

Важной особенностью всех комбинированных систем является возможность регулирования усилий в основном балочном элементе, что создает экономичную по расходу металла конструкцию.

Контрольные вопросы

1. Какие стали и в каком виде используют в автодорожных мостах?
2. Какие способы соединения элементов используют в автодорожных мостах?
3. Какие основные статические схемы применяют в стальных мостах?

ГЛАВА 11

Конструкции пролетных строений со сплошными главными балками

11.1. Виды металлических пролетных строений со сплошными главными балками, области применения

По статической схеме пролетные строения со сплошными балками могут быть разрезными, неразрезными и балочно-консольными.

Разрезные пролетные строения со сплошными балками (рис. 11.1, а) устраивают редко при пролетах до 42 м. Высота балок у них составляет $1/12 \dots 1/15$ пролета. При наличии крана необходимой грузоподъемности установка этих пролетных строений на опоры кранами — наиболее простой способ их монтажа. При установке нескольких балочно-разрезных пролетных строений их можно соединить в неразрезную систему и надвигать по постоянным опорам мостов.

При пролетах более 42 м экономически целесообразнее становятся неразрезные балки (рис. 11.1, б). В настоящее время при пролетах до 147 м неразрезные балки обычно имеют постоянную высоту по длине всех пролетов. Это позволяет упростить их изготовление и осуществлять монтаж пролетных строений надвижкой с конвеерно-тыловой сборкой на подходах. Высота неразрезных балок составляет от $1/20$ пролета при пролетах 63 м до $1/40$ пролета при пролете 147 м. Длины крайних пролетов в неразрезных пролетных строениях при этом из условия равенства изгибающих моментов в соседних пролетах следует назначать в пределах 70... 75 % от длины средних пролетов.

Однако если исходить из условия экономного расхода материала, то уже при пролетах 84 и 105 м возникает целесообразность применения пролетных строений с переменной высотой по длине пролета. Над промежуточными опорами высоту целесообразно увеличить (рис. 11.1, в) для восприятия возрастающих отрицательных изгибающих моментов. В этом диапазоне пролетов целесообразно ломаное очертание нижнего пояса, при этом почти на 75 % средней части пролета высота может быть постоянной. Пролетные строения такого вида устанавливают на опоры с помощью плавучих средств или методом навесного монтажа, так как продольная их надвижка невозможна.

При пролетах 105 м и более высоту неразрезных балок по соображениям экономии материала целесообразно изменять по всей длине (рис. 11.1, г). Обычно высоте придают криволинейное очер-

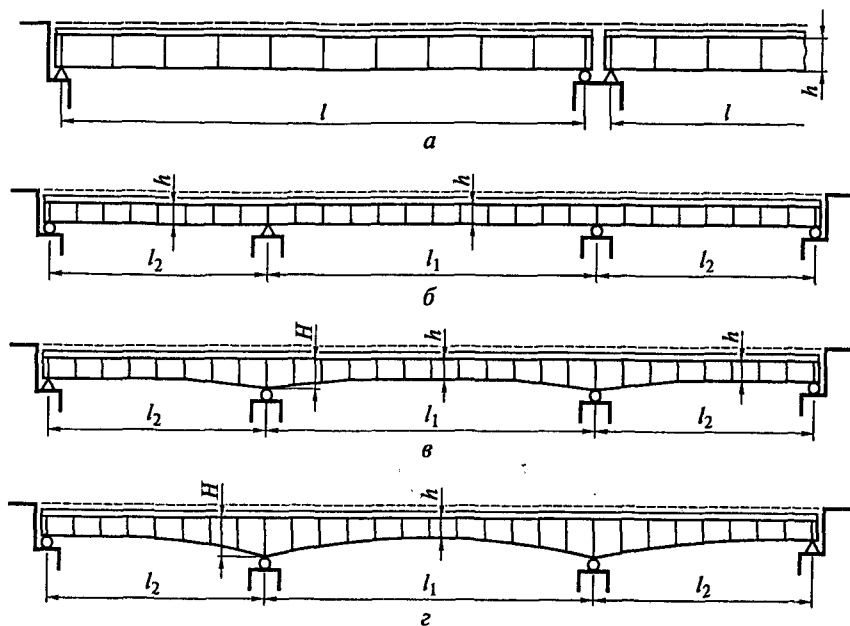


Рис. 11.1. Виды (а—г) пролетных строений мостов со сплошными балками

тание, что усложняет изготовление балок и их монтаж, но улучшает их архитектурные качества.

