

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
(ОСЖД)**

I издание

Разработано совещанием экспертов Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу 6-8 сентября 2016 г.,
Республика Беларусь, г. Гомель

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу 18-21 октября 2016 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 21 октября 2016 г.

P 774/10

**МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ.
КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ДЕФЕКТОВ**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Задачи обследования пролетного строения, подлежащего усилению	3
2. Классификация основных дефектов.....	3
3. Причины возникновения усталостных трещин	9
4. Общие данные о вариантах усиления	10
4.1. Усиление пролетного строения с устройством ортотропной плиты с ездой по балласту	12
4.2. Усиление пролетного строения с устройством безбалластной ортотропной плиты	13
4.3. Сравнение вариантов усиления по материалоемкости и назначенному ресурсу	13
5. Требования по конструкции отдельных узлов рекомендуемых вариантов усиления	15
5.1. Усиление элементов пролетных строений железнодорожных мостов с усталостными трещинами с использованием сварки	15
5.2. Прикрепление вертикальных ребер жесткости к поясам главной балки сваркой	20
5.3. Контроль качества сварных соединений	23
5.4. Повышение сопротивления усталости ремонтных швов высокочастотной механической проковкой	24
6. Требования по конструкции пролетных строений рекомендуемых вариантов усиления.....	26
6.1. Усиление пролетного строения путем устройства ортотропной плиты с ездой на балласте	26
6.2. Усиление пролетного строения путем устройства безбалластной ортотропной плиты	30
6.3. Усиление пролетного строения с ездой на поперечинах подкреплением верхних поясов главных балок продольными ребрами.....	32
6.4. Локализация трещин на усиливаемом пролетном строении и наблюдение за ним после усиления	32
7. Устройство гидроизоляции и антикоррозионных покрытий	33

1. Задачи обследования пролетного строения, подлежащего усилению

Обследование дефектного пролетного строения необходимо для решения вопроса о возможности и методах усиления различных типов сварных, болто-сварных и клепаных пролетных строений в зависимости от их состояния, конструктивных особенностей и предполагаемых сроков дальнейшей эксплуатации с учетом грузонапряженности линии. В настоящее время не существует однозначных критериев оценки несущей способности пролетных строений с трещинами усталости, поэтому наиболее действенным способом продления срока службы пролетных строений является своевременное усиление элементов, имеющих усталостные повреждения.

Перед проектированием усиления пролетного строения необходимо провести его детальное обследование.

При обследовании пролетного строения необходимо зафиксировать все имеющиеся в его элементах трещины с указанием мест их расположения и полной длины, характера (сквозная или поверхностная), предпринятых ранее мер по их локализации.

Особенно тщательно следует осматривать места наиболее вероятного появления и развития усталостных трещин.

2. Классификация основных дефектов

2.1. В сварных конструкциях трещины могут возникать и развиваться как в сварных швах, так и в основном металле вблизи швов. Особо тщательно нужно осматривать места наиболее вероятного появления трещин.

Местоположение и типы усталостных трещин, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Типы усталостных трещин

Тип трещины	Местоположение трещины
Т-1	В швах прикрепления распорок поперечных связей к фасонкам
Т-2	В металле верхних горизонтальных фасонок поперечных связей с началом от трещины Т-1
Т-3	В сварных швах прикрепления фасонок продольных связей к верхнему поясу главной балки
Т-4	В швах прикрепления вертикальных ребер жесткости к верхним поясам балок или к сухарикам
Т-5	На концах швов, прикрепляющих диагонали к фасонкам верхних продольных связей
Т-6	В швах соединений горизонтальных и вертикальных ребер жесткости
Т-7	В металле верхних фасонок поперечных связей от концов швов

Тип трещины	Местоположение трещины
	прикрепления распорок к фасонкам
T-8	В вертикальных ребрах жесткости у нижних концов фасонки поперечных связей
T-9	В стенках главных продольных балок у верхних концов швов приварки вертикальных ребер жесткости
T-10	В стенках главных продольных балок у нижних концов швов вертикальных ребер жесткости
T-11	В вертикальных ребрах жесткости от концов наружных швов прикрепления горизонтальных ребер к вертикальным ребрам жесткости
T-12	В вертикальных ребрах жесткости у верхнего пояса балки, начинаются от закругленной части выреза в ребре и распространяются под углом 45°
T-13	В стенках главных балок по линии сплавления шва прикрепления верхнего пояса к стенке балки у вертикальных ребер жесткости
T-14	В верхних поясах главных балок и продольных балок проезжей части вдоль шва прикрепления вертикального ребра жесткости
T-15	В стенках главных балок в уровне нижнего болта прикрепления уголков опорного ребра жесткости, развиваются параллельно нижнему поясу
T-16	В стенках главных балок у опорного ребра жесткости по линии сплавления нижнего поясного шва
T-17	В стенках продольных балок в месте прикрепления их к поперечной балке проезжей части по линии сплавления верхнего поясного шва
T-18	В стенках домкратных балок у верхнего и нижнего поясов, развиваются от вырезов в стенке в зоне шва прикрепления пояса по металлу стенки под углом 45° к поясу
T-19	В горизонтальных фасонках прикрепления опорных поперечных балок к нижним поясам главных балок, появляются у конца нижнего пояса поперечной балки и развиваются под углом до 45° к поясу с выходом на край фасонки
T-20	В фасонках, расположенных в местах пересечения диагоналей нижних продольных связей главных ферм, развиваются параллельно торцу одной из половин составной диагонали от ближнего к этому торцу болта ее прикрепления к фасонке либо вдоль торца
T-21	В продольных швах соединений листов составных верхних поясов балок, обычно появляются с внутренней стороны поясов у вертикальных ребер жесткости
T-22	В стенках поперечных балок проезжей части в местах прикрепления балок к узлам ферм от выреза у нижнего пояса, развиваются под углом 45° к нижнему поясу
T-23	В стенках поперечных балок проезжей части, начинаются от выкружки в стенке в месте прикрепления верхнего пояса балки к ферме и развиваются под углом 45° к верхнему поясу
T-24	В уголках – подвесках прикрепления смотровых трапов к нижнему поясу продольных балок у сварных швов прикрепления уголков к поясу продольной балки или к поручням
T-25	В верхнем поясе поперечной балки под продольным ребром жесткости, растет симметрично в обе стороны от оси стенки ребра

Тип трещины	Местоположение трещины
	на 15-20 мм и поворачивает в металл пояса поперечной балки под углом 45 °
T-26	В нижнем поясе продольного ребра жесткости ортотропной плиты вдоль углового шва прикрепления нижнего пояса к вертикальной стенке ребра по линии сплавления шва с металлом нижнего пояса

Наиболее распространенными повреждениями являются трещины во фланговых швах прикрепления обушков уголковых распорок поперечных связей к фасонкам продольных связей (Т-1). Эти трещины начинаются, как правило, от концов швов, расположенных со стороны торцов элементов связей, а нередко распространяются на металл фасонки.

Наиболее характерные усталостные трещины показаны на рисунках 2.1 -2.4.

При восстановлении прикрепления распорок с помощью высокопрочных болтов или при близком расположении швов прикрепления фасонки к поясу и элементов связей к фасонкам, образуются трещины типа Т-2 и Т-3, которые в отдельных случаях приводят к полному отрыву узких фасонки от поясов. В случае приварки вертикальных ребер жесткости или "сухарики" к поясам образуются трещины типа Т-4 (рисунок 2.2).

Надрывы, наблюдавшиеся в начале эксплуатации на концах фланговых швов, прикрепляющих диагонали к фасонкам верхних продольных связей, в процессе эксплуатации развиваются в трещины типа Т-5. В отдельных случаях такие трещины выходят на металл фасонки.

2.2. Выявление трещин в металле осуществляется визуальным осмотром, в необходимых случаях – с использованием лупы и специальных микроскопов, а также с помощью дефектоскопов. Сварные соединения и прилегающий основной металл осматривают, обращая особое внимание на околошовную зону, на места с резким или недостаточно плавным изменением сечения, на концы фланговых швов нахлесточных соединений и прикреплений фасонки связей, а также на другие места, вызывающие концентрацию напряжений.

При осмотре необходимо обращать внимание на трещины в краске, подтеки и следы проступающей ржавчины, являющиеся косвенными признаками появления трещин в металле. Такие места должны быть очищены от краски и осмотрены с применением лупы или микроскопа. В случае сомнения в наличии трещины необходимо узким острым зубилом срубить тонкую стружку с поверхности металла по направлению предполагаемой трещины. Раздваивание стружки подтверждает наличие трещин в данном месте. При работе с зубилом нельзя допускать зарубок металла. Очищенные от краски участки металла, а также металл в местах образования усталостных трещин рекомендуется окрасить светлой краской для облегчения последующих наблюдений.

Места наиболее вероятного появления трещин при каждой окраске металлических конструкций необходимо очищать от старой краски до

металла (независимо от состояния окрасочного слоя) и тщательно осматривать.

