

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ РАМНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СТАЛЕЙ (ТМСР)

Под технологичностью конструкции понимается соответствие конструктивной формы передовым технологическим возможностям их производства. При этом технологичным конструктивным решением будет такое, которое обеспечивает наиболее простое, быстрое и экономичное изготовление, транспортировку и монтаж, надежную и экономичную эксплуатацию при обязательном соблюдении условий прочности, устойчивости, выносливости, стойкости к агрессивным воздействиям и других эксплуатационных качеств сооружения [1].

Рамные (жесткие) узлы при проектировании металлоконструкций сооружений различного назначения применяются, в основном, во многоэтажных зданиях, промышленных этажерках, зданиях больших пролетов и других сооружений при соответствующей оптимизации расчетной схемы. При этом конструктивное выполнение этих узлов, как правило, соответствует узлам групп А, В, С по [2] или традиционной конструкции сварных узлов с применением накладок («рыбок»).

Общим недостатком подобных конструкций является выполнение узлов на монтаже.

Сварные узлы с накладками требуют, во-первых, качественного выполнения торцевых сварных швов и последующего их контроля, во-вторых, применения в полках колонн проката повышенной толщины согласно требованиям табл. 1.3.1 ДБН В.2.6-163:2010 [3] для предотвращения явления «расслоя» при направлении усилия в направлении толщины проката.

Узлы группы А и В требуют применения марки стали 14Г2АФ, что при ее дефиците и, как правило, относительно небольших объемах не является технологичным решением.

При применении высокопрочных болтов для соединения в узле необходимо выполнять специальные требования как к собственно болтам, так и к технологии изготовления металлоконструкций и их монтажу. Последнее относится также и к узлам группы С.

Отметим, что при значительных усилиях M и N в ригеле необходимое количество и диаметр высокопрочных болтов в соединениях, определяемых расчетом, невозможно разместить.



Е.И. Гезенцвей

начальник проектно-строительного отдела ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр

Наиболее технологичным можно считать узел с приваренной частью ригеля на заводе-изготовителе в виде консоли (см. рисунок). При этом:

- сварные швы узла выполняются на заводе-изготовителе с соблюдением требуемого технологического и температурного режима сварки;
- сварка выполняется на сварочных потоках в процессе изготовления колонн с возможным применением полуавтоматической и автоматической сварки (т.е. наличие совмещение операций и доступность любого вида контроля сварных швов);
- согласно п. 5.2, табл. 4 и разд. 13 п. 4 ДСТУ EN 10025-4:2007 [4] стали с конечной мелкозернистой структурой, достигаемой прокаткой в диапазоне температур 900–700 °С и микролегированием (ТМСР), имеют гарантированное значение временного сопротивления, одинаковое как при действии усилия «вдоль проката», так и в направлении «поперек проката», что дает возможность эффективного их использования, в т.ч. для предотвращения негативных явлений в зонах «расслоя»; такими зонами – зонами максимальной интенсивности напряжений – являются точки стенки колонны в местах примыкания полков ригелей к полке колонны [5]. Предлагаемое конструктивное решение узла позволяет перераспределить передачу продольных усилий в полках ригелей через сварные швы;
- подобная конструкция узла обеспечивает значительно меньшую деформативность, чем конструкции узлов групп А и В (с применением фланцев);
- в данной конструкции узла отсутствуют детали (фланцы, накладки), требующие дополнительного изготовления и дополни-

тельных затрат при монтаже и оказывающие влияние на величину строительного коэффициента;

- нет необходимости фрезеровки торцов ригеля, обязательного для фланцевых узлов;
- при выполнении огнезащиты предлагаемые узлы повышают ее надежность.

Длина консоли колонны определяется исходя из конкретных усилий, действующих при невыгодном сочетании нагрузок на сооружение. При этом возможно выполнить ригель в виде составной конструкции; в пролете ригель выполняется из сечения, подобранного по моменту в пролете из обычных марок сталей. Место соединения с консолью выбирается из условия места нулевого изгибающего момента в ригеле с учетом требований габаритности при транспортировке, что минимизирует затраты на оформление его узлов.

При значительных усилиях M и N в узле количество и диаметры болтов в соединении как фланцевом, так и на накладках таковы, что разместить их в узле с учетом конструктивных требований не представляется возможным.