Увеличение высоты балок в приопорных зонах вызывает резкое изменение жесткости, что существенно влияет на перераспределение изгибающих моментов и позволяет уменьшить высоту балок в середине пролета.

Пролетные строения с переменной высотой балок по длине пролета обычно возводят методом навесного монтажа, что также существенно увеличивает отрицательные моменты на опорах и приводит к дополнительному увеличению высоты балок на опорах. Высота неразрезных балок с переменной высотой над опорами обычно в 1,5...2 раза больше высоты в пролете. В середине пролета таких балок их высота может составлять до 1/60 пролета.

Балочно-консольные пролетные строения со сплошными главными балками в настоящее время не применяют, так как они ухудшают эксплуатационные характеристики пролетных строений дополнительным количеством деформационных швов. Кроме того, в настоящее время при любых грунтовых условиях освоена технология возведения фундаментов для опор, исключающих возможность их неравномерных и больших осадок, что исключает основную причину, вызвавшую необходимость применения балочно-консольной системы.

Тип поперечных сечений пролетных строений со сплошными главными балками зависит от конструкции проезжей части, габарита пролетного строения и величины пролета. Основными несущими элементами поперечных сечений являются балки двутаврового или коробчатого сечений (рис. 11.2). Главные балки чаще выполняют коробчатого сечения с прямоугольным или трапециевидным сечением. Трапециевидная форма сечения коробчатых балок имеет преимущества по архитектурным и аэродинамическим соображениям. Кроме того, она позволяет иметь опору меньшей ширины.

Верхний пояс главных балок может быть стальным или железобетонным. В первом случае получается стальное, а во втором — сталежелезобетонное пролетное строение. Рациональным является решение конструкции, при котором плита проезжей части включается в работу главных балок на общее действие нагрузки. При металлической плите проезжей части это обеспечивается легко. При железобетонной плите проезжей части возникают трудности с включением ее в работу главных балок в зоне отрицательных моментов, в связи с необходимостью обеспечения ее трещиностойкости.

Количество главных балок в поперечном сечении пролетного строения зависит от габарита моста и величины пролета главных балок. При увеличении пролетов имеется тенденция к уменьшению количества главных балок (при больших пролетах выгоднее иметь небольшое количество более мощных балок). В последние десятилетия наметилась тенденция к применению в металлических пролетных строениях как с железобетонной, так и металлической проезжей частью сплошных стальных коробчатых (прямоугольных и трапециевидных) балок, которые хорошо сопротивляются кручению, более равномерно, чем двутавровые, распределяют временную нагрузку. В широких мостах в поперечном сечении возникает необходимость применения большего количества главных балок.

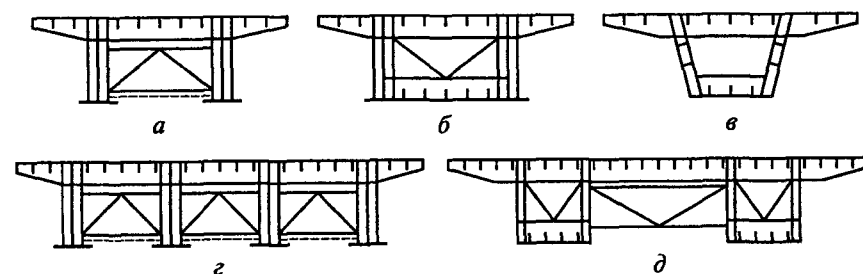


Рис. 11.2. Типы (а—д) поперечных сечений пролетных строений со сплошными балками

11.2. Конструкция проезжей части металлических мостов

В современных металлических пролетных строениях автодорожных и городских мостов в качестве проезжей части (в широком смысле этого понятия) используется металлическая или железобетонная плита. В прошлом она выполнялись из дерева в виде поперечин с двойным дощатым настилом или с использованием деревоплиты. Проезжую часть из дерева в металлических мостах в настоящее время не применяют.

Железобетонная плита проезжей части в металлических мостах по конструкции и характеру работы не отличается от соответствующей плиты в железобетонных мостах. Различие состоит лишь в способах объединения плиты с основной несущей конструкцией пролетного строения. В железобетонных пролетных строениях плита проезжей части является естественной монолитной частью главных балок, а в металлических пролетных строениях она объединяется с металлическими балками с помощью различных устройств. При этом она может быть монолитной или сборной.

Для уменьшения массы пролетного строения и для обеспечения большей долговечности мостов в последнее время стали чаще применять (особенно в области больших пролетов главных балок) проезжую часть с металлической ортотропной плитой проезжей части, состоящей из металлического листа настила 4 толщиной не менее 12...14 мм, подкрепленного продольными 1 и поперечными 2 ребрами (рис. 11.3, а).