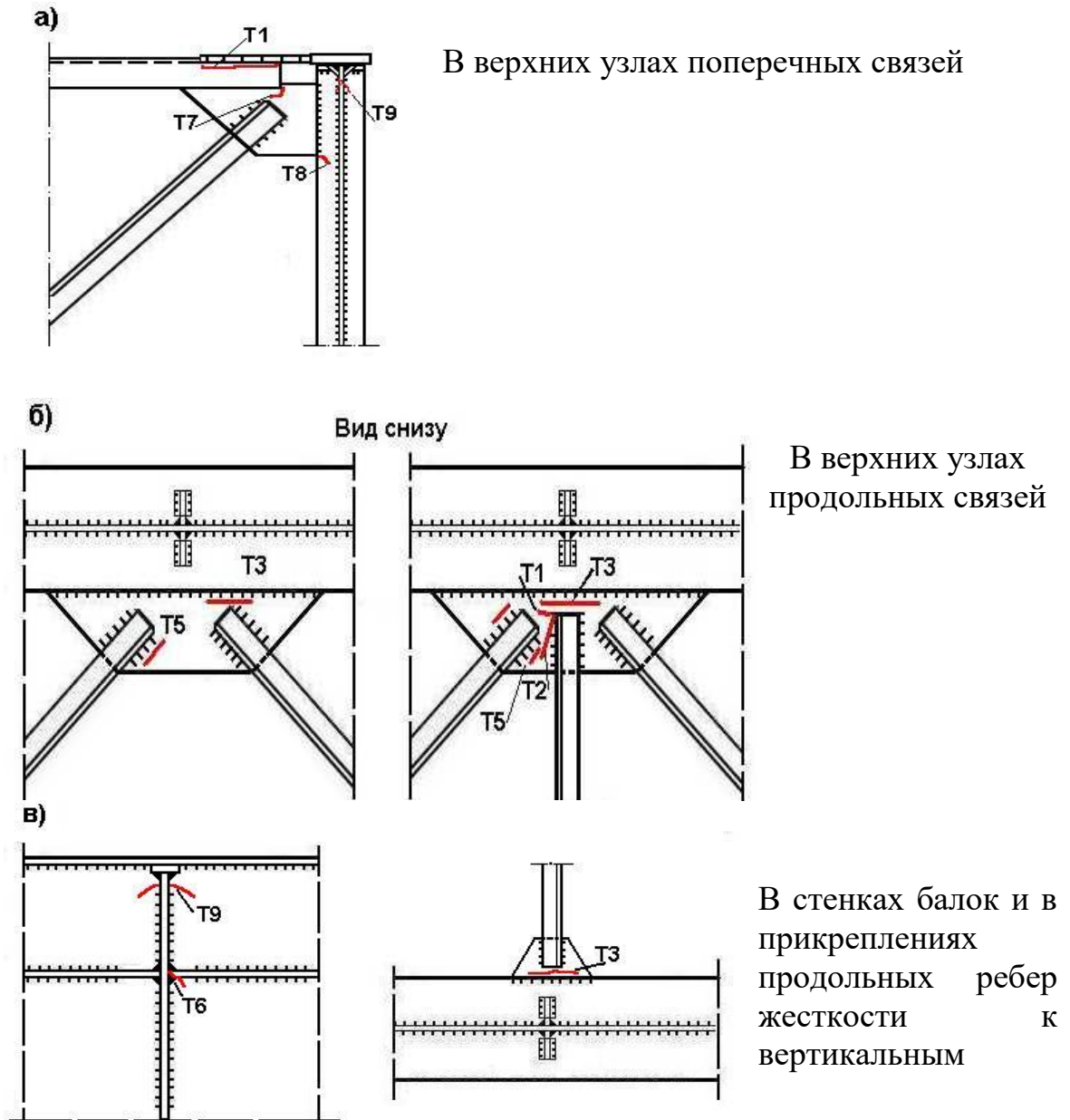


Рисунок 2.1. Усталостные трещины в элементах цельносварных сплошностенчатых пролетных строений

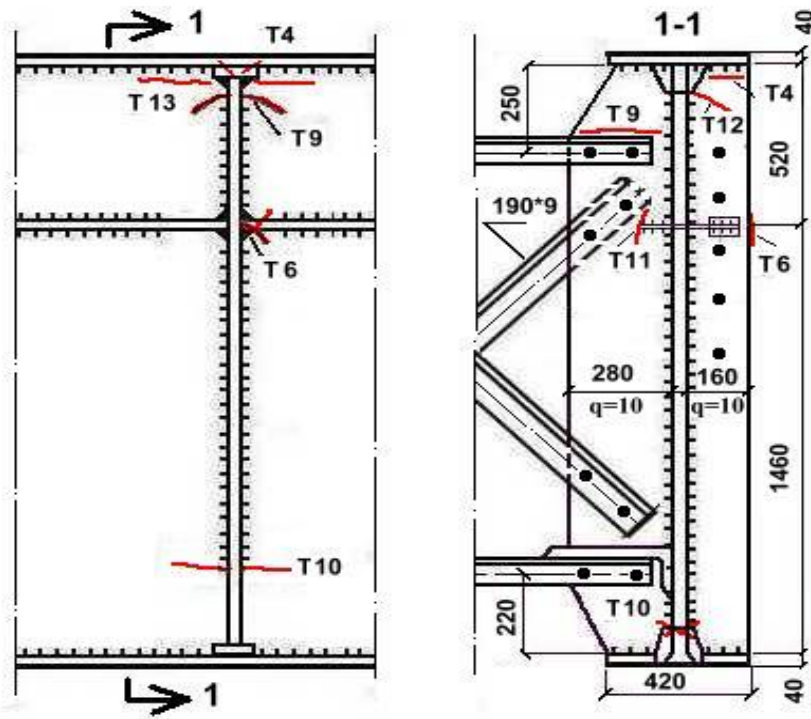


Рисунок 2.2. Усталостные трещины в элементах сплошнотенчатых пролетных строений

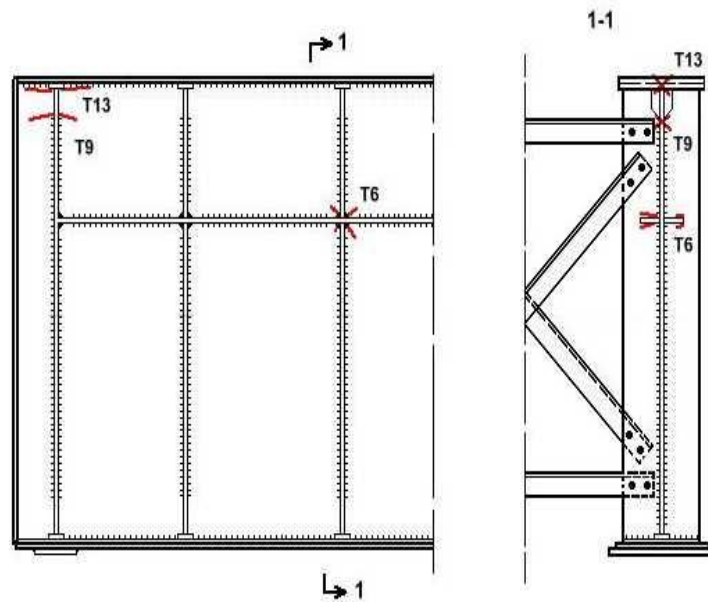


Рисунок 2.3. Усталостные трещины в металле сталежелезобетонных пролетных строений

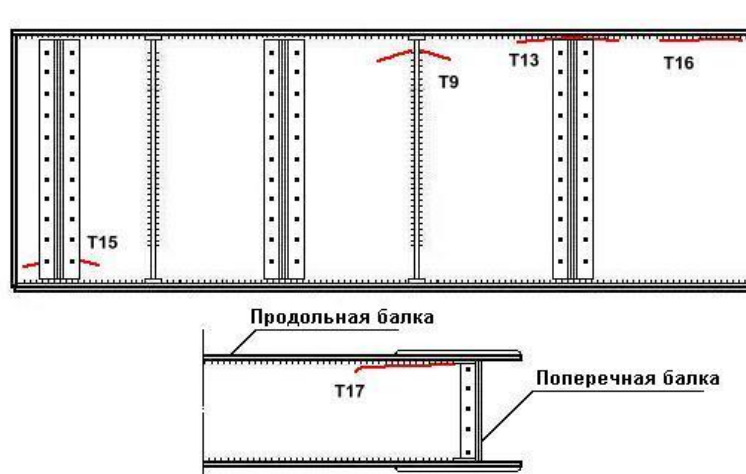


Рисунок 2.4. Усталостные трещины в элементах пролетных строений открытого типа

2.3. Все выявленные в металлических пролетных строениях и опорах дефекты, снижающие прочность и устойчивость элементов конструкции – трещины, повреждения соединительной решетки сжатых элементов (отрыв диагоналей) и другие подобные дефекты, должны быть, немедленно устранены. Влияние других повреждений на прочность и устойчивость элементов конструкции при необходимости устанавливается расчетом, и если они не снижают требуемой грузоподъемности, то могут быть устранены в плановом порядке.

Поверхностные дефекты и острые подрезы на глубину до 2 мм необходимо исправить плавной зачисткой металла с помощью шлифовальной машинки. Глубина подреза на торце стыкового шва определяется по изготовленному макрошлифу.

Усталостные трещины длиной более 20 мм для прекращения их дальнейшего развития необходимо засверливать по концам на всю толщину поврежденного металла сверлом диаметром 18 – 23 мм. При этом центр отверстия должен располагаться на расстоянии половины диаметра сверла за концом трещины. Отверстие следует раззенковать с обеих сторон на глубину 2 – 3 мм. Если позволяет место, рекомендуется устанавливать высокопрочный болт диаметром 22 мм и затягивать его с усилием до 20 тс.

За засверленными трещинами необходимо установить наблюдение, и, в случае их дальнейшего развития, производить усиление конструкции по проекту.

За усталостными трещинами длиной до 20 мм необходимо установить наблюдение.

Треснувшие уголки прикрепления продольных балок к поперечным подлежат замене новыми. Трещины в поясных уголках продольных балок следует перекрывать уголковыми накладками; при большом числе трещин

поясные уголки нужно заменять.

Для предупреждения появления усталостных трещин в пролетных строениях необходимо производить усиление элементов, имеющих низкую грузоподъемность с учетом выносливости, по специальным проектам. Применение сварки для устранения повреждений допускается по специальным проектам, согласованным с Управлением пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры.

