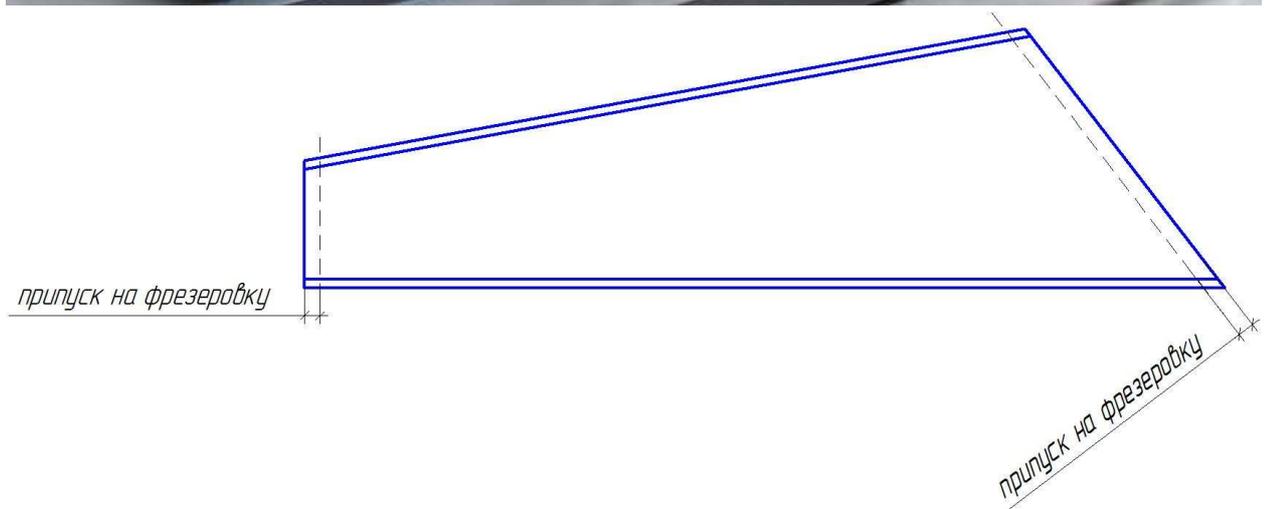


Рис. 6.69 Уклон стенка двутавра

- после получения ствола балки его фрезеруют по обоим торцам, согласно размерам чертежа;
- для получения одинаковых элементов несущих рам изготавливают сборочные кондукторы на каждый элемент с установкой ответных фланцев по предварительно разбитой схеме (рис.6.70.).

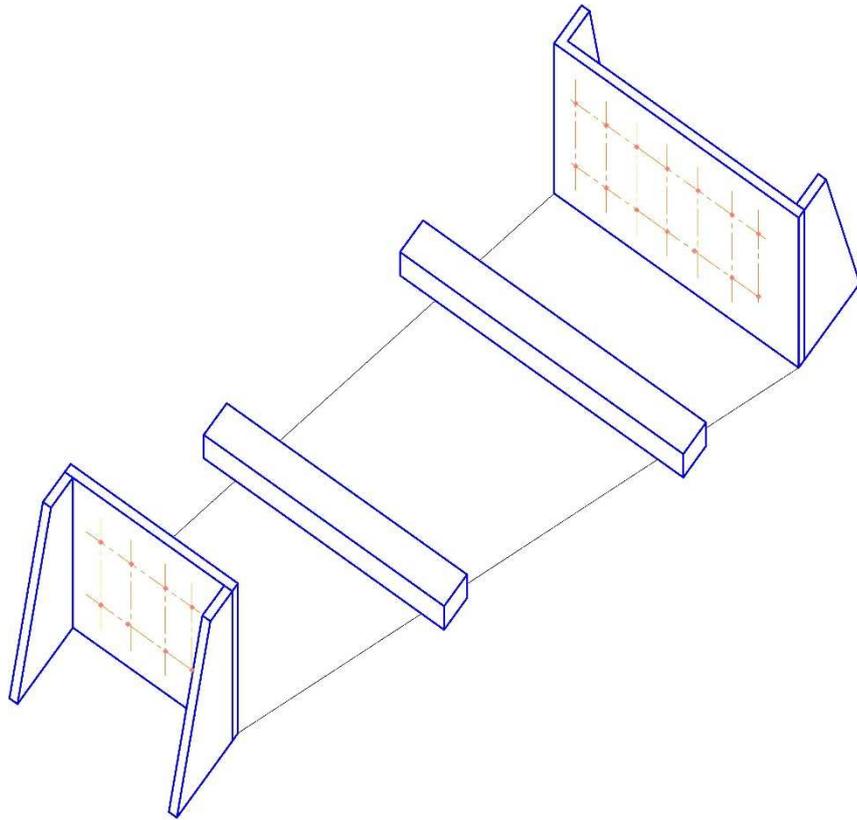


Рис. 6.70 Установка ответных фланцев

• фланцы на элементах изготавливают с припуском на фрезерование по плоскости. Величина припуска зависит от длины фланца (рис.6.71.):

- до 700 мм +5 мм
- от 700 до 1500 мм +10 мм
- свыше 1500 мм +15 мм

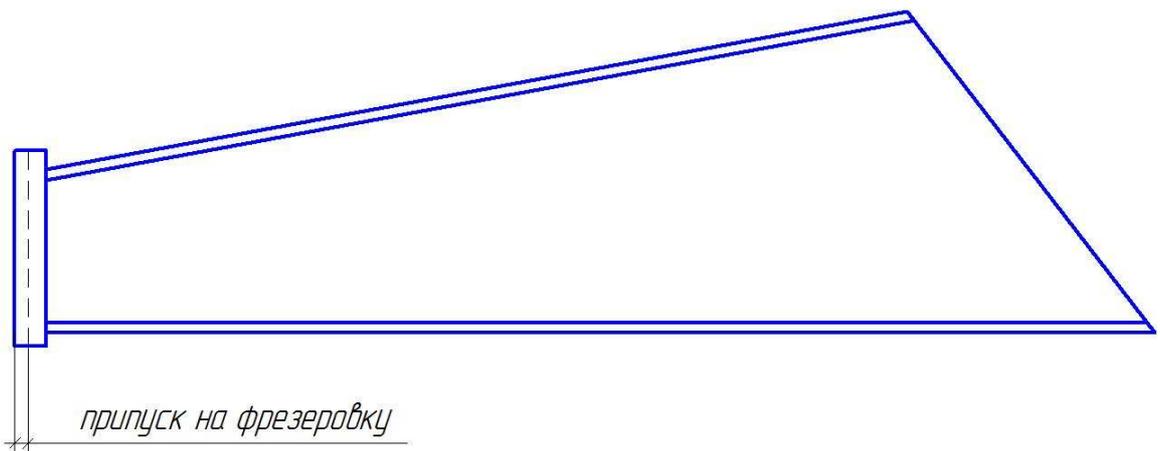


Рис. 6.71 Припуск на фрезеровку фланца

После сварки плоскость фланца будет иметь неровности от сварочных деформаций. Для их устранения производят фрезерование. Для уменьшения сварочных деформаций перед сваркой на фланец устанавливают распорки (рис.6.72.).

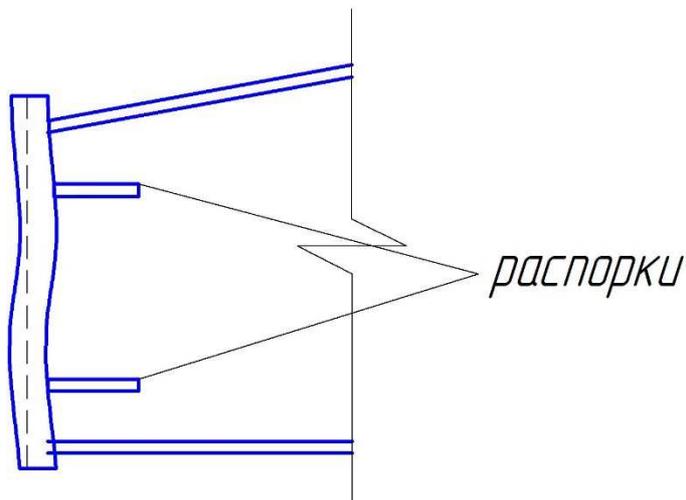


Рис. 6.72 Установка распорок

- для свободного извлечения элемента из сборочного кондуктора в нем с одной из сторон устанавливают технологические пластины 10-16 мм;
- по окончании сборки элемент направляется на сварку;
- затем производят фрезерование фланцев по плоскости.