Продольные ребра этой плиты имеют различную форму поперечного сечения в зависимости от величины пролета ребер. При пролетах этих ребер до 2...3 м, их выполняют в виде тавра, полкой которого служит лист настила, а стенки выполняются из полос толщиной 12...16 мм и высотой до 250 мм (рис. 11.2, б). При пролетах 4...5 м они могут иметь коробчатое поперечное сечение (рис. 11.2, в). Это связано с особенностью напряженного состояния ребер при увеличении их пролета и необходимостью обеспечения их устойчивости.

Поперечные ребра ортотропной плиты в поперечном сечении обычно представляет собой асимметричный двутавр, составленный из стенки, нижнего поясного листа и верхнего пояса (рис. 11.3, а). Нижний пояс ребра выполняется из полосовой стали и присоединяется к его стенке двухсторонними сварными швами. Верхним поясом поперечного ребра является лист настила плиты, с которым стенка ребра связана двухсторонними сварными швами.

На рис. 11.3, б приведен узел пересечения продольного ребра со стенкой поперечного ребра. Для исключения нежелательных деформаций и концентраций напряжений в местах пересечения

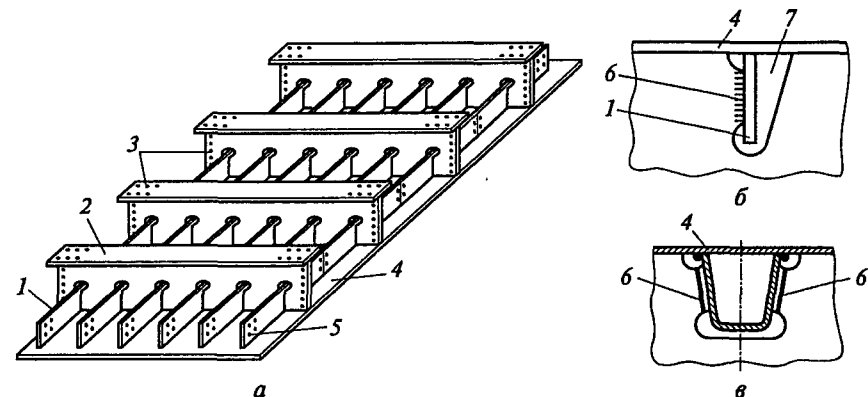


Рис. 11.3. Вид снизу (а) на монтажный блок ортотропной плиты и узлы (б, в) пересечения различных продольных ребер со стенкой поперечного ребра:

1 — продольное ребро ортотропной плиты; 2 — поперечное ребро ортотропной плиты; 3 — отверстия в стенке и нижнем поясе поперечного ребра для постановки высокопрочных болтов; 4 — лист настила ортотропной плиты; 5 — отверстия в стенке продольного ребра для постановки высокопрочных болтов; 6 — сварной шов; 7 — вырез в стенке поперечного ребра для пропуска продольного ребра

сварных швов при приварке продольных ребер к листу настила и стенке поперечных ребер в поперечных ребрах делают специальные скругленные проемы, а сварку выполняют только на части периметра продольных ребер.

Толщину стенок продольных и поперечных ребер ортотропной плиты принимают не менее 12 мм из условия их коррозионной устойчивости и не менее 1/60 их высоты из условия обеспечения их местной устойчивости без постановки на них ребер жесткости.

Все основные элементы мостового полотна (одежда ездового полотна и тротуаров, деформационные швы, защитные и перильные ограждения, водоотвод) по железобетонной плите проезжей части металлических пролетных строений устраивают такой же конструкции, как на железобетонных пролетных строениях автодорожных мостов.

Одежда мостового полотна по ортотропной металлической плите длительное время выполнялась из нескольких слоев:

- антикоррозийного слоя (эпоксидной грунтовки толщиной 60 мкм) с высокой адгезией к металлу;
- сцепляющего слоя из эпоксидно-битумной композиции толщиной 2...4 мм со щебнем фракции 15...20 мм, распределяемого равномерно по всей поверхности полотна;
- асфальтобетонное покрытие толщиной 70 мм.

Но эпоксидная смола является дорогим материалом и вредна для здоровья. Кроме того, технология нанесения антикоррозийного и сцепляющего слоя малопроизводительна и не обеспечивает хорошую адгезию со стальным листом.