2.4. При обследовании соединений и прикреплений элементов на высокопрочных болтах, а также высокопрочных болтов в смешанных клепано-болтовых и болтосварных соединениях надлежит обращать внимание на состояние головок болтов, гаек и шайб. Высокопрочные болты со следами сварных швов или прихваченные сваркой в эксплуатацию не допускаются, и подлежат немедленной замене. Резьба болтов должна выступать за пределы гайки не менее, чем на один виток.

При обследовании высокопрочных болтов в прикреплениях продольных балок к поперечным в конструкции без рыбок наряду с состоянием головок болтов, гаек и шайб следует проверять затяжку болтов в крайних рядах прикреплений. В этих местах высокопрочные болты проверяются и затягиваются до расчетного усилия. В других соединениях проверку натяжения болтов следует производить только при возникновении сомнений в достаточности их натяжения (наличие трещин в краске по торцам элементов и по периметру шайб, потеков ржавчины из-под шайб и т.п.).

При обследовании соединений на высокопрочных болтах следует выполнять требования действующих руководящих документов.

3. Причины возникновения усталостных трещин

При проектировании усиления пролетных строений следует учитывать комплекс причин, вызывающих образование и развитие трещин в усиливаемой конструкции. Такими причинами являются:

- высокие (до предела текучести) остаточные напряжения в местах обрыва швов прикрепления вертикальных или горизонтальных ребер жесткости (для сварных конструкций), а также различного рода технологические непровары или шлаковые включения, резко повышающие концентрацию напряжений, или конструктивные концентраторы;

- знакопеременные напряжения от внешней нагрузки, резко ухудшающие условия работы на выносливость участков стенок в балках; наиболее значительными такие знакопеременные напряжения бывают из-за циклического кручения верхних поясов балок от изгиба конструкций мостового полотна;

- поперечные колебания низкой частоты отсеков в стенках балок и нижних поясов;

- вибрации средней и высокой частоты, воздействующие, прежде всего, на отсеки стенок и в связях.

Кроме того, образованию трещин в пролетных строениях могут также способствовать следующие причины:

- люфты в опорных частях, которые влияют на трещиностойкость. Опорных узлов балок (это влияние тем существеннее, чем короче пролет);
- наличие неровностей пути и рельсовых стыков на пролетном строении, а также предмостовых ям, увеличивающих динамическое воздействие экипажа на пролетное строение в целом и, в особенности, на приопорные панели балок.

4. Общие данные о вариантах усиления

Усиление дефектного пролетного строения выполняется с целью продления срока его службы или обеспечения его вновь назначенного ресурса. Последний после усиления зависит как от интенсивности его дальнейшей эксплуатации, так и от вида проведенного усиления. При выполнении усиления пролетного строения решаются не только технические, но и экономические задачи. Поэтому предлагаются варианты усиления пролетных строений с различной материалоемкостью и расчетной усталостной прочностью. При всех вариантах материалоемкость при усилении дефектных пролетных строений ниже, чем при их замене. Кроме того, после усиления пролетное строение может приобрести новые качества, отличающие его условия эксплуатации (существенно снижающие эксплуатационные расходы), которые отсутствуют у типовых пролетных строений.

Для достижения поставленной задачи необходимо с помощью усиления изменить характер работы и величину действительной нагруженности элементов, имеющих трещины. Это достигается, в частности, центрированной передачей нагрузки от мостового полотна на верхние пояса и стенки балок, а также снижением вибрационного фона.

При обнаружении усталостных трещин в основном металле элементов пролетных строений длиной более 20 мм концы их засверливаются сверлом диаметром 18-20 мм. Центр отверстия должен располагаться на расстоянии половины диаметра сверла за концом трещины. Для уменьшения концентрации напряжений рекомендуется производить зенковку с обеих сторон отверстия на глубину 2-3 мм.

После засверловки концов трещин производятся следующие мероприятия, в зависимости от типа усталостных трещин:

Т-1, Т-2 – уголки элементов продольных связей прикрепляются к фасонкам с помощью одного высокопрочного болта, поставленного на расстоянии 40-50 мм от кромки фасонки;

Т-3 – при длине трещины более половины шва прикрепления устанавливаются накладки на высокопрочных болтах;

Т-4 – осуществляется плотное примыкание ребер жесткости к верхним поясам с помощью центрирующих планок;

Т-5 – уголки диагоналей верхних продольных связей прикрепляются

к фасонке двумя высокопрочными болтами;

Т-6 – осматриваются швы прикрепления горизонтальных ребер жесткости к стенкам. Оборванные швы восстанавливаются по методике заварки технологических трещин или ставятся уголки коротыши для объединения горизонтальных и вертикальных ребер жесткости;

Т-7 – фасонки перекрываются накладкой на высокопрочных болтах. Выступающая кромка диагонали поперечных связей срезается;

Т-8 – наблюдение в соответствии с действующей инструкцией;

Т-9 – обеспечивается плотное примыкание ребер жесткости к верхним поясам с помощью центрирующих планок. Для этого проводится срезка верхней части вертикальных ребер жесткости на длине 40 мм от пояса. Места примыкания планок к поверхности вертикальных ребер жесткости и к поясу зачищаются до чистого металла. По отверстиям, просверленным в планках, размечаются отверстия в ребрах так, чтобы планки плотно прилегли к поясу.

После сверления отверстий в ребрах диаметром 25 мм, планки устанавливаются на ребра, поджимаются болтами и подбиваются до плотного, без зазоров, примыкания к поясу. Зафиксировав это положение струбцинами, производят затяжку высокопрочных болтов на усилие 20 т.

В сталежелезобетонных пролетных строениях усиление производится двухсторонними уголковыми коротышами, прикрепленными к опорному ребру и верхнему поясу высокопрочными болтами. В случае отсутствия зазоров между «сухариками» и верхними поясами уголки усиления устанавливаются через одну или две прокладки 200х200 мм соответствующей толщины, позволяющие обойти «сухарик». При наличии зазора между «сухариками» и верхними поясами – «сухарики» можно срезать, а уголки усиления установить без прокладок.

Т-10 – осуществляется приварка ребер жесткости к нижнему поясу или фрикционное соединение с помощью уголковых коротышей, прикрепленных к вертикальным ребрам жесткости и поясам с помощью 4-х высокопрочных болтов (по два на каждый элемент). В последнем случае производится срезка части вертикальных ребер жесткости с обычными «сухариками» на длине 40 мм от нижнего пояса. Места примыкания «сухариков» к поясу и к ребрам зачищаются до чистого металла.

Т-11 – срезать выступающие полки диагоналей поперечных связей.

Т-12 – поставить центрирующие планки. Длина планки подбирается по месту.

Т-13 – усиление как и при Т-9, а при длине трещин более 200 мм производится постановка двухсторонних поясных уголков на высокопрочных болтах.

Т-14 – установить двухсторонние накладки на высокопрочных болтах. При этом производится срезка верхней части вертикального ребра, зачистка нижней поверхности верхнего пояса и восстановление примыкания вертикальных ребер к поясу с помощью центрирующих

планок.

Т-15 – установить специальные упругие прокладки между верхними балансирами опорных частей и поясами главных балок, обеспечив плотное опирание внутренних опорных уголков на нижние пояса. Установка упругих прокладок обеспечит свободу угловых деформаций опорных узлов в поперечном к оси моста направлении, что приведет к существенному уменьшению изгибающего момента в местах возникновения трещин.

Т-16 – при длине трещины более 200 мм производится постановка двухсторонних поясных уголков на высокопрочных болтах.

Т-17 – производится постановка двухсторонних поясных уголков на высокопрочных болтах или замена продольной балки.

Кроме того, в решетчатых пролетных строениях, трещины возникают в фасонках, расположенных в местах пересечения диагоналей. Поврежденные фасонки заменяются уголковыми или тавровыми накладками соответствующих сечений, со скошенными на длине 100 мм концами выступающих полок.

При плановой замене мостовых брусьев на сварных сплошностенчатых пролетных строениях рекомендуется для уменьшения кручения верхних поясов вводить центрирующие прокладки шириной 240-300 мм между брусьями и верхним поясом.

4.1. Усиление пролетного строения с устройством ортотропной плиты с ездой по балласту

Срок службы пролетных строений с трещинами после усиления в этом случае при грузонапряженности линии около 40 млн. т бр. В год может составлять около 60 лет и более (в зависимости от типа гидроизоляции балластного корыта).

После усиления пролетное строение может эксплуатироваться без ограничений.

Расход металла на усиление составляет от 20 % до 50 % от массы нового типового металлического пролетного строения с безбалластным мостовым полотном и до 45 % от массы нового металлического пролетного строения с ездой на балласте.

Минимальная ширина балластного корыта принята 4500 мм.

На пролетном строении рекомендуется укладывать бесстыковой путь.

Устройство балластного корыта снижает уровень вибрационного фона на частотах до 80 Гц в 3-5 раз.

Балластное корыто предохраняет главные балки и связи от атмосферных воздействий. При устройстве балластного корыта на мосту необходимо произвести расчет грузоподъемности пролетных строений и опор с учетом изменения постоянных нагрузок на конструкции.

4.2. Усиление пролетного строения с устройством безбалластной ортотропной плиты

Срок службы пролетных строений с трещинами после усиления по этому варианту составляет до 40 лет при грузонапряженности линии 40 млн. т бр. В год. Расход основного металла на усиление составляет около 40 % от массы нового типового металлического пролетного строения с безбалластным мостовым полотном и до 30 % от массы нового металлического коробчатого пролетного строения с ездой на балласте. Снижение вибрационного фона на частотах до 80 Гц (вне зоны рельсовых стыков) в 1,5-2 раза. На пролетном строении предпочтительна укладка бесстыкового пути. Мостовое полотно может быть выполнено из деревянных поперечин (мостобрус или шпалы) или в виде контейнерного прикрепления рельса. Ортотропная плита предохраняет главные балки и связи от атмосферных воздействий.