Это довольно простая технология изготовления, поэтому многие заводы производят подобные конструкции. Трудности возникают при изготовлении рам переменного сечения для большепролетных зданий. Балки покрытия в середине пролета могут достигать высоты 3-4 метра. Соответственно, масса элемента может составить до 20 и более тонн. В этом случае мелкие и средние заводы имеют ограничения по возможности резки широких вертикальных стенок, по грузоподъемности кранов и возможности фрезерования больших фланцев собранной конструкции.

6.4 Купола

Существует следующая классификация куполов:

- по форме основания:
 - а) окружность;
 - б) овал.
- по форме образующей:
 - а) прямая (балка или ферма),
 - б) арочная (балка или ферма),
 - в) ячеистая структура.

При сочетании этих особенностей получают разные виды куполов (рис. 6.73.-6.75.).



Рис. 6.73 Окружность + арочная балка



Рис. 6.74 Окружность + прямая ферма



Рис. 6.75 Окружность + структура

Рассмотрим самый распространённый тип купола - с основанием в виде окружности и арочными образующими и виде сварного двутавра (рис. 6.76.).

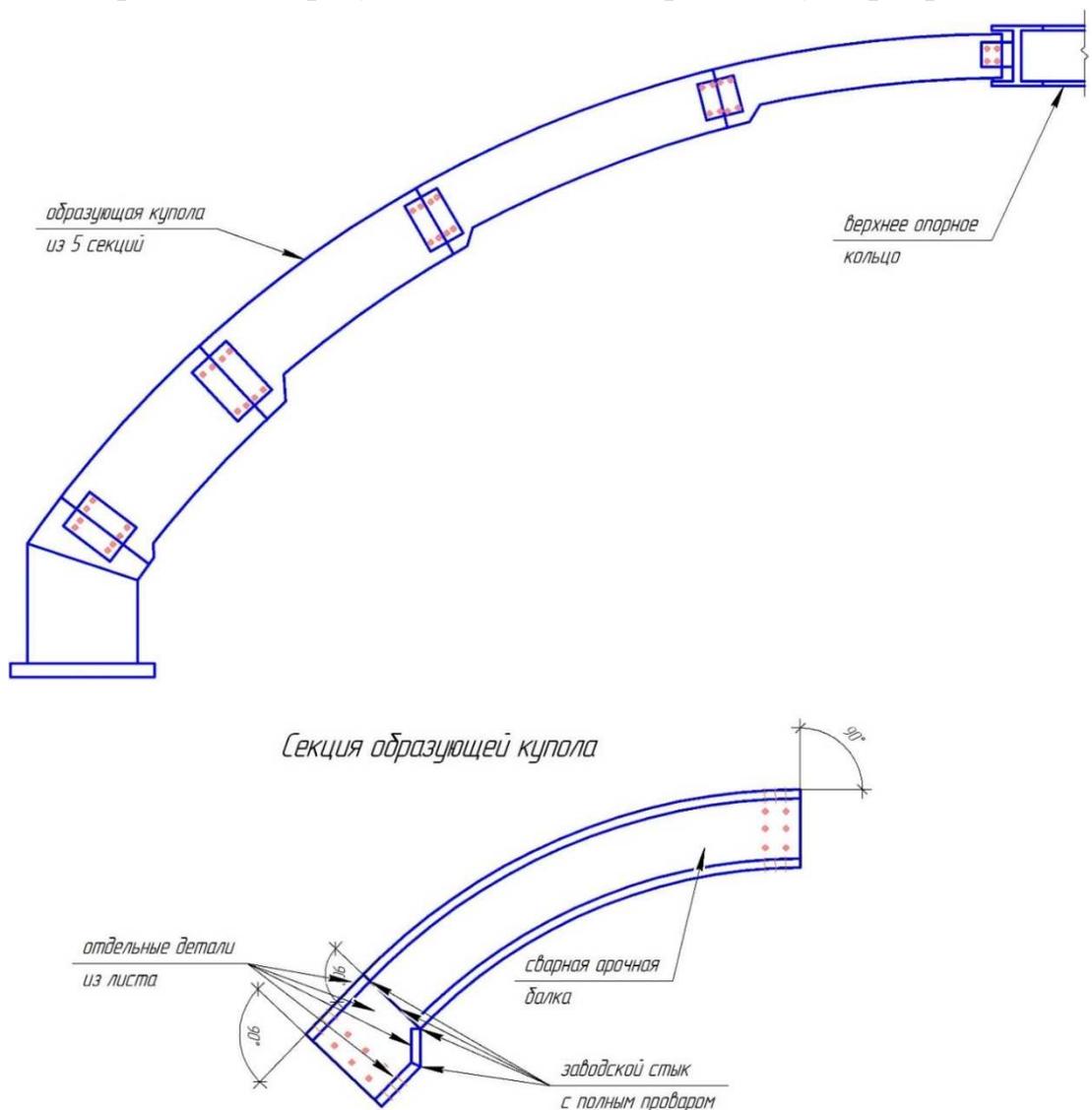


Рис. 6.76 Купол с образующей в виде сварного двутавра

Секции образующей купола выполнены из сварного криволинейного двутавра с пристыкованными к нему листовыми деталями, образующими пе-

реход к другой секции. Изготовление сварного криволинейного двутавра - довольно сложный технологический процесс, состоящий из следующих этапов:

- вертикальную стенку и полки балки режут на газорезательном станке с ЧПУ. Полки проходят вальцовку по радиусу. Вальцовка предварительная с контролем по шаблону (рис. 6.77.);

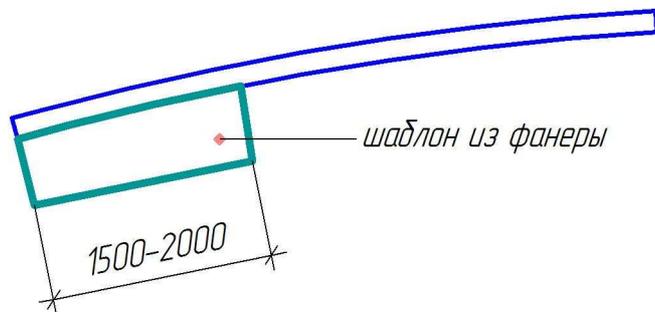


Рис. 6.77 Контроль радиуса вальцовки полки шаблоном

- сборку производят на специальном сборочном стенде на балках с изломами (рис. 6.78.);

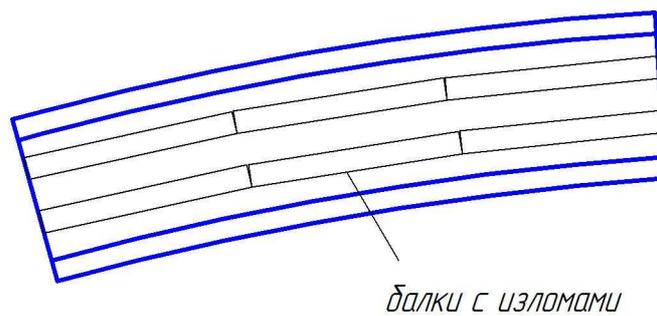


Рис. 6.78 Сборка балки на стенде

- формирование образующей производят по вертикальной стенке. Полки обжимают и приваривают к ней. Все секции образующей изготавливаются с припуском на фрезерование 10-15 мм (рис. 6.79.);