В связи с этим в последние годы за рубежом и в отечественной практике стали применять другую одежду мостового полотна с более производительной и экономичной технологией. Эта одежда состоит из грунтовки стального листа битумом по всей поверхности, оклеечной рулонной гидроизоляции толщиной 5...6 мм с использованием битумно-резиновых материалов типа «Изопласт» или «Мостоспласт»; асфальтобетонного покрытия толщиной до 100 мм.

В качестве деформационных швов для обеспечения перемещений до 80 мм в настоящее время в металлических мостах наибольшее распространение получили швы немецкой фирмы MAUER (рис. 11.4, а). Его резиновый профиль крепится в специальных стальных профилях, присоединенных к кромкам пролетных строений. Резиновый профиль настолько плотно сидит в пазу стального профиля, что шов может быть наполненным водой по кромки стального профиля. Вода, которая просачивается сквозь шов, не может застояться в шве и свободно вытекает из стального профиля за счет поперечного уклона нижней части паза.

Для обеспечения перемещений более 80 мм применяются многомодульные деформационные швы той же фирмы (рис. 11.4, б). Они состоят из однотипных стальных модулей с фиксаторами для резиновых профилей. Конструкции многомодульных швов могут отличаться способом опирания модулей, механизмом регулирования зазоров, сечением стальных и резиновых модулей. Швы такой конструкции могут компенсировать практически любое пере-

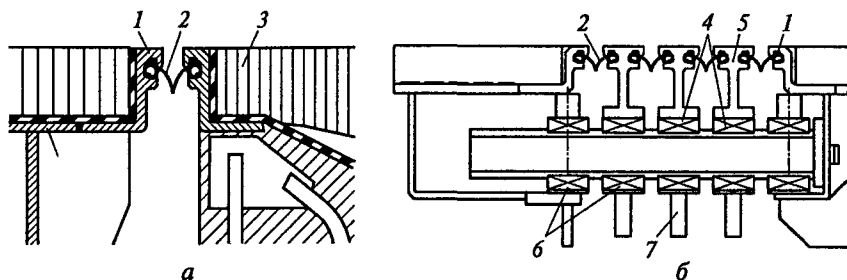


Рис. 11.4. Конструкции деформационных швов металлических пролетных строений:

а — для перемещений до 80 мм; б — для перемещений от 80 мм и более; 1 — специальный стальной профиль; 2 — резиновый профиль; 3 — асфальтобетон; 4 — опорная часть скольжения; 5 — промежуточный несущий профиль; 6 — эластичные пружины; 7 — прижимные скобы

мещение. Так, на мосту через Рейн, шов такой системы обеспечивает перемещение 1,6 м.

Защитные и перильные ограждения на проезжей части пролетных строений с ортотропной плитой выполняются обычно из металла.

11.3. Компоновка и конструкции пролетных строений с ортотропной металлической плитой проезжей части

В подразд. 11.1 отмечалось, что металлические пролетные строения с ортотропной плитой проезжей части имеют два основных типа поперечных сечений (см. рис. 11.2): незамкнутое сечение с двумя или несколькими сплошными двутавровыми балками, замкнутое коробчатое сечение с вертикальными или наклонными стенками. Ортотропная плита проезжей части в этих пролетных строениях включается в их работу на общее действие нагрузки как верхний пояс.

Вид поперечного сечения пролетного строения зависит от его габарита и определяется пролетом (или вылетом) поперечного ребра ортотропной плиты, изменяющимся в пределах от 5 до 14 м.

Поперечное сечение главных балок этих пролетных строений образуется из стальных листов в виде стенок и поясов, объединяемых сварными швами (рис. 11.5, а). В качестве поясных листов используются листы универсальной стали толщиной 40...60 мм.

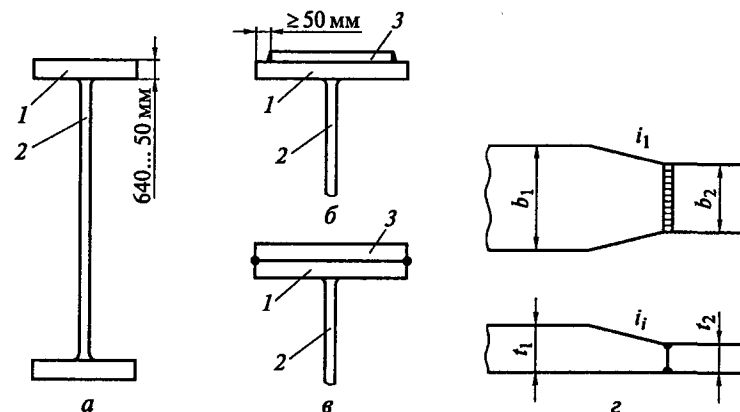


Рис. 11.5. Поперечное сечение двутавровых стальных сварных балок и способы изменения площади их поясов по длине пролета:

а — поперечное сечение балки; б, в — способы увеличения площади поясов; г — изменение ширины и толщины сечения листа пояса по длине строжки листа; 1 — пояс; 2 — стенка; 3 — дополнительный поясный лист; i_1 — для растянутых элементов 1:8; i_2 — для сжатых элементов 1:4

При необходимости в поясе может быть применено два листа, объединяемых сварными швами (рис. 11.5, б, в).