4.3. Сравнение вариантов усиления по материалоемкости и назначенному ресурсу

Сравнение материалоемкости вариантов усиления дефектных сварных пролетных строений выполнено на основе эскизного проектирования усиления пролетных строений пролетами 23÷33 м. В таблице 4.1 представлен расход основного и дополнительного металла для усиления конструкции по предлагаемым вариантам с указанием назначенного ресурса.

Таблица 4.1

Расход основного и дополнительного металла для усиления конструкции по предлагаемым вариантам и ресурс усиленных пролетных строений при грузонапряженности линии 40 млн. т брутто в год

Длина пролетного строения	Масса металла (т) на пролетное строение с ездой											
	на балласте				на безбалластной ортотропной плите				на поперечинах			
	типовое	конструкции усиления			типовое	конструкции усиления			типовое	конструкции усиления		
		Всего	в % к типовой	Плановый ресурс лет		Всего	в % к типовой	Плановый ресурс лет		Всего	в % к типовой	Плановый ресурс лет
23 м	42				42				42			
С заменой тротуаров		25	66	60 и более		21	50	40		8	19	35
Без замены тротуаров			-	-		16	38	40		3	7	35
27 м	58				58				58			
С заменой тротуаров		36	62	60 и более		26	44	40		14	24	35
Без замены тротуаров		-	-			21	36	40		8	13	35
33 м	90/80				80				80			
С заменой тротуаров			46/57	60 и более		32	40	40		17	21	35
Без замены тротуаров		-				25	31	40		10	13	35

5. Требования по конструкции отдельных узлов рекомендуемых вариантов усиления

Предложения по усилению пролетных строений с трещинами в стенках балок и фасонках прикрепления связей разработаны ВНИИЖТ. Отступление от предложенных конструктивных решений могут не обеспечить их усталостную прочность.

5.1. Усиление элементов пролетных строений железнодорожных мостов с усталостными трещинами с использованием сварки

С целью обеспечения надежной эксплуатации сварных металлических пролетных строений железнодорожных мостов, поврежденных усталостными трещинами, и продления эксплуатационного ресурса металлоконструкций может применяться метод их ремонта с помощью сварки с последующей высокочастотной механической проковкой. Такой метод допустим для ремонта пролетных строений железнодорожных мостов, изготовленных из низколегированных сталей марок 15ХСНД, 10ХСНД, 09Г2С.

Последовательность выполнения ремонтных работ:

Подготовительные работы.

Перед началом ремонтных работ участок с дефектами должен быть очищен от грязи, ржавчины и масел.

Места образования трещин (рисунок 5.1) и прилегающие к ним участки металла необходимо зачистить шлифовальной машинкой до металлического блеска для проведения осмотра.



Рисунок 5.1. Трещина

Подготовленные поверхности исследуются на предмет определения мест начала и окончания развития трещины. Для этого может применяться визуально-оптический, магнитопорошковый или капиллярный методы контроля.

Ремонтные работы

Разделку трещины выполняют механическим способом (рис 5.2). В отдельных случаях допускается удалять трещины электродуговым строганием специальными электродами марки АНР-3 Ø 4 мм.



Рисунок 5.2. Разделка трещины.

В местах удаления дефектов формируют кромки металла под сварку. Поверхности кромок зачищают до металлического блеска при условии применения электродугового строгания.

Кромки проверяют на предмет наличия дефектов с использованием магнитопорошкового или капиллярного методов контроля.

При выявлении дефектов необходимо повторить операции, описанные выше.

Далее трещину заваривают ручной дуговой сваркой (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3. Трещина после заваривания

После заваривания трещину зачищают в уровень с основным металлом с последующим контролем качества сварных соединений, которые сформировались при ремонте визуально-оптическим и ультразвуковым или радиографическим методом.

На завершающей стадии выполняют высокочастотную механическую проковку ремонтных швов и восстановление антикоррозийного покрытия (рис 5.4).



Рисунок 5.4 Окончательный вид после ремонта

Разделка трещин и подготовка к сварке

Трещина разделяется с обеих сторон на всю глубину ее залегания. Кромки ремонтных выборок формируют механическим способом. Схема раскрытия кромок представлена на рисунке 5.5. Стыковое соединение типа С39 по ГОСТ 5264-80.

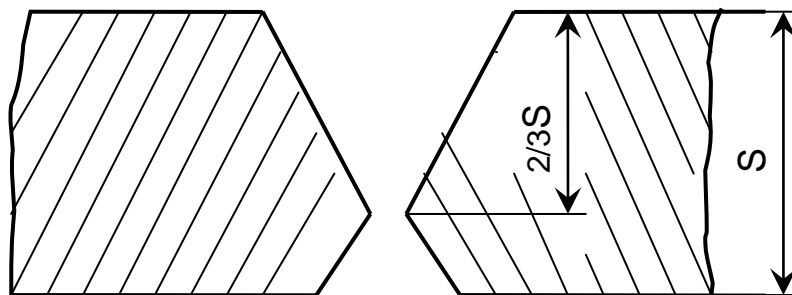


Рисунок 5.5 Схема раскрытия кромок

При удалении трещин и формировании кромок в конструкциях допускается удаление трещины с использованием ручного дугового строгания. Электродуговое строгание выполняется специализированными электродами, например, марки АНР-3 Ø 4,0 мм на постоянном токе обратной полярности $I_{ЗВ} = 250 \dots 280$ А. Количество проходов и порядок выполнения выбираются таким образом, чтобы в результате расчистки пораженных дефектами элементов детали достичь полного устранения трещины по всей длине и толщине металла.

Зачистка кромок металла после электродугового строгания до металлического блеска выполняется механическим способом. После механической обработки кромки следует проконтролировать визуально, оптическим методом магнитно-порошковым или капиллярным способом, на предмет выявления дефектов. Если в процессе контроля будет установлено их наличие, операции с удалением дефектов необходимо повторить.

Заварка трещины

Выбор технологических решений по сварки при ремонте в каждом конкретном случае требует индивидуального подхода. Во всех случаях работы должны включать следующие этапы:

- предварительный подогрев;
- заварка разделанных трещин;
- снятие утолщений металла шва с обеспечением плавного его перехода к основному металлу.

Заварку металлоконструкции необходимо выполнять при температуре окружающей среды не ниже минус 5°C в местах, защищенных от сквозняков и осадков.

Сварной шов класть без прерываний по всей длине трещины.

Во время сварки необходимо постоянно контролировать температуру металла в зоне плавления. Место ремонта следует подогреть до температуры $70 - 90^{\circ}\text{C}$ и поддерживать ее во время всего процесса сварки. В случае снижения температуры металла в процессе выполнения сварочных работ его следует дополнительно подогревать. Если в процессе

сварки металл нагрелся до температуры выше 200°С необходимо подождать, пока соединение остынет до заданной температуры.

Контроль температуры металла должен выполняться термокарандашами, контактными или бесконтактными датчиками температуры.

Подогрев следует выполнять газокислородным пламенем. Пламя не должно направляться на кромки соединения. Металл в зоне сварки подогревается равномерно по обе стороны от кромок на расстоянии ≈ 50 мм от них. Ширина зоны подогрева 200...250 мм.

Сварку необходимо выполнять короткой дугой, длина дуги не должна превышать одного диаметра электрода. Дугу в процессе сварки нужно обрывать как можно реже. Перед обрывом дуги необходимо заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и дуги обратно на 15...20 мм на только что наплавленный металл. Следующее зажигание выполняется на кромке или на наплавленном металле шва на расстоянии 20-25 мм от кратера.

Для исключения шлакований в металле шва кромки разработки необходимо наплавлять как можно плоским валиком. Для этого нужно на мгновение задерживать электрод около кромки или отвести его на мгновение. После окончания наплавки и охлаждения каждого валика шлак не обходимо удалять.

После удаления шлака, наплавленный слой необходимо визуально проконтролировать на предмет наличия дефектов.

При обнаружении на поверхности шва трещин и пор дефектное место следует удалить механическим способом до «здорового» металла и заварить повторно.

Все слои шва следует выполнять электродами $\varnothing 3,0$ мм. В горизонтальном положении на вертикальной площади, на режиме $I_{зв} = 80-100$ А.

Пример выполнения сварки в зависимости от ширины разработки кромок показан на рисунке 5.6.

После полного охлаждения соединения швы необходимо зачистить заподлицо с основным металлом и выполнить его неразрушающий контроль

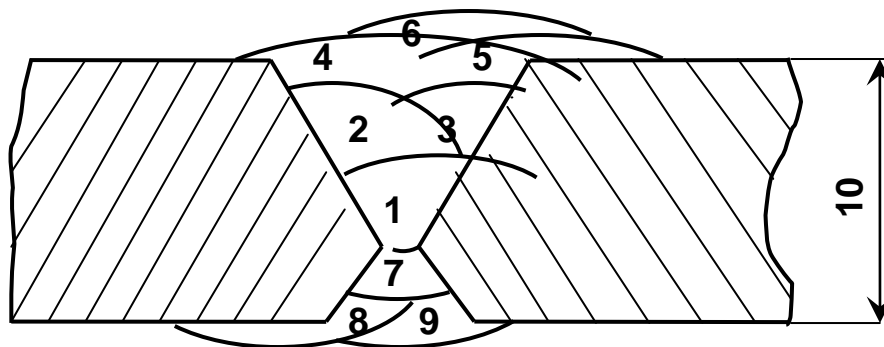


Рисунок 5.6 Последовательность выполнения сварки в зависимости от ширины разработки кромок.