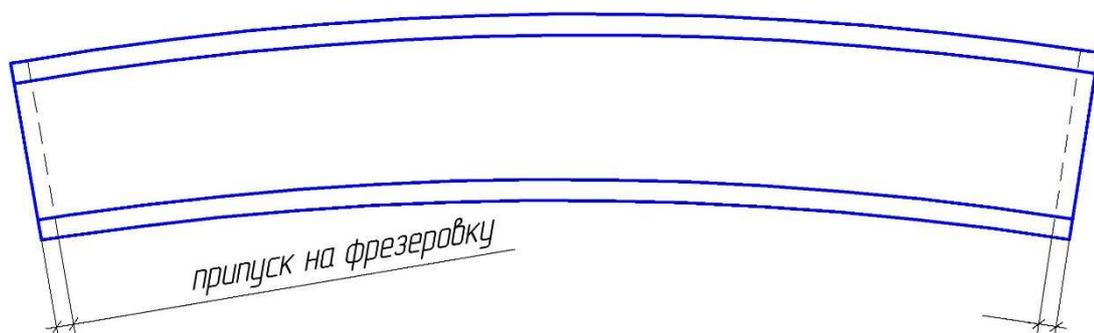


Рис. 6.79 Припуск на фрезеровку секции образующей

- для точной разметки фрезерования на стенде размечают точный контур балки. Для разбивки контура его вписывают в прямоугольник и выстраивают линии арки (рис. 6.80.);

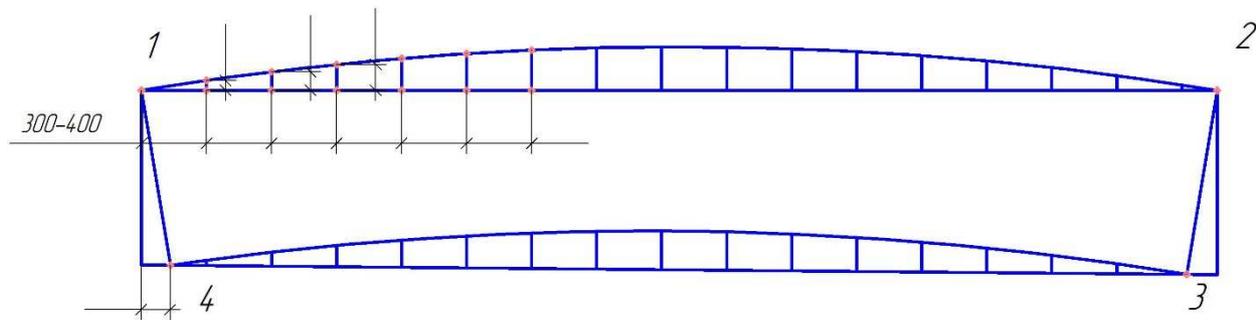


Рис. 6.80 Разметка для фрезерования секции

В конструкторском отделе выполняют прорисовку контура секции образующей с разбивкой арочной линии через 300-400 мм. По такому чертежу производят разбивку контура образующей.

- все полученные после сварки секции образующей выставляются на стенд для точной разметки под фрезерование по точкам 1,2,3,4. Если контур секции не совпадает с контуром на схеме, применяют термоправку;

- большую сложность представляет процесс установки секции под фрезерование на станке. Производят замер от одного зуба фрезы до точки 2, затем фрезу перемещают и производят замер до точки 3. Если размеры не совпадают, то необходимо скорректировать положение секции на столе станка до такого положения, чтобы размеры от одного зуба фрезы до точек 2 и 3 совпадали. После этого можно производить фрезерование. Процесс установки секции и её фрезерование по обоим торцам занимает 2-4 часа (рис. 6.81.).

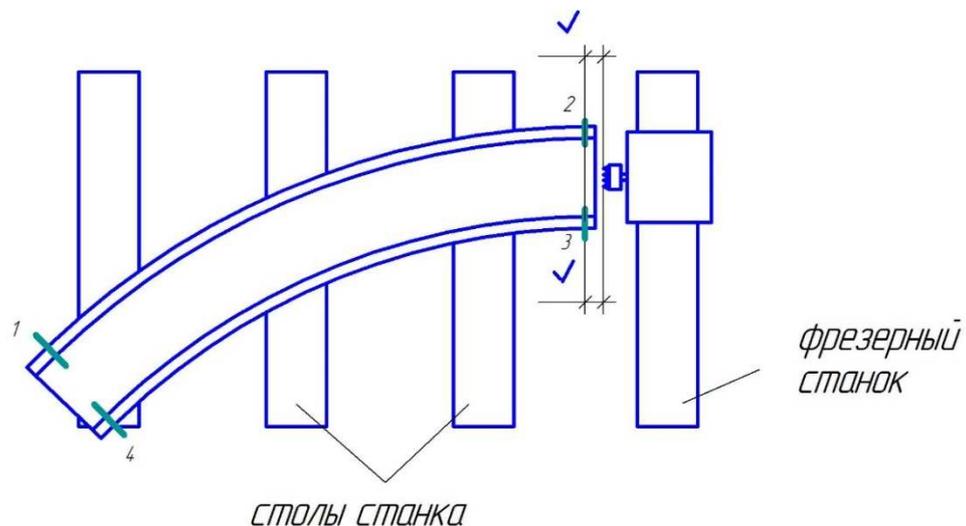


Рис. 6.81 Установка секции образующей для фрезерования

- затем проводят проверку диагоналей секции образующей. Расстояние от точки 1 до точки 3 должно совпадать с расстоянием от точки 2 до точки 4 (рис. 6.82);

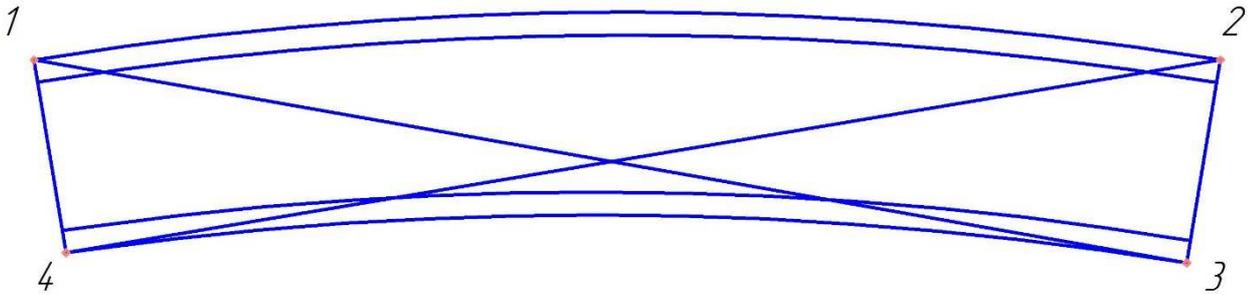


Рис. 6.82 Проверка диагоналей секции образующей

- последняя операция по секции – это сверление отверстий на монтажном стыке. Её выполняют на станках с ЧПУ с применением специальных приспособлений для удержания секции в нужном положении на станке. Также возможно сверление по сверловочным кондукторам, приваренным к секции образующей. Операцию выполняют переносными магнитными машинками с корончатыми сверлами. Она займет в 3-4 раза больше времени по сравнению со сверлением на станке;

- сборку секции производят на стенде по кондуктору. Разбивают схему секции образующей с точками 1,2,3,4, только добавляют участок расширения из листовых деталей. По обоим торцам точно пробивают осевые линии отверстий в монтажных стыках и по этим линиям выставляют сборочные тумбочки с отверстиями в 3-х плоскостях. Далее устанавливаются подкладки под заводской сварной стык с деталями расширения. Тумбочки и подкладки нивелируют и выводят в одну плоскость. Осевые отверстий по тумбочкам совмещают с осевыми на схеме (рис. 6.83.).

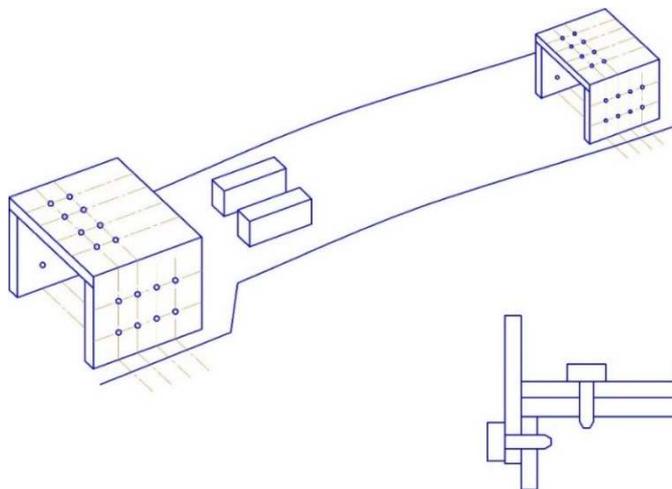


Рис. 6.83 Сборка секции образующей по кондуктору

При установке секции и деталей расширения в каждую группу отверстий устанавливают по 3-4 сборочные пробки.