Изменение сечения двутавровых балок со сплошной стенкой производят изменением сечения листов поясов: только по ширине или за счет изменения обоих размеров сразу (рис. 11.5, г). Размеры более мощного листа уменьшают постепенно с уклоном 1 : 4 для сжатых поясов и 1 : 8 — для растянутых. Если пояс составлен из двух листов, то сначала обрывают внешний (для сечения балки) лист, создавая переходный участок с постоянным уменьшением сечения: в плане с уклоном 1 : 4 (рис. 11.5, д) и по толщине листа с уклоном 1 : 4 для сжатых поясов и 1 : 8 — для растянутых.

Стенки главных балок выполняют возможно более тонкими, но не менее 10 мм. Местная устойчивость стенок обеспечивается устройством поперечных и продольных ребер жесткости. Их располагают с одной стороны стенки или с разных сторон. Во втором случае конструкция и изготовление стенки проще, так как не имеет сложных в осуществлении мест пересечения продольных и поперечных ребер жесткости.

Среди поперечных ребер жесткости различают основные (опорные и промежуточные) и дополнительные. Основные поперечные ребра жесткости устанавливаются по всей высоте стенки. Расстояния между основными поперечными ребрами жесткости по длине балки принимаются в пределах (0,8...2) высоты стенки. Уменьшение расстояния между поперечными ребрами жесткости способствует повышению критических касательных напряжений.

Продольные ребра жесткости устанавливаются в сжатой зоне балок. Они способствуют повышению критических нормальных напряжений вдоль оси балки. Расстояния от сжатой кромки балки до продольного ребра жесткости обычно составляет 0,2...0,25 высоты стенки. Если применяется два ряда продольных ребер, то первый ряд устанавливается на расстоянии (0,15...0,20) h_w , а второй — (0,4...0,5) h_w от сжатого пояса.

Дополнительные поперечные ребра жесткости устанавливают на стенке в сжатой зоне балки между продольными ребрами жесткости в целях повышения критических нормальных напряжений, перпендикулярных оси балки.

Ребра жесткости могут быть парными симметричными относительно стенки и односторонними. Ширина и толщина ребер назначаются в соответствии с п. 4.131 СНиП 2.05-03-84*.

На рис. 11.6 приведены конструкции узлов присоединения поперечных ребер жесткости к сжатому и растянутому поясам балки, а также конструкция узла пересечения поперечного и продольного ребер жесткости.

В местах присоединения вертикальных ребер жесткости к поясам балки в них делают скруленные вырезы высотой 140 мм и шириной 50 мм, чтобы не пересекать поясные швы (см. рис. 11.6).

В местах пересечения вертикальных и горизонтальных ребер жесткости обычно прерывают вертикальные (рис. 11.6, б). Ребра жесткости прикрепляют к стенке и поясам сплошными двусторонними сварными швами. Вертикальные ребра жесткости приваривают к сжатому поясам непосредственно (рис. 11.6, а). Такое прикрепление к растянутому поясам нежелательно, так как сварные швы, расположенные поперек растянутого элемента, могут быть причиной концентрации напряжений, перенапряжений растянутого пояса, развития усталости в металле и появления в нем трещин. Поэтому обычно нижний конец поперечного ребра жесткости в месте примыкания к растянутому поясу приваривают к прокладке, которая крепится продольными сварными швами к поясу (рис. 11.6, в).

Металлические пролетные строения собираются на строительной площадке из отдельных блоков. Такими блоками обычно являются секции ортотропных плит в пределах консольных свесов и на участках между стенками, а также двутавровые балки с элементами жесткости и поперечные связи (рис. 11.7, а, в). Монтажные соединения выполняют на сварке и высокопрочных болтах. Лист настила ортотропной плиты проезжей части присоединяют сваркой к верхнему поясу балки внахлестку (рис. 11.7, б) или встык (рис. 11.7, г). Последний тип соединения является лучшим, так как позволяет упростить и облегчить конструкцию проезжей части.

