

## **Технологические аспекты проектирования балки жесткости**

Курепин В.М., Ксенженко С.А., Мануилов В.Я. (НПО «Мостовик»)

Агеев В.С., к.т.н., Кутова А.С. (НПЦ мостов)

Балка жесткости вантового моста на о. Русский через пролив Босфор Восточный в г. Владивосток имеет несколько нетрадиционное для российского мостостроения конструктивное решение, продиктованное технологическими соображениями. От аналогичных по форме конструкций пролетное строение вантовых мостов через р. Нева и на пр. Александровской фермы в г. Санкт-Петербург, через р. Москва в Серебрянном Бору г. Москва, через бухту Золотой Рог в г. Владивосток и других, ее отличает членение на заводские блоки, определяющее технологию сборки.

Балка жесткости имеет в поперечном сечении две двутавровые главные балки высотой 3200 мм с шириной верхнего пояса сечением 1240x16 мм и нижнего пояса 1430 мм толщиной от 14 до 32 мм, а также две анкерные балки коробчатого сечения, к которым осуществляется крепление вантовых узлов. Анкерные коробчатые балки имеют разные по высоте стенки: внешняя сечением – 1708x32 мм, внутренняя сечением - 1951x32 мм. Расстояние между стенками 1241 мм. Верхний пояс сечением 1621x32 мм. Нижний пояс сечением 1766x32 мм. Верхний и нижний пояс балки жесткости состоит из ортотропных плит с трапецеидальными продольными ребрами и поперечным ребром высотой до 650 мм. Монтажные стыки продольных ребер плит цельносварные, заглушенных по торцам заводских блоков диафрагмами, которые одновременно служат остающимися подкладками для сварки монтажного стыка.

Форму и размеры поперечного сечения балки жесткости задают поперечные диафрагмы, выполненные в виде цельноперевозимых блоков, устанавливаемых между каждой парой балок. Этим достигается более высокая точность сборки поперечного сечения балки жесткости по методу «отпечатка», в отличие от схем с продольным членением на блоки шириной, равной железнодорожному габариту. Цельноперевозимые поперечные диафрагмы уменьшают накопление ошибок при сверлении на заводе двух групп отверстий по торцам единой диафрагмы, взамен нескольких групп по ширине балки жесткости и в большем количестве накладок. Поперечные диафрагмы объединены с балками болтовыми соединениями, а соединения с верхними и нижними плитами решены в сварном варианте в виде тавровых соединений.

Уменьшение количества болтовых соединений по длине диафрагмы и объединение с плитами на сварке обеспечивает существенное снижение трудозатрат и себестоимости изготовления конструкций на заводе и их сборки при укрупнении.

Членение балки жесткости на плоские элементы, кроме этого, решают задачу повышения эффективности использования железнодорожного транспорта при перевозке конструкций с мостовых заводов к месту строительства. Прежние схемы продольного и ярусного членения не обеспечивали максимальной загрузки вагонов, поскольку вес перевозимого блока с предельно допустимыми габаритами был относительно мал. Новая схема членения позволила максимально использовать грузоподъемность подвижного состава и дала строительным организациям экономию средств.

Конструкция балки жесткости предопределила технологическую последовательность укрупнительной сборки и приемы выполнения монтажно-сварочных работ. Заложенные в проекте конструктивно-технологические решения балки жесткости вступают в противоречие с традиционной схемой монтажно-сварочных работ, применяемых при сборке коробчатых балок с большим количеством плит в поперечнике. Технология укрупнения, приведенная на рисунке 1, предусматривает сборку блока на стапеле с неизменяемым профилем постели, соответствующим проектным очертаниям нижнего пояса балки жесткости. Поскольку точность сборки здесь обеспечивается установкой поперечных диафрагм, то сначала на стенд укладывают средние предварительно укрупненные попарно плиты, затем устанавливают главные балки и поперечные диафрагмы, фиксирующие болтовыми и сварными соединениями взаимное положение элементов. В аналогичном порядке выполняется сборка на консольных участках блока между главными и анкерными балками. Технология сборки верхних плит вполне традиционна, и начинается с установки одиночной плиты по оси блока. Этим задается точность установки укрупненных попарно плит на соседних участках.

Традиционные схемы сборки блоков коробчатых балок, предусматривающие прирезаемые припуски на продольных кромках плит, последовательную сварку плит нижнего пояса и «развал» главных балок при сварке с плитами, не соответствовали по длительности технологического цикла графику строительства. Попытки применить отдельные традиционные приемы (прирезаемые припуски, предварительный перелом и тп.) усложняли конструкцию стенда, не соответствовали принципам сборки по методу «отпечатка» и замедляли темп работ. Поэтому от них пришлось отказаться и найти новые решения.

В целях обеспечения проектного размера между осями балок для компенсации поперечной усадки от сварки продольных швов плит, взамен прирезаемых припусков в ширину каждой плиты введен припуск на усадку. Подобный припуск добавлен и к расстоянию между отверстиями по торцам диафрагм. Величина поперечной усадки при сварке стыкового шва определена экспериментально на ЗМК НПО «Мостовик».