Небольшие неточности изготовления ствола секции и отдельных деталей расширения компенсируются зазором в сварном стыке. Он может быть

прямым или клиновым (2-3 мм). При необходимости производят доработку отдельных листовых деталей шлифмашинкой. Для каждой секции образующей купола изготавливают отдельный сборочный кондуктор. С каждого кондуктора собирают по одной секции и производят полную контрольную сборку образующей купола. Контрольную сборку сдают ОТК и представителям заказчика. После положительных результатов сборки запускают массовое изготовление секций.

Рассмотрим характерные особенности изготовления купола в виде ячеистой структуры. Она состоит из узловых элементов и прямых или арочных стержней. Для таких куполов применяют различные профили (рис. 6.84.-6.85.):

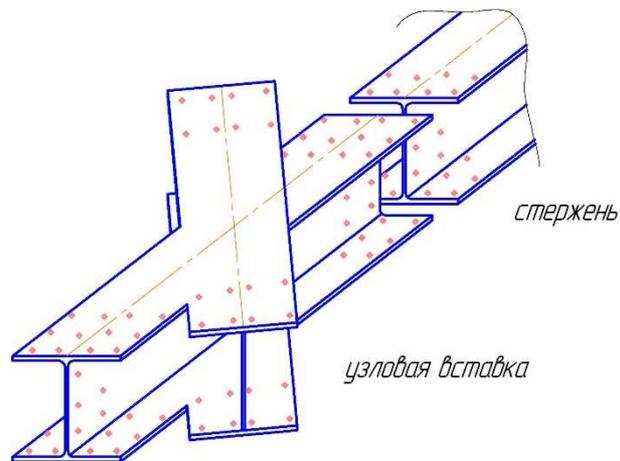


Рис. 6.84 Прокатные или сварные двутавры

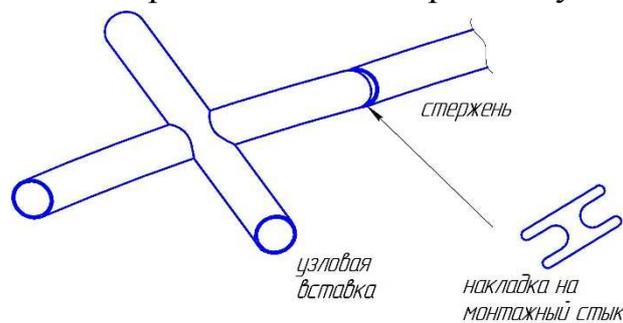


Рис. 6.85 Круглые трубы

На каждый монтажный стык устанавливают по 2 накладки и обваривают в процессе монтажа. Монтаж такого купола является очень трудоёмким процессом, так как в узловых элементах нет отверстий, на которые можно фиксировать элементы купола. Тем не менее монтажные организации справляются с такими сложными задачами (рис. 6.86.).



Рис. 6.86 Купол в виде ячеистой структуры

Конструкции купола изготавливал белгородский завод металлических конструкций «Белэнергомаш».

7. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ

7.1 Сварка швов с полным проваром.

Сварные швы с полным проваром часто встречаются в конструкциях всех видов. Такие швы применяются во всех нагруженных участках конструкций и во всех стыковых соединениях. Для качественного проведения таких швов необходимо выполнять некоторые правила:

- на стыковых соединениях с толщинами стенок до 8 мм фаски снимать не обязательно. При доступности сварки с двух сторон лист или стенку профиля проваривают без фаски, только при условии, что между деталями есть зазор 2 мм. Сварка полуавтоматическая (рис. 7.1.);

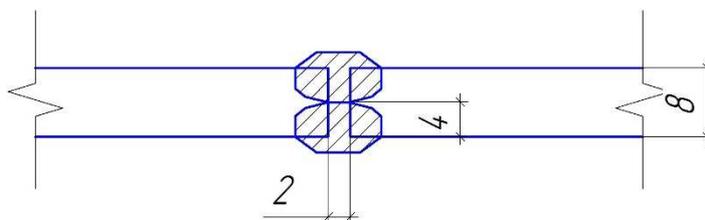


Рис. 7.1 Сварка стыковых соединений толщиной до 8 мм

- при толщинах листа или стенок профиля свыше 8 мм обязательно применение различных фасок, в зависимости от толщины металла (рис. 7.2.).

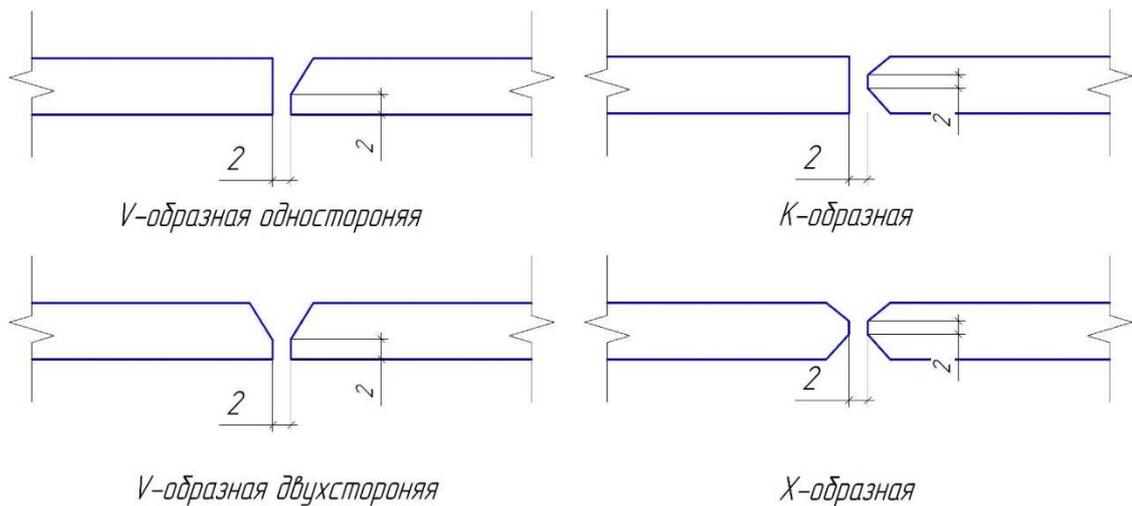


Рис. 7.2 Виды разделки кромок при толщине более 8 мм

Выполняют фаски различными методами:

- ручным газовым резаком или газовым секатором (самый распространенный метод). После резки обязательна зачистка фаски до полного удаления продуктов горения (окалины) с поверхности фасок. При пренебрежении этим, невозможно добиться полного провара шва по всей длине;
- фрезерование фасок на станке. На фрезерном станке выполняют фаски, как правило, только на небольших листовых деталях. Сам процесс происходит значительно дольше, но фаски получаются отличного качества.

При выполнении фасок очень важно выполнять притупления до 2 мм. Если притупление будет близким к нулю, то существует вероятность протекания сварочной ванны и необходимость заново проводить сварку шва. Если притупление составит 3-4 мм, то станет невозможным произвести полный провар шва. Полуавтоматическая сварка не проплавляет кромки металла и, в итоге, получится полоса непроплавленного металла и это зафиксируют приборы ультразвукового контроля. Также необходимо выполнять сварку с зазором 2 мм. Без него, даже с хорошими фасками, есть вероятность появления непровара в шве.

Сварные швы с полным проваром, начинающиеся и заканчивающиеся на свободных кромках, нужно выполнять с выводными планками (рис. 7.3.).