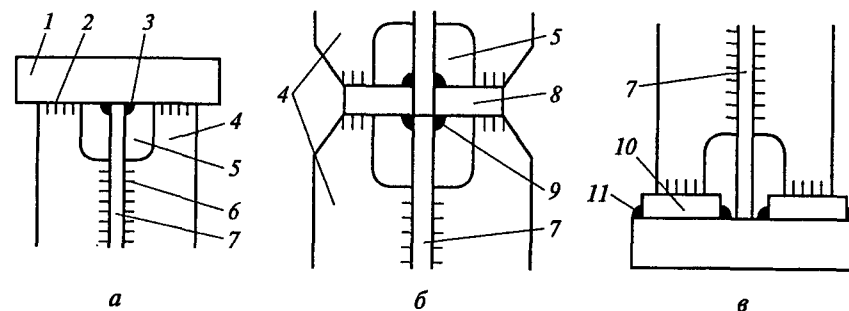


Рис. 11.6. Конструкция узлов:

а — присоединение поперечного ребра к сжатому поясу; б — пересечение поперечного и продольного ребер; в — присоединение поперечного ребра к растянутому поясу балки; 1 — верхний пояс балки; 2 — сварной шов для присоединения поперечного ребра жесткости к верхнему поясу; 3 — сварной шов для присоединения поперечного ребра жесткости; 4 — поперечное ребро жесткости; 5 — вырезы в поперечном ребре жесткости; 6 — сварной шов для присоединения поперечного ребра жесткости к стенке; 7 — стенка балки; 8 — продольное ребро жесткости; 9 — сварные швы для присоединения продольного ребра жесткости к стенке балки; 10 — подкладка под поперечным ребром жесткости; 11 — продольный шов для присоединения подкладки к нижнему поясу

Сопряжение поперечных балок блоков ортотропной плиты с элементами блоков стенок обычно осуществляется на высокопрочных болтах с использованием двухсторонних накладок. При этом вертикальные стыковые накладки устанавливают на стенку поперечного ребра блока плиты и на поперечное ребро жесткости блока стенки, а горизонтальные накладки ставят на нижний пояс поперечной балки блока плиты и на продольное ребро жесткости блока стенки (см. рис. 11.7, б, в). Сопряжения блоков нижней ортотропной плиты с блоками стенок пролетных строений обычно выполняют цельносварными. Соединение горизонтального листа плиты с нижним поясом двутавровой балки может быть внахлестку (рис. 11.7, д) или стыковым (рис. 11.7, е).

В современных пролетных строениях с ортотропной плитой проезжей части все сечения разбивают на отдельные монтажные элементы, все детали которых на заводе соединяют сваркой и которые имеют обычно небольшие размеры, что облегчает их перевозку. Во время монтажа эти элементы соединяют друг с другом как в поперечном, так и в продольном направлении высокопрочными болтами или сваркой (см. рис. 11.7, а, в).

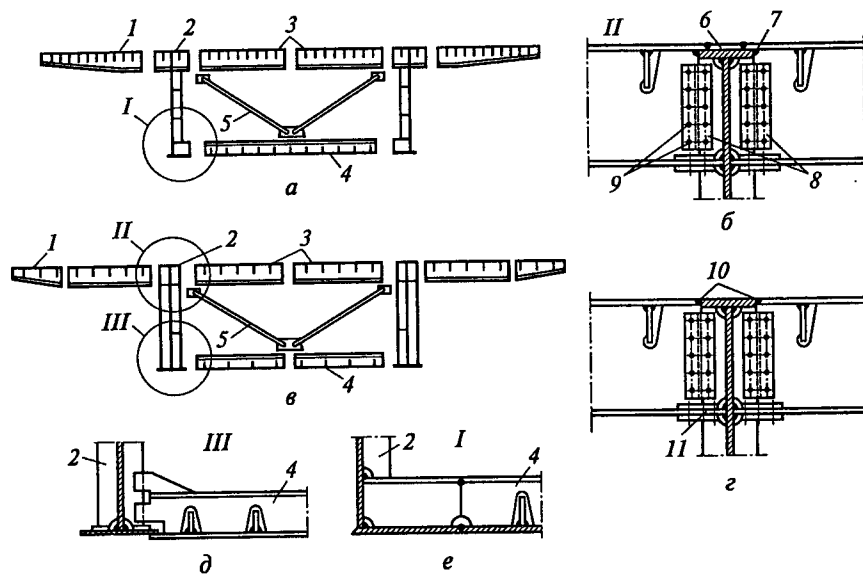


Рис. 11.7. Варианты монтажных блоков (а, в) цельнометаллических пролетных строений и их монтажных стыков (б, г, д, е):