5.2. Прикрепление вертикальных ребер жесткости к поясам главной балки сваркой

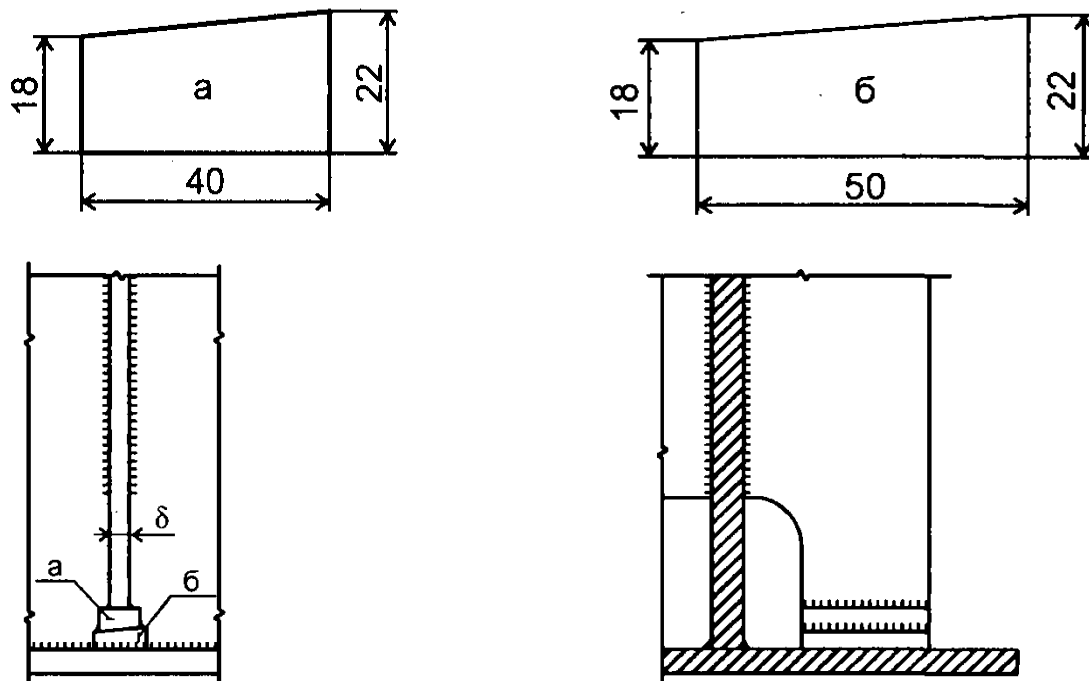


Рисунок 5.7. Фрагмент примыкания вертикального ребра в нижнем поясе балки с помощью клиновидных «сухариков».

Ремонт заключается в замене клиновидных «сухариков» стальной пластиной, которую соединяют стыковым швом с вертикальным ребром жесткости, а угловыми швами с вертикальной стенкой и полкой главной балки (рисунок 5.7).

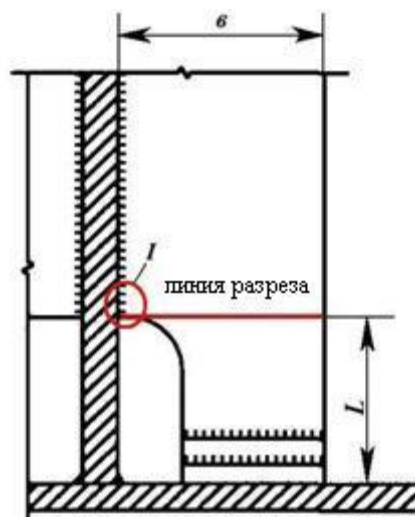


Рисунок 5.8. Замена ребра жесткости.

Ремонт выполняется в следующей последовательности:

- 1) Удалить часть ребра жесткости по линии разреза (рисунок 5.8);
- 2) Из стали, которая по химическому составу и механическим свойствам аналогична стали, из которой изготовлено ребро жесткости, изготовить пластину-вставку (рисунки 5.9-5.10). Пластина-вставка и ребро жесткости должны быть одинаковой толщины. Допускается использование сталей других марок подобного класса прочности, регламентируемые для металлоконструкций. Скосы кромок вставки должны быть симметричны.

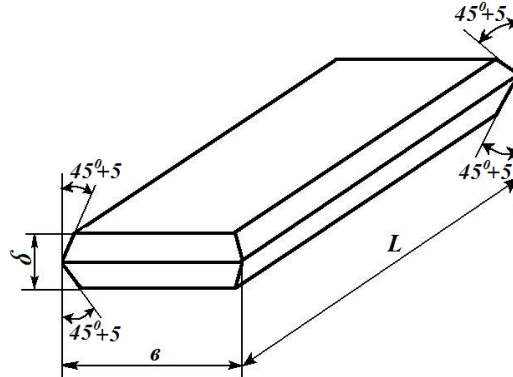


Рисунок 5.9. Пластина-вставка

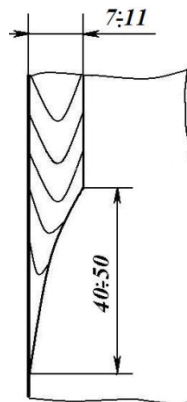
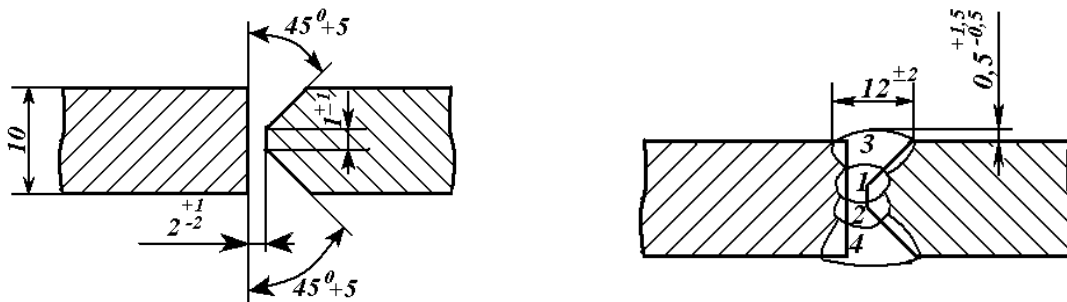


Рисунок 5.10. Вид очищенной участка углового шва таврового соединения



а)

б)

Рисунок 5.11. Конструктивные размеры и порядок сварки стыкового соединения

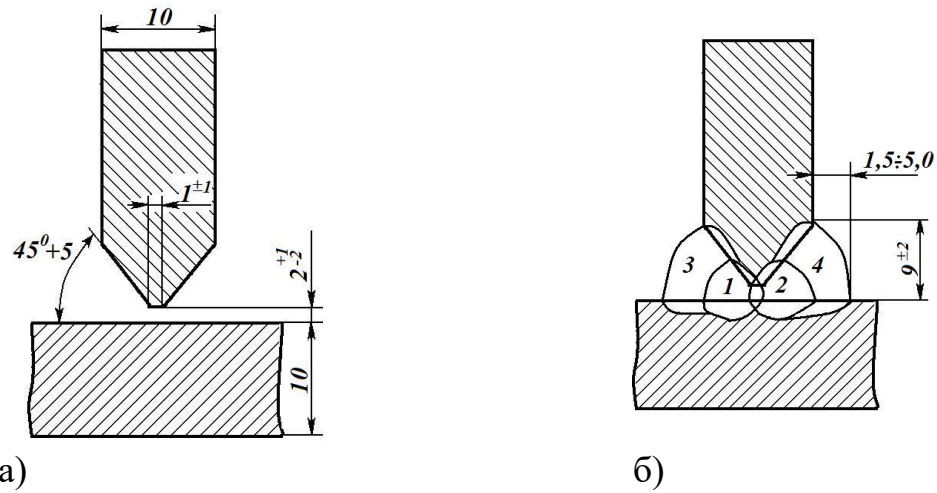


Рисунок 5.12. Конструктивные размеры и порядок заполнения разработки таврового соединения.

3) Установить вставку вместо удаленной части ребра жесткости и прихватить к главной балке и части ребра оставшейся (по две прихватки длиной 10-15 мм на каждой стороне) таким образом, чтобы конструктивные размеры стыкового соединения соответствовали рисунку 5.11а, а тавровых - рисунок. 5.12а.

4) Выполнить сварки сначала стыковой, а затем тавровых сварных соединений в соответствии со схемой и в последовательности указанной на рисунок 5.13.