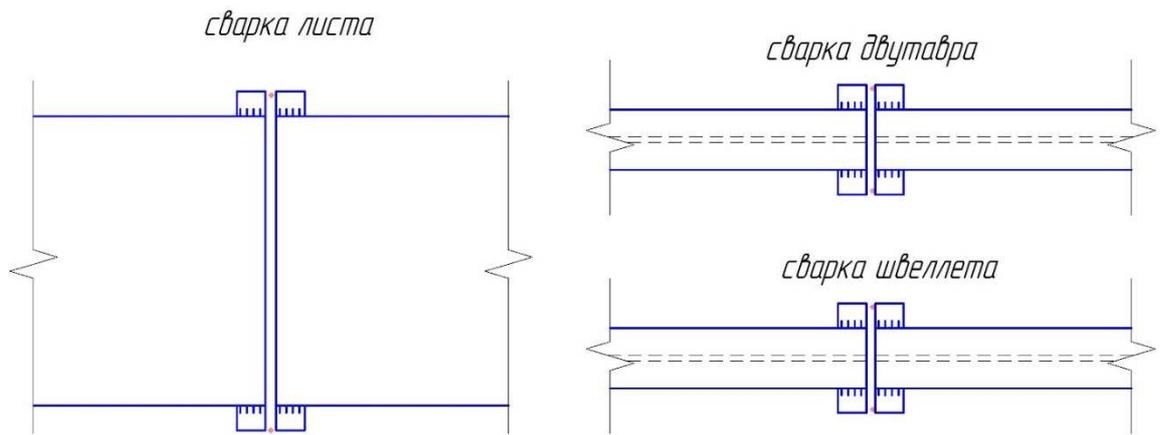


Рис. 7.3 Сварка соединений с выводными планками

Начало и окончание сварного шва, как правило, имеют дефекты в виде кратеров. При зажигании сварочная дуга имеет нестабильные параметры. Поэтому, начиная и заканчивая сварные швы на выводных планках, все дефекты не попадают на детали конструкций. На свариваемых деталях процесс сварки происходит стабильно и провар будет обеспечен. После сварки и УЗК контроля выводные планки срезают газовым резаком, места установки зачищают шлифмашинкой.

7.2 Сварка протяженных швов

Протяженные сварные швы (более 0,5-1 М) нельзя проваривать на проход в одном направлении. Если поступать таким образом, то сварочные деформации очень сильно повлияют на геометрию конструкции: появятся «серповидность» или «винтообразность». Для избегания или уменьшения этих дефектов сварку выполняют обратно-ступенчатым способом от центра конструкции к краям. Сварку производят небольшими участками по 300-400 мм (рис. 7.4.).

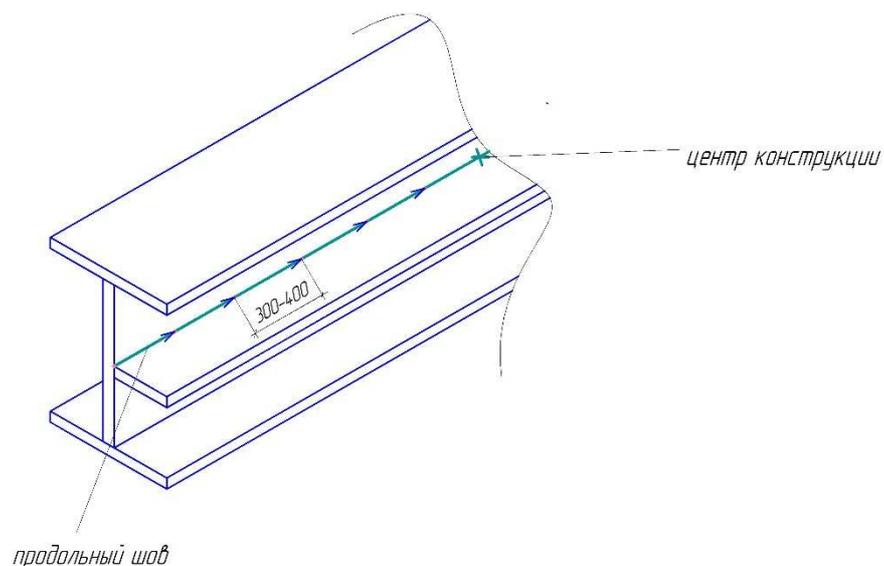


Рис. 7.4 Сварка протяженных швов

Таком способ наложения швов позволяет значительно уменьшить сварочные деформации или их избежать.

7.3. Сварка сталей повышенной прочности

При сварке металлоконструкций из стали С390, толщиной 20 мм и более производят предварительный подогрев места положения шва до температуры 120-160 °С. Если этого не сделать, то в сварном шве будут образовываться трещины при остывании (рис. 7.5.).

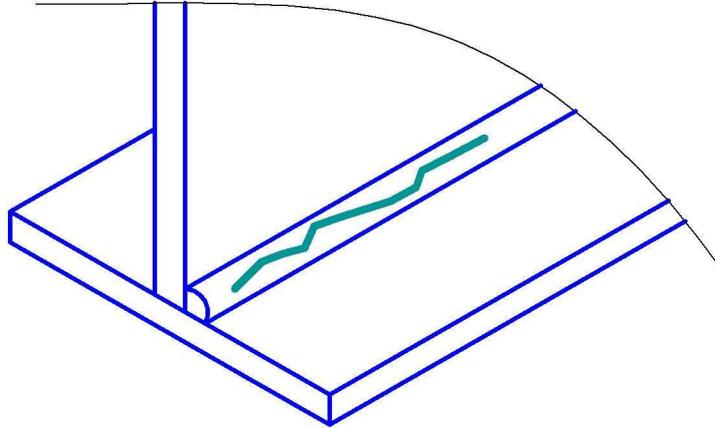


Рис. 7.5 Прогрев места наложения шва

При сварке стали С440 и выше предварительный подогрев производят на любых толщинах свариваемых элементов. Применение таких марок сталей усложняет выпуск конструкций для завода-изготовителя по времени сварки в 3-4 раза. Поэтому возрастает общее время изготовления конструкций. Нагрев выполняют 1-2 газорезчика с помощью ручных резаков. В зависимости от толщины свариваемого металла и температуры в цехе время нагрева может растянуться на 0,5-1,5 часа и только после этого сварщик может приступить к наложению швов. В зимнее время придется разогревать конструкцию и во время сварки. Сварка таких марок стали является сложной технологической операцией.

8. ОБРАБОТКА МК ПОСЛЕ СВАРКИ

После сварки металлоконструкции поступают на участок сдачи. Там производят следующие работы:

- срезка распорок, которые устанавливались для уменьшения сварочных деформаций;
- зачистка прихваток от распорок и приспособлений, которые устанавливались в процессе сборки;
- зачистка от сварочных брызг;
- срезка выводных планок и зачистка мест их установки;
- проверка, совместно с контролером ОТК, геометрии конструкции на наличие сварочных деформаций;
- правка конструкций от сварочных деформаций.

Рассмотрим последнюю операцию более подробно. Существует несколько видов правки:

- правка грузом;
- правка с помощью приспособлений, навешиваемых на дефектный участок;
- термическая правка;

8.1 Правка грузом

На всех предприятиях на участке сдачи изготовлены грузы из листа или в виде короба. Правку грузом производят от «серповидности» на небольших или средних профилях. Грузы обычно делают массой 1,3,5 тонн. Принцип правки представлен на рис. 8.1.

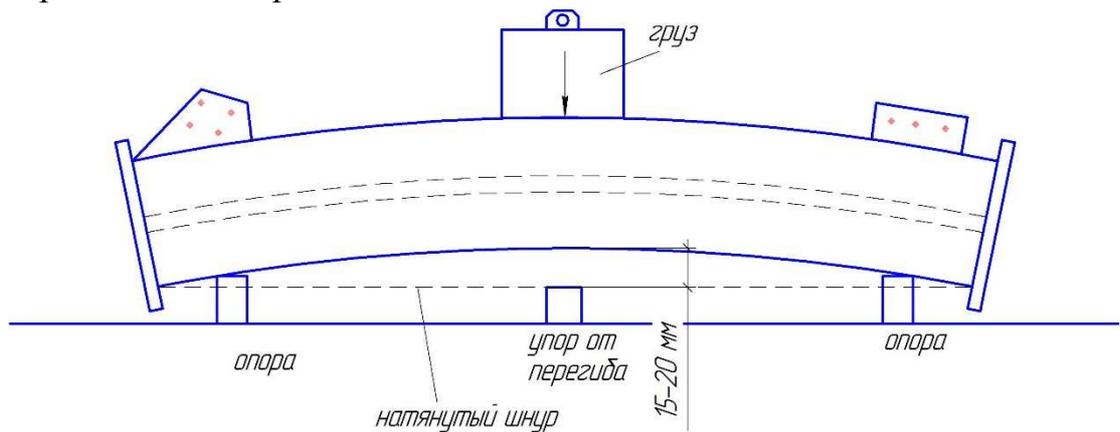


Рис. 8.1 Правка грузом

При установке груза на конструкцию, она пригибается ниже горизонтальной поверхности. Под грузом оставляют конструкцию на 15-20 минут, затем его убирают. При снятии груза конструкция «отпружинивает» назад. Её прямолинейность проверяют шнуром или рулеткой. Если деформации конструкции не полностью устранены, то под нее подкладывают упор меньшей высоты.