1 — блоки консольных свесов верхней ортотропной плиты; 2 — блоки стенки; 3 — блоки верхней ортотропной плиты на участке между стенками; 4 — блок нижней ортотропной плиты; 5 — поперечные связи; 6 — монтажная вставка; 7 — угловой потолочный шов; 8 — двухсторонняя накладка; 9 — высокопрочные болты; 10 — стыковой сварной шов; 11 — продольное ребро жесткости

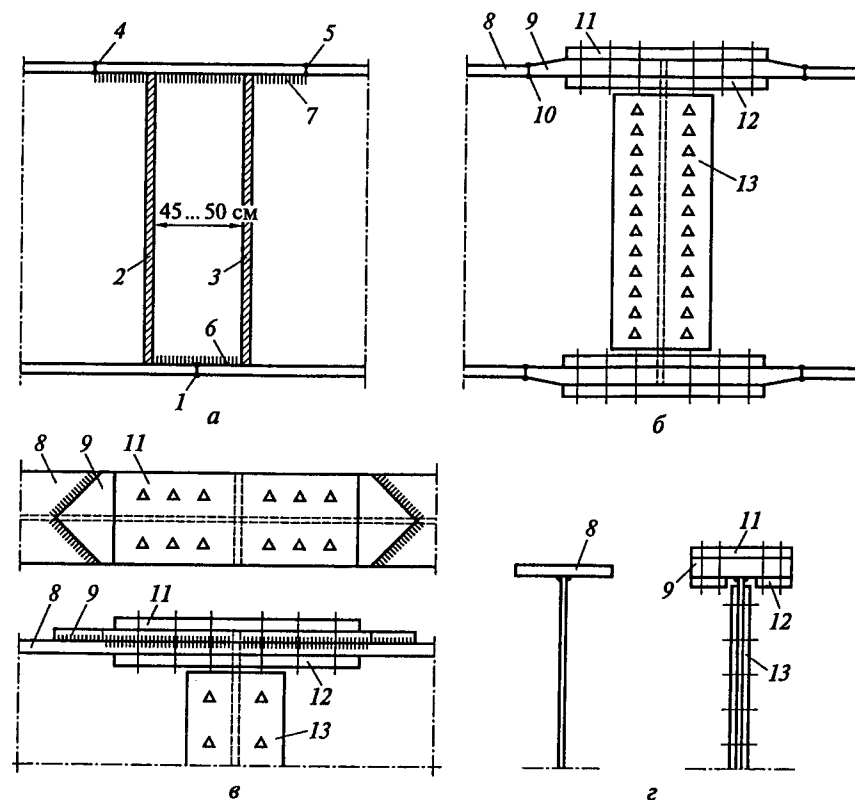


Рис. 11.8. Сварные (а) и болтовые (б—г) монтажные стыки сварных балок:

1 — 7 — порядок выполнения сварных швов на монтаже; 8 — пояс балки; 9 — компенсатор; 10 — сварной шов; 11 — верхняя стыковая накладка; 12 — нижняя стыковая накладка; 13 — стыковая накладка стенки

Монтажные стыки, соединяющие блоки заводского изготовления на строительной площадке, должны перекрывать все элементы сечения пролетного строения. Их конструкция должна обеспечивать прочность соединения, а также быть удобной при монтаже. Конструкция и порядок выполнения сварного монтажного стыка (рис. 11.8, а) должны учитывать возможность использования сварочного автомата. Вначале им выполняют шов 1 нижнего пояса балки.

Для обеспечения движения автомата по нижнему поясу в стенке предусматривается проем. В проем стенки вставляют лист и сваривают его автоматом со стенками швами 2 и 3. Далее устанавливают в проеме верхнего пояса стыковой лист и выполняют швы 4 и 5. После этого выполняют поясные швы 6 и 7.

В сварных балках часто устраивают также монтажные швы с использованием высокопрочных болтов и накладок. Вертикальную стенку перекрывают накладками с двух сторон, а стык листов поясов — односторонними или двухсторонними накладками (рис. 11.8, б). В зоне стыка сечение при этом получает ослабление отверстиями для болтов, которое не предусматривается при подборе сечений балок. Поэтому около монтажных швов необходимо устраивать компенсаторы (рис. 11.8, в, г, см. рис. 11.8, б), с помощью которых ослабленная отверстиями площадь сечения около стыка доводится до требуемой без ослаблений. Утолщение поясных листов около стыков (компенсаторы) осуществляют или наваркой дополнительных листов на лист пояса (см. рис. 11.8, в), или приваркой более толстого листа к поясу по концам монтажного блока (см. рис. 11.8, б, г). Возможно устройство стыка на высокопрочных болтах без компенсаторов в поясах, если стык расположен в сечении с достаточным запасом прочности, превышающим потери за счет создания отверстий для болтов.