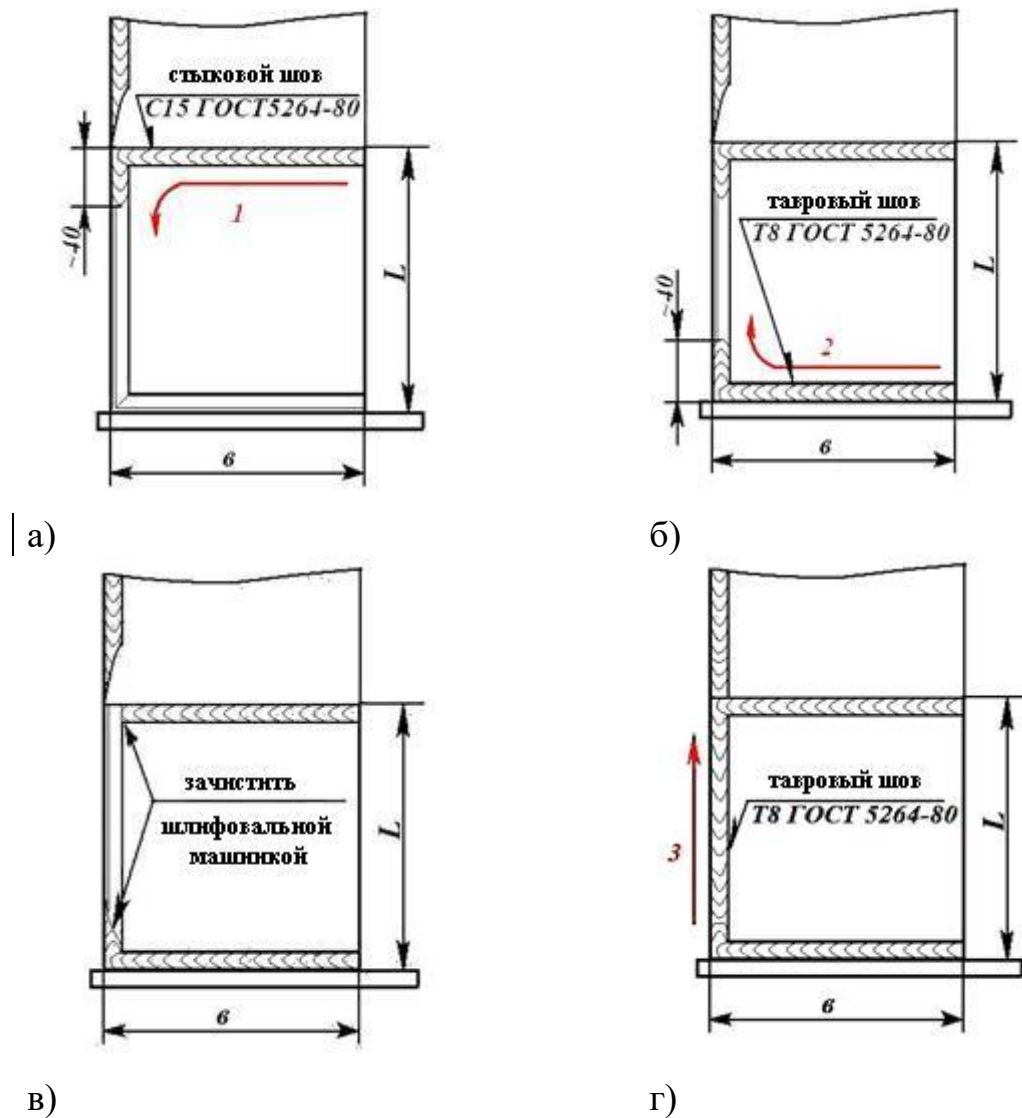


Рисунок 5.13. Схема выполнения соединяющих швов

5) После завершения сварки выполнить зачистку всех ремонтных швов шлифовальной машинкой, обеспечив плавный переход от наплавленного к основному металлу, выполнить высокочастотную механическую проковку сварных соединений.

5.3. Контроль качества сварных соединений

1) После сварки выполняется визуально-оптический и радиографический контроль соединений, которые образовались после ремонта.

2) Процедура контроля выполняется в соответствии с действующими в отрасли нормативными документами.

3) В сварных соединениях не допускаются следующие дефекты:

- трещин всех видов и направлений;
- непровары в корне шва глубиной более 15 % от высоты шва, но не

более 3 мм;

- свищи, не заплавленные кратеры и пористость наружной поверхности шва;

- подрезы глубиной более 1 мм;

- отдельные неметаллические включения диаметром более 3 мм; неметаллические включения или вclusions, расположенные цепочкой вдоль шва при суммарной их длине, превышающей 200 мм на 1 м шва;

- скопление газовых пор и неметаллических включений в отдельных участках шва в количестве более 5 штук на 1 см² площади шва при диаметре одного дефекта более 1,5 мм;

- западение между валиками и чешуйчатость поверхности шва большие 1 мм;

- неметаллические включения или вclusions, образующих линию вдоль шва.

4) Обнаруженные дефекты, превышающие установленные нормы, должны быть устранены одним из вышеприведенных способов обработки металла и заварены.

5.4. Повышение сопротивления усталости ремонтных швов высокочастотной механической проковкой

Высокочастотная механическая проковка (ВМП) является одним из способов импульсной механического воздействия на поверхность металлов, направленной на осуществление в них локального поверхностного пластического деформирования. Такие технологии применяются для повышения эксплуатационных свойств различных изделий и конструкций, работающих прежде всего в условиях циклических нагрузок, а также в агрессивной среде. Энергия удара стержневых бойков в технологии ВМП выделяется в небольшом объеме поверхностного слоя металла. При этом наблюдаются различные физико-механические явления, которые приводят, прежде всего к упрочнению поверхностного слоя металлов и к созданию сжимающих остаточных напряжений, вследствие этого значительно увеличивается сопротивление конструкций и их элементов усталостным нагрузкам. Использование ультразвука позволяет значительно увеличить частоту ударов по сравнению с другими импульсными методами. В этом заключается положительный эффект ультразвуковой ударной обработки, что позволяет снизить энергопотребление, уменьшить вес оборудования и вредный шум на производстве. Применение пьезокерамики для ударных инструментов вместо магнитострикционных вибраторов также способствует созданию малогабаритных, переносных устройств, не требующих охлаждения водой. Общий вид инструмента в ручном исполнении показан на рисунке 5.14. Инструмент содержит ультразвуковой стержневой излучатель на пьезокерамики (пьезокерамический преобразователь), ступенчатый волновод-концентратор и узел нагрузки.



Рисунок 5.14. Комплект оборудования для выполнения высокочастотной механической проковки сварных швов

ВМП достаточно эффективно повышает циклическую долговечность и предел выносливости сварных соединений конструкционных материалов. В зависимости от условий циклического нагружения (асимметрия цикла), механических свойств основного материала, концентрации напряжений, обусловленной типом и формой соединения, остаточных напряжений и других факторов циклическая долговечность после ВМП повышается в 8-10 раз, а предел выносливости на базе 2×10^6 циклов нагрузки - на 30-200%. Эффективность ВМП сварных соединений повышается с ростом прочности металла и концентрации рабочих напряжений, обусловленной формой шва, а также со снижением асимметрии цикла нагрузки. Схема упрочняющей обработки ВМП сварных швов показана на рисунке 5.15.

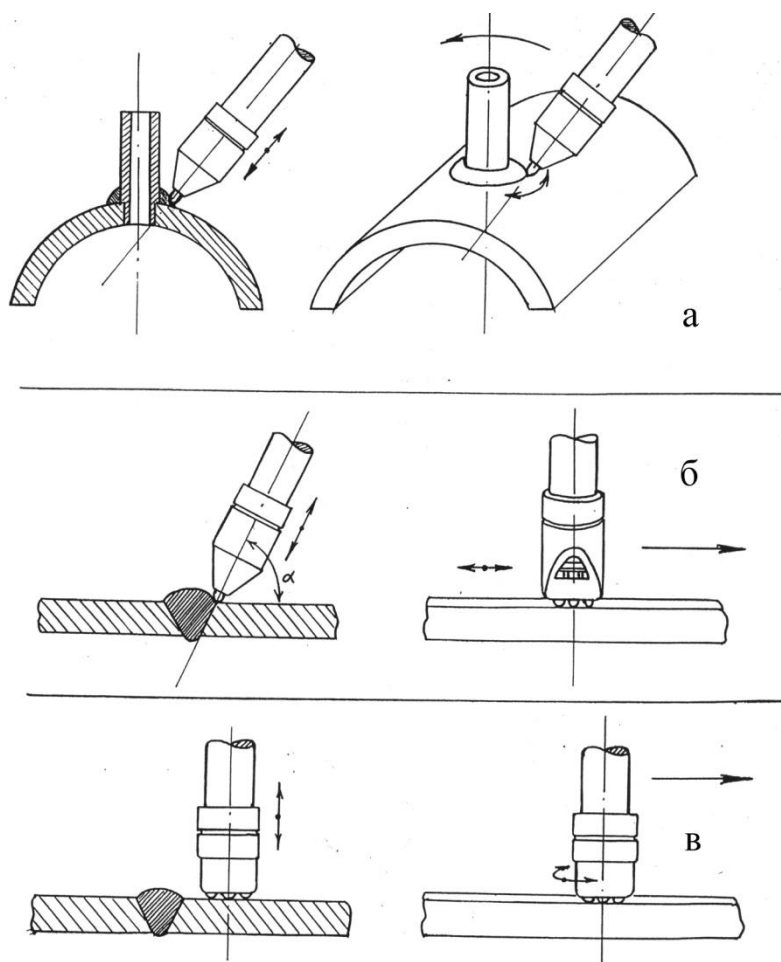


Рисунок 5.15. Схема обработки сварных швов технологией ВМП:
 а - обработка линии сплавки однобойковой головкой;
 б - обработка трёхбойковой головкой;
 в - обработка зоны вокруг шва

Результаты усталостных испытаний образцов показывают, что ремонт сваркой с дальнейшим укреплением технологией ВМП зоны перехода металла ремонтного шва к основному металлу может повысить циклическую долговечность металлоконструкций с тавровыми соединениями в 4,5 – 5.

6. Требования по конструкции пролетных строений рекомендуемых вариантов усиления

6.1. Усиление пролетного строения путем устройства ортотропной плиты с ездой на балласте

Ширина балластного корыта принимается 4100÷4500 мм. В поперечном направлении лист ортотропной плиты имеет ширину 3000 мм. К нему пристыковываются бортовые элементы в виде уголка короткой стороной наружу и вверх, объединенного с тротуарной панелью. Свес нижнего окаймляющего листа тавра имеет ширину 100 мм и образует с

листом ортотропной плиты нижнюю поверхность балластного корыта. Увеличение ширины балластного корыта до 4500 мм существенно увеличивает расход металла и может быть выполнено по желанию заказчика.