8.2 Правка с помощью приспособлений

Иногда при кантовке или неправильном складировании встречаются дефекты в виде замятия полок на двутаврах и швеллерах.

В этом случае применяется приспособление в виде вилки. Профиль прихватывают к стенду в 4 точки, приспособление навешивается на дефектный участок и краном приподнимается. В результате этого выгнутый участок возвращается на место (рис. 8.2.). Когда полка загнута внутрь профиля, применяется другое приспособление (рис. 8.3.).

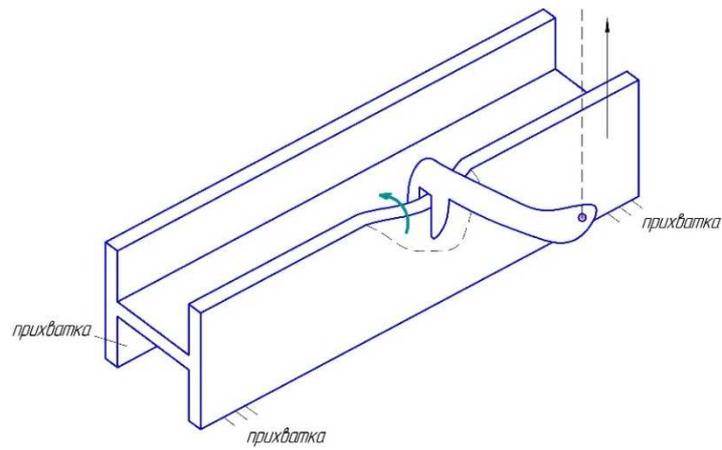


Рис. 8.2 Правка с помощью приспособлений

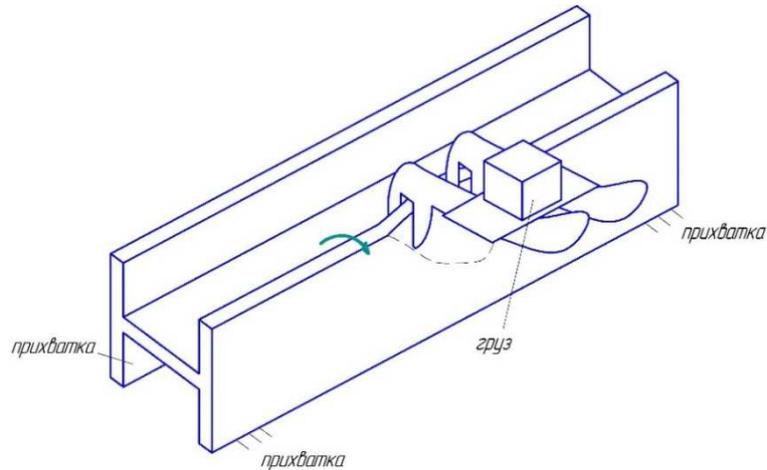


Рис. 8.3 Правка с помощью приспособлений

8.3 Термическая правка

Конструкции, выполненные из средних и крупных профилей, править грузом бесполезно. Они с легкостью выдерживают 5 тонн и возвращаются в свое первоначальное состояние. В этих случаях применяют термическую правку. Она основана на одном свойстве-сжиматься (укорачиваться) при остывании конструкции до размеров меньших, чем до нагрева. Рассмотрим несколько примеров:

- правка «серповидности» двутавра по полкам (рис. 8.4.);

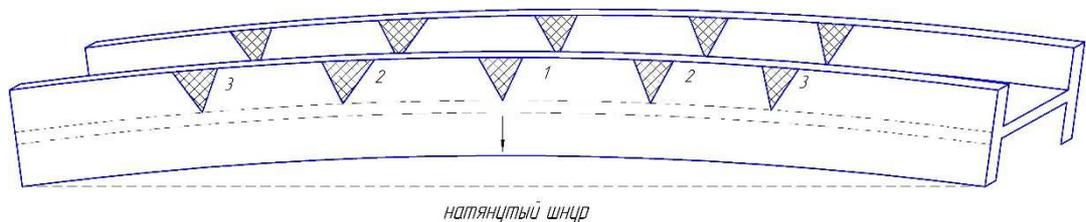


Рис. 8.4 Правка «серповидности» двутавра

Для правки «серповидности» на обеих полках балки выполняют клиновидные прогревы. Нагрев выполняют от узкой части к широкой. Металл нагревается до темно-малинового цвета. После прогрева металл в нагретом клиновидном участке стягивается и балка опускается вниз. Если «серповид-

ность» большая, то одного прогрева может быть недостаточно. В этом случае выполняют прогревы в несколько этапов. После остывания каждого из прогревов прямолинейность проверяют шнуром. Чем шире прогрев, тем больше будет усадка и, соответственно, стягивание металла. Шириной прогревов регулируют степень опускания конструкции до горизонтального положения. Для правки «серповидности» двутавра по стенке производят клиновидный прогрев по стенке и такой же ширины прямой прогрев по всей ширине полки двутавра (рис. 8.5.).

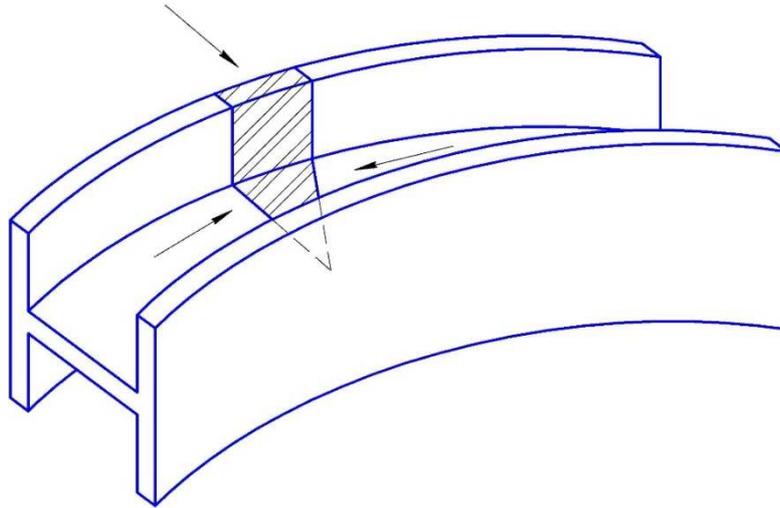


Рис. 8.5 Правка «серповидности» двутавра по стенке

- для правки квадратной трубы производят 2 клиновидных прогрева и один прямой между ними (рис. 8.6а.);
- для правки круглой трубы прогревают зону в виде арбузной корки на половине сечения трубы (рис. 8.6б.);

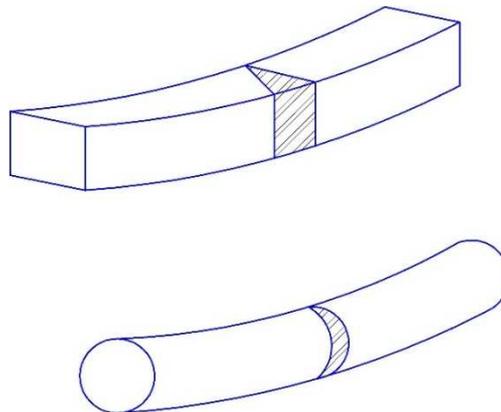


Рис. 8.6 Правка клиновидным прогревом квадратной трубы (а) и круглой трубы (б)

•одним из самых сложных дефектов для правки является «винтообразность»: при этом, если положить балку на ровную поверхность, то получится, что один торец лежит ровно, а другой вывернут (рис. 8.7а.). Для правки такого дефекта применяют следующий способ. Устанавливают 3 пластины толщиной 20 мм и устанавливают груз (рис. 8.7б.).