Для уменьшения укорочения блока в поперечном направлении использовано объединение поперечной диафрагмы с нижними плитами. Это повысило площадь поперечного сечения поперечной распорки и устойчивость ее нижней не подкрепленной кромки. Одновременно, объединение диафрагм с плитами повышает момент инерции сечения, препятствующего угловым сварочным деформациям плит от сварки продольных швов. Таким образом, обеспечивается прямолинейность нижней плиты и проектное расстояние между главными и анкерными балками.

Использование нетрадиционной для нашей страны схемы членения балки жесткости заставило пересмотреть допускаемые отклонения при изготовлении заводских блоков, поскольку использование нормативных допусков по СТО ГК «Трансстрой» 005-2007 препятствовало собираемости конструкций. Это относилось к размерам плит по ширине, в которые вводились припуски на усадку, равные 3...4 мм; остаточной кривизне заводских блоков плит; ординате остаточного перелома в районе стыкового шва. Вот несколько примеров.

Например, при нормативном значении ординаты остаточного перелома поперечного профиля в районе стыкового шва 2 мм на базе 400 мм зазор между нижней кромкой диафрагмы и поперечным ребром нижних плит получался 15 мм, при проектной величине 0...3 мм. При допускаемой по СТО ГК-«Трансстрой»-012-2007 ординате остаточного изгиба нижних плит из плоскости (не более 10 мм) невозможно было установить центральную диафрагму в блоке.

Также была выявлена несогласованность нормативных допусков на искривление поясов и листов настила плит в плане (не более 10 мм на длине 12 м) с допусками на величину зазора в продольном сварном соединении (+3, -2 мм). Разрешив заводам выпускать элементы с такой кривизной, мы неизбежно должны предусматривать припуски для прирезки, взяв на себя обязанность по соблюдению допусков на зазор. Но все говорит о нелогичности такого подхода, поскольку все мостовые заводы применяют высокоточное оборудование для резки проката и без особых затрат обеспечивают прямолинейность деталей и точность зазора в соединении между двумя плитами. Практически на всех мостах отказались от прирезки по продольным кромкам блоков, укрупненных из двух плит.

Членение балки жесткости по ширине и предварительное укрупнение плит попарно позволяет использовать имеющийся в стране опыт, и значительно ужесточить допускаемые отклонения на размеры и форму заводских отправочных элементов. Это нашло отражение в Технических требованиях по точности изготовления металлоконструкций балки жесткости, разработанных НПЦ мостов совместно с ЗМК НПО «Мостовик».

У многих специалистов, привыкших к традиционной технологии укрупнения конструкций без стеснения сварочных деформаций, возникают опасения о возникновении вблизи швов высокого уровня остаточных напряжений от закрепления элементов. В балке жесткости вантового моста на о. Русский стык нижних плит между собой или с балками конструктивно решен таким образом, что уровень остаточных напряжений в нем ниже, чем в поперечном болто-сварном стыке главных балок. Это обеспечивается тем, что в местах пропуска сварочного автомата в поперечном ребре имеется проем высотой 630 мм и шириной (по торцам стенок поперечных ребер) 900 мм, в то время как в болто-сварных стыках размер технологического отверстия равен 160х300 мм. Отсутствие части стенки, безусловно, не стесняет сварочные деформации и не создает условий для возникновения в прилегающих участках металла высоких реактивных напряжений от закрепления.

На данный момент на участке строительства НПО «Мостовик» укрупнено на полное сечение четыре блока балки жесткости. Исполнительные схемы геодезического контроля позволяют оценить соответствие реальных размеров проектным требованиям, установленным в Проекте производства геодезических работ (ППГР), разработанным НПО «Мостовик». При укрупнении обеспечен «отпечаток» торцов смежных блоков, т.е. равенство размеров и формы поперечного сечения и собираемость болтовых и сварных соединений. Отклонения осевого расстояния между стенками главных балок составили минус 6 мм, а между анкерными балками минус 10...13 мм, что соответствует ППГР. При сборке обеспечено равенство поперечной усадки на противоположных концах трех собранных последними блоков, что явилось непростой задачей в силу несимметричности расположения поперечных диафрагм по длине блока. Полученная величина поперечной усадки соответствует предусмотренным в проекте припускам на усадку по ширине каждого горизонтального листа сечения.

Относительная поперечная усадка блока (отношение абсолютного укорочения в миллиметрах к проектной ширине изделия в метрах) составила по нижним плитам: между осями главных балок – 0,52 мм/м, между осями анкерных балок – 0,50 мм/м. Это совпадает с величиной относительного продольного укорочения для пролетных строений с коробчатыми главными балками, с цельносварными стыками и ортотропной плитой проезжей части. Относительная величина усадки по верхней плите оказалась вдвое меньше и составила 0,26 мм/м.

Конструктивное решение балки жесткости обеспечило ее точную сборку при укрупнении и монтаже, а также свободный доступ по всей длине сварных монтажных соединений нижних плит.