Опирающие листа ортотропной плиты на верхние пояса выполняются через прокладку, в форме клина, поскольку днищу корыта необходимо придать поперечный уклон величиной 3 % для обеспечения водоотвода. Клиновидная прокладка приваривается к листам ортотропной плиты угловыми швами, а с верхними поясами соединяется высокопрочными болтами через свесы поясов.

Продольные ребра ортотропной плиты выполняются из полосы сечением 12×180 мм без окаймления.

Водоотвод осуществляется в поперечном направлении от середины к краям в прерывистые щели шириной 30 мм между листом ортотропной плиты и свесом нижнего горизонтального листа бортового элемента.

На расстоянии 180 мм от поверхности верхнего листа пояса каждое ребро обрезают, после чего на место выреза по всему контуру примыкания к поясу, стенке и ребру вваривают вставки толщиной 12 мм и шириной, равной внизу - ширине уголка, сверху - внутреннему свесу верхнего пояса.

Около нижнего пояса ребра соединяются с поясом либо через распорку поперечных связей, либо через уголкового коротыш на высокопрочных болтах. В поясах болтовые отверстия сверлятся диаметром 23 мм и разрабатываются до диаметра 25 мм, а в ребрах допускается прожечь отверстия до 20 мм и рассверлить до 25.

Диагонали поперечных связей прикрепляются к ребрам жесткости, а нижние распорки к поясу и ребрам жесткости. Ребра жесткости, нижние распорки, диагонали поперечных связей, а также нижние продольные связи могут быть объединены и через горизонтальные и вертикальные фасонки, прикрепленные к нижним поясам высокопрочными болтами. Если нижние продольные связи и распорки не имеют повреждений, их можно оставить без изменения.

В некоторых случаях целесообразно усиливать балочное сплошностенчатое пролетное строение с помощью пространственных блоков ортотропной плиты, как показано на рисунках 6.1.

В зависимости от длины пролетного строения плита балластного корыта разделена по длине на монтажные блоки, которые между собой объединяются монтажными болтовыми стыками. Монтажные блоки ортотропной плиты привариваются на монтаже к верхним поясам главных балок продольными угловыми швами. В местах стыковки вертикальных стенок блоков около верхнего пояса главных балок предусмотрены выкружки. Угловой сварной шов, объединяющий стенку блока ортотропной плиты с верхним поясом главной балки, закольцован в выкружке вертикальной стенки.

Поперечное сечение пролетного строения с ездой на балласте

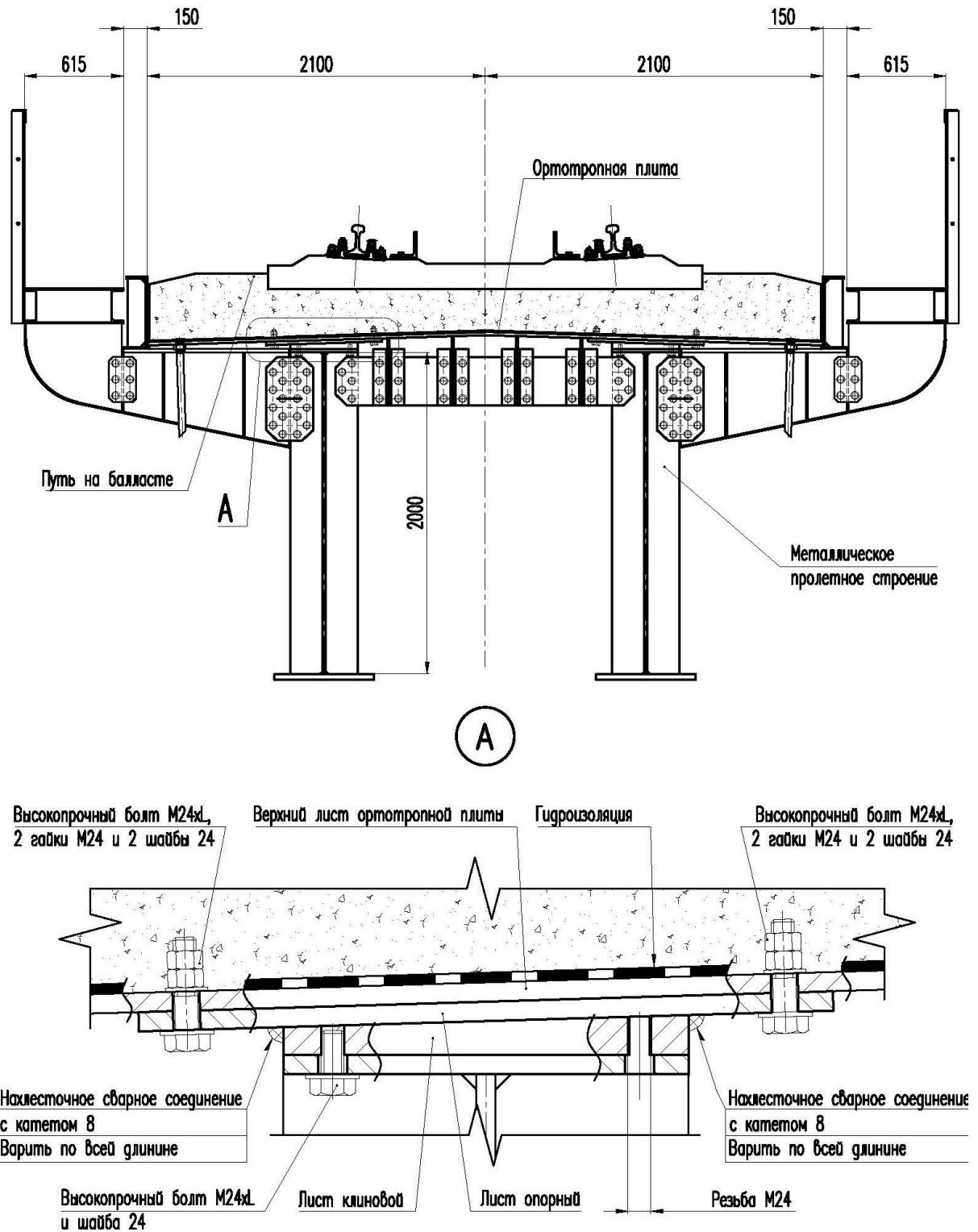


Рисунок 6.1. Пролетное строение с устройством ортотропной плиты
с ездой на балласте

Поперечное сечение пролетного строения с ездой на балласте

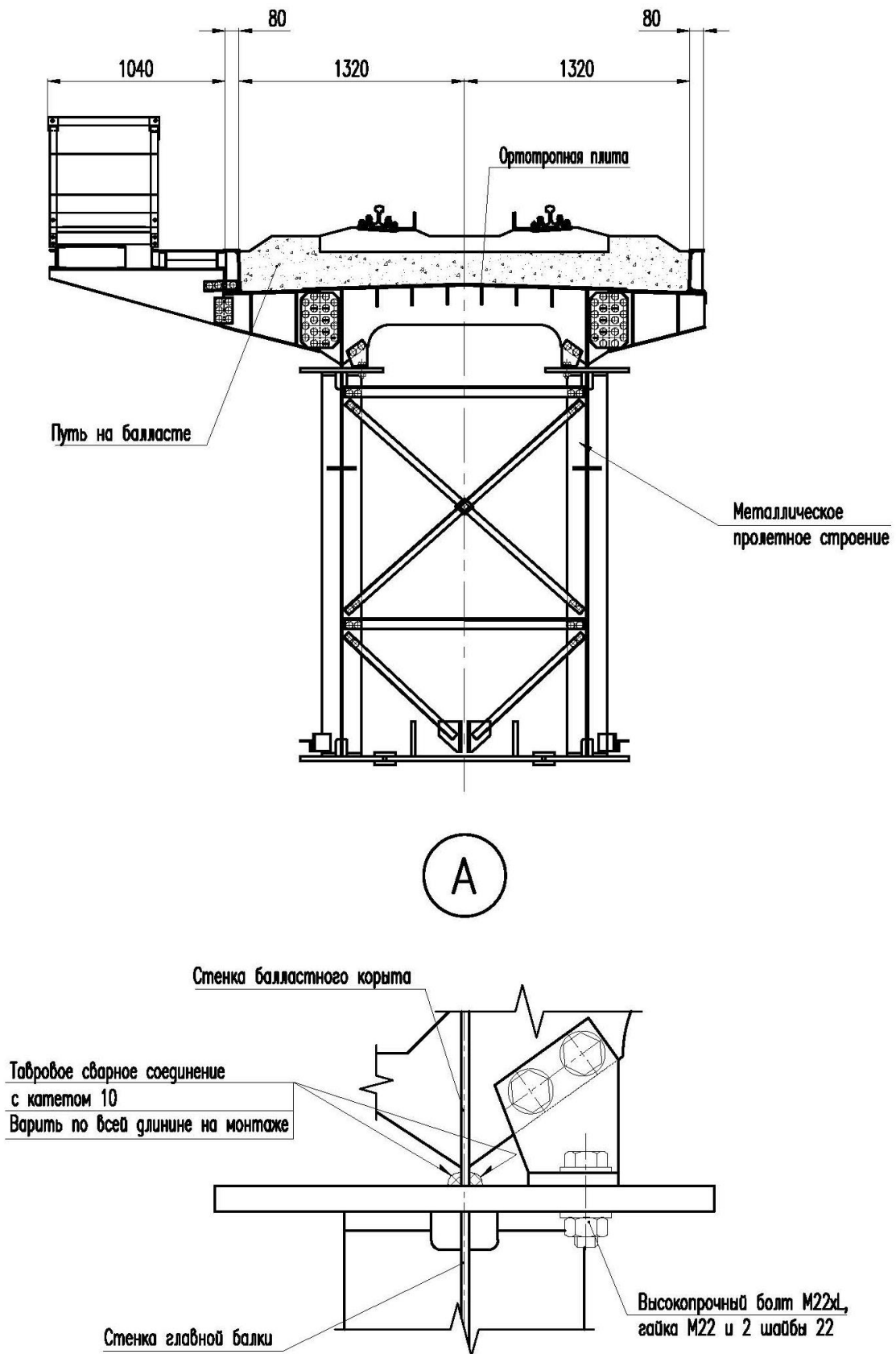


Рисунок 6.2. Пролетное строение с устройством ортогопной плиты с ездой на балласте

6.2. Усиление пролетного строения путем устройства безбалластной ортотропной плиты

Ширина ортотропной плиты назначается равной ширине пролетного строения по наружным кромкам верхних поясов (рисунок 6.2).