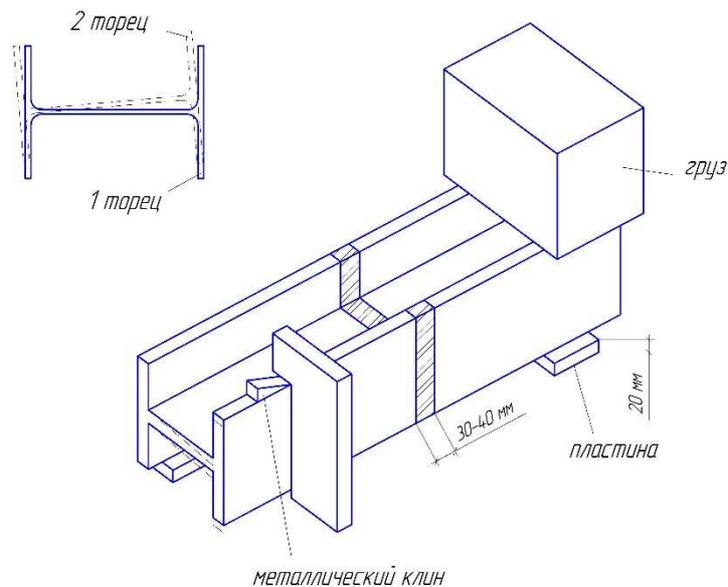


Рис. 8.7 «Винтообразность» балки (а) и способ её правки (б)

Вся конструкция висит над стендом на высоте 20 мм. Вывернутый край двутавра еще выше от стенда. Около него устанавливают «Г»-образную стойку и загоняют под стойку металлический клин кувалдой. Вывернутый край перегибают в обратную сторону до стенда. Т.е. перегибают на 20 мм и делают кольцевой прогрев шириной 30-40 мм по центру балки. Если одного прогрева мало, то на пластины толщиной 20 мм накладывают дополнительные элементы толщиной 10-20 мм и повторяют процесс. Кроме того, выполняют 2 прогрева на равном расстоянии от центрального. В итоге конструкция выправляется.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ СБОРКИ

Современные методы контроля геометрических размеров конструкций после полного цикла изготовления.

Как мы видим из предыдущих разделов, при изготовлении МК очень часто используется операция - контрольная сборка. При её проведении проверяют геометрию собранного блока конструкций между собой. Проверяют совпадение монтажных отверстий, прямолинейность конструкций в одной или нескольких плоскостях и геометрические размеры согласно чертежу общей сборки.

При изготовлении решетчатых колонн и плоских ферм в пролетах до 42-48 метров не трудно провести контрольную сборку в течении 2-3 часов. При изготовлении конструкций для большепролетных зданий, объёмных ферм, арочных и хребтовых ферм, крупных объектов из балок переменного сечения контрольные сборки становятся очень трудоёмкими и долгими по времени операциями. Занимают большую по площади территорию цехов. Иногда контрольную сборку невозможно провести в условиях цеха. Такие сборки проводят на открытых площадках с применением автомобильных и башенных

кранов в течении нескольких недель. Сборку выполняют под открытым небом, соответственно вмешиваются погодные условия. Все эти усилия прилагаются для того, чтобы узнать соберутся ли изготовленные конструкции на монтаже или нет.

В наш век электронных и лазерных технологий разработаны приборы, которые позволяют с точностью до тысячных долей мм образмерить готовую конструкцию. Обмеряют все конструкции в условиях цеха по одной схеме-сравнивают с 3D моделью конструкции. 3D модель конструкции является идеальной конструкцией. В реальной жизни она всё равно будет иметь небольшие отклонения. Потом на компьютере из реально полученных конструкций производят виртуальную контрольную сборку. Такая сборка покажет, соберется ли общая конструкция и какими будут отклонения. По информации из виртуальной сборки можно определить, какую из конструкций можно немного выправить и в каком направлении, чтобы потом общая сборка пришла в норму. Производят правку конструкции, новое образмеривание и новую контрольную сборку.

Последними, самыми совершенными приборами для таких операций являются лазер-трекеры. Качественные приборы выпускают компании «Leica» и «Faro». Эти компании давно разработали эти приборы и несколько лет шел процесс усовершенствования.

Во время эксплуатации к приборам предъявлялись требования по пыли-и влагозащищенности, возможности автономной работы, устойчивости лазерного луча и т.д. В настоящее время обе компании выпускают практически совершенные модели лазер-трекеров, которые оснащены еще рядом полезных дополнительных приборов. Это модели - «Leica 402», «Leica 960», «Faro Vantage», «Faro ION» (рис. 9.1.).



Рис. 9.1 Приборы для образмеривания МК

Принцип действия приборов основан на том, что посылается лазерный луч на сферический лазерный отражатель, а затем быстро и очень точно фиксирует местоположение МК (рис. 9.2.).

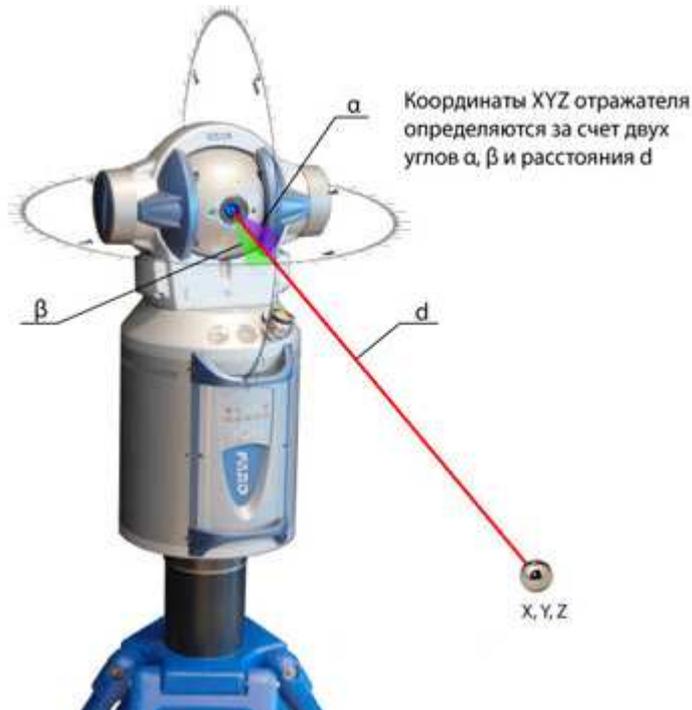


Рис. 9.2 Лазерный прибор для определения координат любой точки МК
Точность прибора составляет 0,008 мм. С прибором работает один оператор. Оператор вручную перемещает отражатель, лазер-трекер своим лучом перемещается за отражателем. Оператор устанавливает отражатель в отверстие, на плоскость фланца или на плоскость балки, а прибор фиксирует одну точку за другой. Например, чтобы точно понять, как расположен фрезерованный по плоскости фланец, нужно установить поочередно в каждое отверстие отражатель, зафиксировать все 10 точек центров отверстий. Затем нужно установить отражатель на 6-8 точек по фрезерованной поверхности и затем установить по 2 точки на кромках фланца. По такому количеству точек программа точно построит габариты фланца и обеспечит расположение всех отверстий. Далее необходимо построить криволинейный ствол балки. Соответственно проводят образмеривание плоскостей балки (рис. 9.3.).

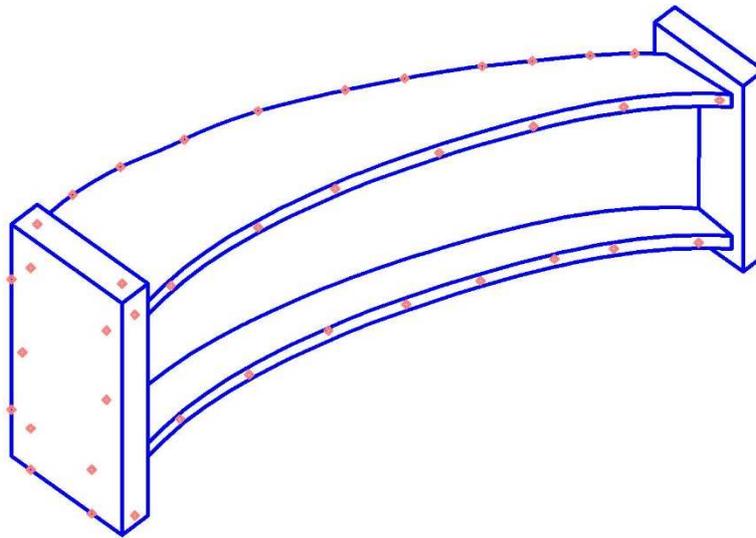


Рис. 9.3 Образмеривание всех плоскостей балки

Можно ставить отдельные точки, а можно непрерывно провести по торцу криволинейной полки балки. Прибор зафиксирует это движение и заполнит его. Таким образом, прибор фиксирует поле точек и по ним с помощью программы может построить полку балки с высокой точностью. Это выполняют для всех плоскостей. Но при выполнении этой задачи возникают трудности. Например, нельзя зафиксировать с помощью отражателей кромку нижней полки балки. Конструкция загораживает прохождение лазерного луча.