На стенке балок компенсаторы не требуются, так как ее толщина назначается из условия устойчивости и по условию прочности она имеет значительные запасы.

11.4. Конструкции сталежелезобетонных пролетных строений

Железобетонная плита проезжей части в сталежелезобетонных пролетных строениях объединена со стальными балками так, что она включается в работу на общее действие нагрузки. Такое решение весьма эффективно в разрезных пролетных строениях, где главные балки на всей длине работают на положительный изгибающий момент, и железобетонная плита проезжей части работает на сжатие. Сталежелезобетонные балки применяются и в неразрезных пролетных строениях на части длины, где действуют только положительные моменты, а также на всей длине, когда в зоне отрицательных моментов пролетного строения в железобетонной плите проезжей части создают обжатие, чтобы она могла воспринимать растягивающие напряжения.

В сталежелезобетонных пролетных строениях железобетонная плита может быть сборной и монолитной. Для бетонирования монолитной плиты необходимы установка опалубки, производство арматурных работ на месте строительства, укладка бетонной смеси. Выполнение всех этих работ трудоемко, уход за бетоном во время его твердения сложен в климатических условиях большей части России. Но монолитная плита обеспечивает более надежную связь с упорами и лучше работает в объединенном сечении.

Сборные железобетонные плиты позволяют значительно ускорить темпы строительства, особенно в местностях с суровым климатом, но требуют специальных мер для связи с упорами и объединения плит в продольном и поперечном направлениях.

Вид поперечного сечения сталежелезобетонного пролетного строения зависит от его габарита и пролета и в значительной степени определяется рациональным пролетом железобетонной плиты, изменяющимся при толщине плиты 15...25 см в пределах от 3 до 6 м (рис. 11.9, а). При шаге сварных двутавровых балок 3 м в поперечном сечении плита проезжей части может быть принята толщиной 20 см. При шаге балок 6...10 м плиту той же толщины опирают на вспомогательные прогоны, выполняемые из прокатных профилей (рис. 11.9, б). Для улучшения распределения нагрузки между главными балками, а также для обеспечения устойчивости балок при надвижке пролетного строения в его поперечных сечениях с шагом 3...6 м устраивают решетчатые поперечные связи (рис. 11.9, а, б). Включение в работу балки железобетонной плиты проезжей части позволяет заметно уменьшить сечение стального верхнего пояса.

В сталежелезобетонных пролетных строениях при пролетах более 60 м применяют обычно балки коробчатого сечения с вертикальными и наклонными стенками (рис. 11.9, в, г).

Совместная работа железобетонной плиты и стальной части балки должна быть надежно обеспечена. Объединение обычно обеспечивается установкой жестких или гибких упоров, гибких арматурных связей или высокопрочных болтов (рис. 11.10).

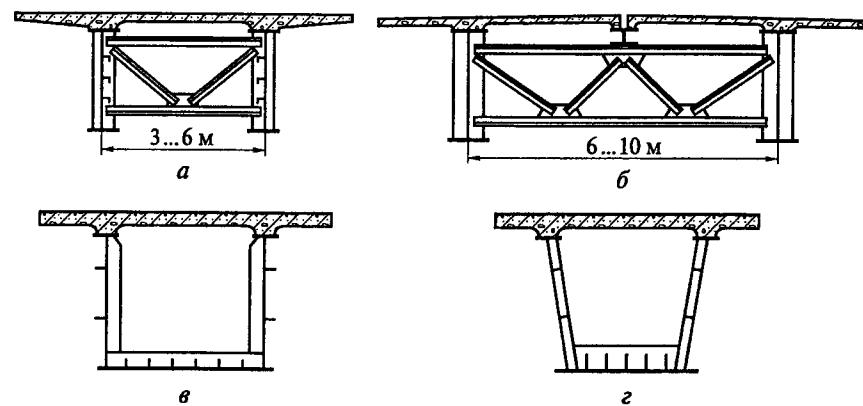


Рис. 11.9. Типы поперечных сечений сталежелезобетонных пролетных строений:

а, б — со сварными двутавровыми главными балками; в, г — с коробчатыми главными балками