Ортотропная плита опирается непосредственно на верхние пояса через прокладки толщиной 20 мм.

В поперечном направлении ортотропная плита сваривается из четырех полотен для образования двускатной поверхности с уклоном 2 % в средней части.

Продольные ребра выполнены из полосы. Два крайних ребра имеют сечение 12×180 мм, а среднее - 12×200 мм.

Поперечная балка образована двумя уголками сечением L80+80×10, прикрепленными к ребрам жесткости высокопрочными болтами и образует тавр горизонтальными полками вверх.

Продольные ребра соединены двусторонними накладками с фасонками, приваренными в створе с продольным ребром к полкам уголков поперечной балки по всему контуру примыкания.

Около верхнего пояса вертикальные ребра с наружной стороны соединяют с поясом уголковыми коротышами.

Нижние продольные связи и распорки расположены в уровне нижних поясов и прикрепляются либо непосредственно к поясу и вертикальному ребру жесткости, либо к фасонкам, прикрепленным к нижнему поясу.

В случае устройства мостового полотна на деревянных брусках, их укладка осуществляется на деревянные клиновые подкладки (от 25 мм и более в соответствии с эпюрой строительного подъема), прикрепленные к каждому брусу.

Более эффективным является прикрепление рельсов с непрерывным опиранием в специальные металлические контейнеры. Эта конструкция показана на рисунке 6.3.

Поперечное сечение пролетного строения с контейнерным креплением рельса

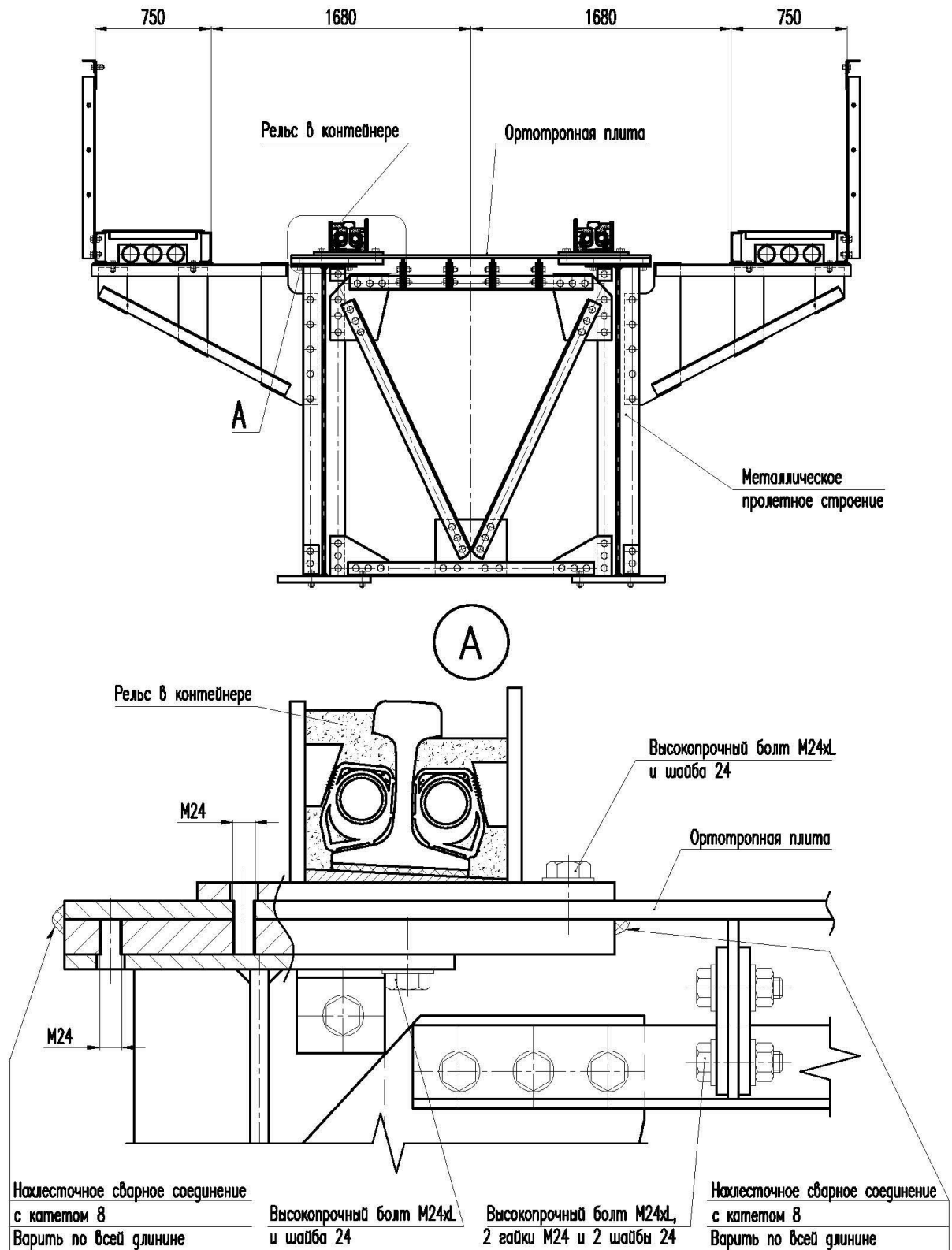


Рисунок 6.3. Пролетное строение с устройством ортогопной плиты с контейнерным креплением рельса

6.3. Усиление пролетного строения с ездой на поперечинах подкреплением верхних поясов главных балок продольными ребрами

На верхние пояса приваривают полосы сечением 12×240 мм по всей длине угловыми швами (симметрично относительно стенки балки).

Внутренние свесы верхних поясов подкрепляют продольными ребрами в виде полосы сечением 12×180 мм, объединенной с вертикальной полкой с уголком L80+80×10 мм.

Поперечная балка выполняется в виде двух уголков L80+80×10 мм, образующих тавр горизонтальными полками вниз, и прикрепляется к вертикальным ребрам.

Продольные ребра соединяют двусторонними накладками с фасонками, приваренными в створе с продольным ребром к обоим полкам уголка поперечной балки по всему контуру примыкания.

Около верхнего пояса вертикальные ребра с наружной стороны объединяют с поясом уголковыми коротышами.

Верхние продольные связи располагают ниже уровня верхних поясов и прикрепляют к горизонтальным полкам уголков поперечных балок через горизонтальную фасонку. Нижние продольные связи и распорки поперечных связей располагают в уровне нижних поясов и прикрепляют либо непосредственно к нижнему поясу и вертикальным ребрам, либо к горизонтальным фасонкам, соединенным с нижним поясом и с вертикальными ребрами жесткости.

Диагонали поперечных связей прикрепляют к вертикальным ребрам жесткости.

Усиление поясов главных ферм и проезжей части производить с заменой дефектных элементов на новые. Замену производить на высокопрочных соединениях с предварительным рассверливанием и райберованием элементов.

Усиление осуществлять на основании расчетов пролетного строения, выполняемых с учетом ослаблений конструкций, вызванных коррозией и уменьшением рабочей площади сечения элементов, а также с учетом увеличения постоянных нагрузок в случае переустройства пролетного строения с конструкции с ездой на поперечинах на езду на балласте.

Особое внимание следует уделить состоянию опорных листов, продольных и поперечных связей, фасонки, и «рыбок», как элементов наиболее подверженных коррозии и деформации.

6.4. Локализация трещин на усиливаемом пролетном строении и наблюдение за ним после усиления

До проведения работ по усилению пролетных строений необходимо в каждой трещине, конец которой вышел на ровную поверхность стенки, засверлить его диаметром 23 мм и поставить высокопрочный болт с затяжкой до 20 тс. Перед постановкой болтов производят обкатку краев отверстий сверлом диаметром 28÷32 мм, используя реверсный режим, или, в крайнем случае, снимают фаску этим же сверлом.

Усиленное пролетное строение, кроме плановых осмотров и обследований, должно осматриваться на предмет обнаружения трещин каждый

раз после наступления холодов с температурой воздуха - 25°С и ниже, продолжающихся двое и более суток.

7. Устройство гидроизоляции и антикоррозионных покрытий

Вид антикоррозионной защиты зависит от назначенного ресурса усиливаемой конструкции. Следует применять современные антикоррозионные комплексы, включающие несколько уровней защиты.

Одним из возможных вариантов антикоррозионной защиты является комплекс, основанный на металлизации верхней поверхности ортотропной плиты с ее окраской. На заводе-изготовителе производится металлизация алюминием или цинком и грунтовка. На стройплощадке наносится дополнительный слой грунтовки и несколько слоев покрывного материала, затем слой асфальта или асфальтобетона толщиной 5 см.

Для ортотропной плиты балластного корыта при назначенном ресурсе более 30-40 лет желательно ее покрытие виброзащитным слоем в виде специальных подобранных по жесткости и структуре резиновых матов.