Компания «Leica» для решения этой проблемы предлагает 2 дополнительных прибора:

- «Т-Probe» с удлинителем до одного метра.

Этот прибор фиксирует точку небольшим шариком на конце щупа. Его можно устанавливать на удлинитель и тогда можно провести щупом по нижней кромке полки, а сам дополнительный прибор будет находиться над конструкцией и передавать местоположение щупа на основной прибор;

- 3D сканер (рис. 9.4.).



Рис. 9.4 3D-сканер

Этот прибор связан с основным прибором через кабель и если конструкция крупногабаритная, то оператор просто заходит за конструкцию и с помощью сканера снимает поле точек на нужной плоскости или детали. Сканер излучает лазерную полосу шириной 200-300 мм. Проводя по поверхности движением руки со сканером основной прибор сразу фиксирует всё поле точек, мельчайшие изгибы и неровности. Проведя 2-3 движения по дальней поверхности фланца на приборе будет зафиксирована полная картина фланца со всеми отверстиями. Компания «Faro» предлагает дополнительную стойку для расширения использования отражателя (рис. 9.5.).

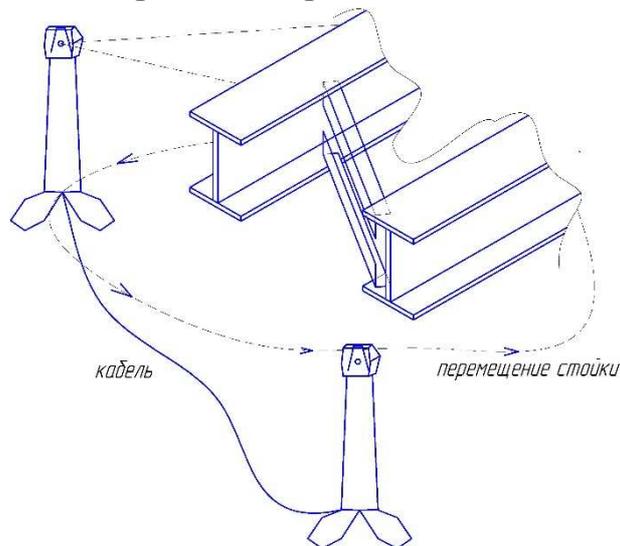


Рис. 9.5 Дополнительная стойка к 3D-сканеру

Такую стойку можно передвигать в те места, где основной прибор не сможет послать луч лазера на отражатель. Переместив стойку на одну сторо-

ну конструкции можно снять положение точек на кромке верхней и нижней полки. Далее переместить стойку на другую сторону конструкции и снять точки расположения дальних фланцев.

Компания «Faro» предлагает лазерные сканеры. После получения всех интересующих точек программа выстраивает реальную объёмную модель конструкции. Сравнивает с идеальной 3D моделью, полученной из программы «TEKLA» и показывает отклонения. В программу сразу закладывают допустимые отклонения по длине, ширине, серповидности, винтообразности и расположению отверстий. Отчет от сравнения реальной и идеальной конструкций появляется в виде трёхмерной модели конструкции, раскрашенной в 2 или 3 цвета. Зеленым цветом показаны участки конструкции, полностью совпадающие с идеальной моделью, желтым – закрашены участки с отклонениями в пределах установленных допусков и красным – участки с отклонениями, выходящими за допуски. Если на модели в отчете нет красных областей, то конструкция считается годной и не требует доработки. При наличии участков красного цвета конструкции принимается решение о способе исправления её геометрической формы. С помощью лазер-трекера можно определить угол поворота фрезы для дополнительного фрезерования на фрезерно-расточных станках с ЧПУ, имеющими поворотные головки.

Выполнив обмеры всех конструкций и проведя в программе лазер-трекера виртуальную контрольную сборку с хорошим результатом, можно точно утверждать, что данные конструкции на монтаже соберутся и займут проектное положение. Заказчику предъявляется виртуальная контрольная сборка.

В результате этих действий нет необходимости проводить дорогостоящие и длительные контрольные сборки на открытых площадках. Именно так проводилась сдача конструкций для главного олимпийского стадиона «Фишт» в г. Сочи, так как контрольную сборку хребтовой фермы длиной в половину километра в реальности провести невозможно. В настоящее время большинство конструкций уникальных зданий и сооружений имеют огромные размеры. Контрольные сборки таких конструкций можно провести только виртуально (рис. 9.6 – рис. 9.9.).



Рис. 9.6 Уникальное здание



Рис. 9.7 Уникальное здание



Рис. 9.8 Уникальное здание



Рис. 9.9 Уникальное здание

Лазер-трекеры на данный момент имеют очень большую стоимость. Не каждое предприятие может позволить себе приобретать такие приборы. Стоимость составляет от 8 до 20 млн рублей. 2-3 большие сборки конструкций стадионов, аэропортов и других сложных объектов будут сопоставимы по стоимости с приобретением такого прибора. Но за такими приборами будущее в производстве сложных конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 23118-2012 Конструкции стальные строительные. Общие технические условия: дата введ. 01.07.2013/Росстандарт, 2012.-25 с.
2. СП 53-101-98 Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций: дата введ. 01.01.99/Госстрой России, 1999.-30 с.
3. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции: актуализир. ред. СНиП II- 23-81*: утв. 27.12.10: введ в д. 20.05.2011 / Минрегион России. - Изд. офиц., актуализир. ред. - Москва: ЦПП, 2011.- 172 с.: ил.
4. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции: актуализир. ред. СНиП 3.03.01-87: утв. 25.12.12: введ в д. 01.07.2012 / Госстрой России, 2012.-196 с.
5. Абаринов А.А., Петров В.П. Технология изготовления металлических конструкций. М.Высшая школа 1969, - 304 с.
6. Воронов Е.Л., Колесниченко Л.Ф. Оборудование заводов металлических конструкций. М., Машиностроение ,1981. - 320 с.
7. Металлические конструкции: учеб, для студентов высш. учеб, заведений/ Ю.И. Кудишин [и др.]. - Москва: Академия, 2007. - 688 с.
8. Мещеряков В.М. Технология конструкционных материалов и сварка: Учебное пособие. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. - 316 с.
9. Пешковский О.И. Технология изготовления металлических конструкций. Изд. 2-е, -М., Стройиздат ,1990. - 351 с.
11. Сварка и резка в промышленном строительстве. Малышев Б.Д., Акулов А.И., Алексеев Е.К. и др. Изд. 2-е, - М., Стройиздат ,1980. - 350 с.
12. Терентьев Г.П. Методы контроля качества металлических конструкций. Практические занятия по дисциплине «Технология изготовления металлических конструкций».
Часть 1. Контроль качества металлических конструкций ультразвуковым дефектоскопом. - Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. - 16 с.
Часть 2. Рентгеновский метод контроля сварных соединений. - Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. - 12 с.
13. © Voortman Steel Machinery. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.voortman.net/ru/>
14. Николаев Г. А. и др. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. Учеб. пособие для машиностроит. вузов. М., «Высш. школа»,

1971. 760 с. с илл. Перед загл. авт.: Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров.

15. Терентьев Г.П., Пестряков В.П. Технология изготовления металлических конструкций [Текст]: учеб. пос./ Г.П. Терентьев, В.П. Пестряков: Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т- Н.Новгород: ННГАСУ, 2016.-53с.

Терентьев Геннадий Петрович
Смирнов Дмитрий Николаевич
Смирнов Алексей Дмитриевич

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ
ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Подписано в печать Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л.7,5. Усл. печ. л. 7,9. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
<http://www/nngasu.ru>, srec@nngasu.ru