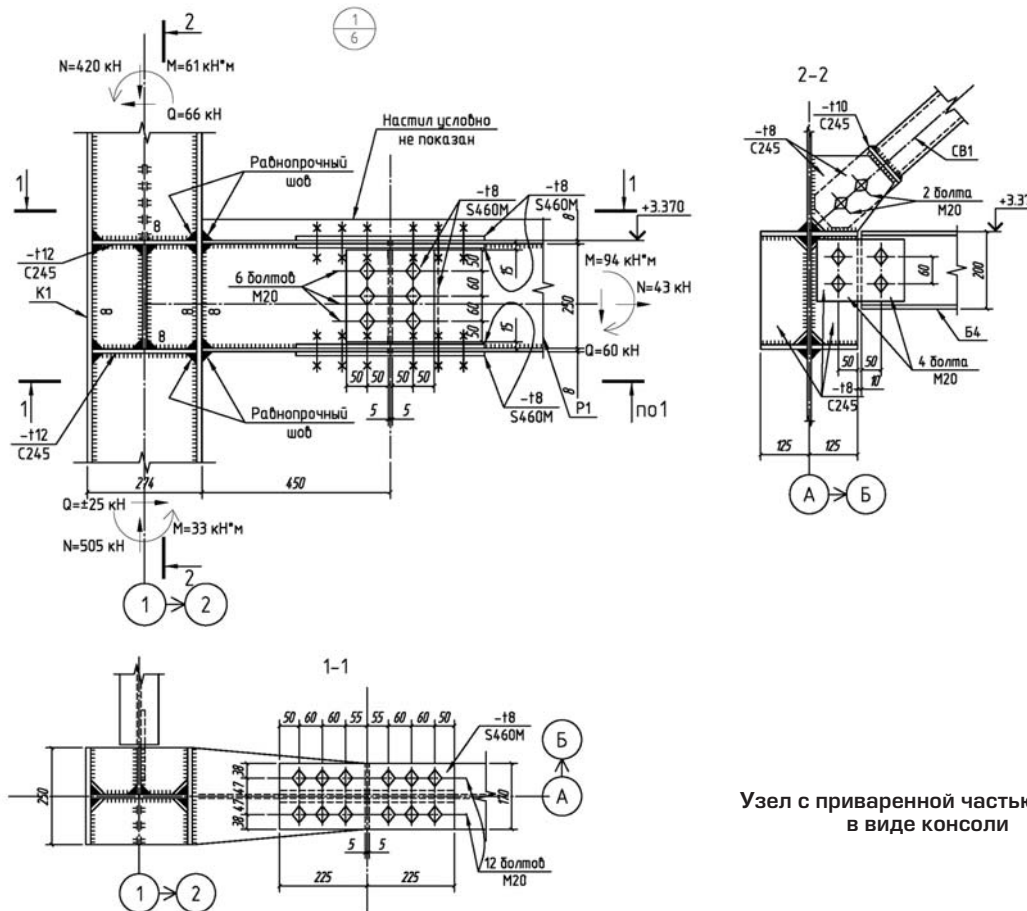
При проектировании рамных узлов расчет по традиционной схеме «в осях» дает завыше-

ние расчетного изгибающего момента в опорном сечении ригеля на 20 %. Экспериментальным путем установлено, что для определения внутренних усилий в раме в расчет следует принимать схему со вставками конечной жесткости по концам ригелей [5]. Такая расчетная схема наиболее точно отражает физическую работу узла предлагаемой конструкции.

Предельное состояние соединения может быть обозначено как начало текучести или потеря устойчивости какого-либо элемента соединения; при этом соединение проектируется так, чтобы ни в одном месте не был превышен предел текучести или исключается потеря устойчивости. Исходя из этого весьма перспективно применение стали марки 10Г2ФБ, имеющей статическую прочность и пластичность [9]:

- вдоль проката $\sigma_m = 576$ МПа; $\sigma_\delta = 660$ МПа;
- поперек проката $\sigma_m = 521$ МПа; $\sigma_\delta = 608$ МПа.

Испытания, выполненные в Институте электросварки им. Патона, на склонность сталей к полойному разрушению согласно ГОСТ 1497-84, показали, что в отличие от стали 09Г2С микролегированная сталь 10Г2ФБ обладает высокими значениями относительного сужения не только вдоль и поперек проката, а и по его толщине.



Узел с приваренной частью ригеля в виде консоли

Это говорит о том, что такие стали обладают высоким сопротивлением к послойному разрушению и могут успешно применяться в сварных соединениях, которые испытывают высокие нагрузки в Z-направлении.

Для ручной дуговой сварки стали 10Г2ФБ применяются электроды марки АНП-10, а для механической в среде защитных газов порошковая проволока Megafil 821R. При этом установлена высокая сопротивляемость образованию холодных трещин стыковых и тавровых соединений. Исходя из этого, расчет рамных узлов сопряжений ригелей со стойками состоит из следующих этапов [6]:

- определение напряженно-деформированного состояния узла для проверки прочности элементов стойки и ригеля (консоли);
- расчет элементов, входящих в состав узла, на местную устойчивость.

Напряженно-деформированное состояние узла определяется осевыми силами: в полках ригеля $N_1^p = -N_2^p = M^p/h$ (h – расстояние между осями поясов ригеля) и в полках колонны $N_1^k = -N_2^k = N/2 \pm M^k/H$ (H – расстояние между осями поясов колонны).

При этом стенка узла подвержена сдвигу, на восприятие которого должна быть запроектирована стенка колонны (с выполнением требований прочности и устойчивости).

Результирующая напряжений сдвига, действующих по верху стенки, определяется по формуле $T = \tau h_s d_s$, где h_s – ширина стенки колонны; d_s – толщина стенки в узле.

$$\text{Согласно [8] толщина стенки } d_s = \frac{M_{pl}}{\sigma h_s h_t} \sqrt{3}.$$

Учитывая физико-механические характеристики сталей ТМСП, из них возможно выполнять стенки узлов не устанавливая ребра жесткости, рекомендованные [2, 6, 8].

В качестве расчетной схемы возможно принять консольную балку, нагруженную осевыми силами в полках колонны и поперечной силой Q на конце консоли, опорные реакции которой являются сосредоточенными воздействиями на стенку колонны.

При расчетах возможно пренебречь различиями между прокатными и сварными балками, считая, что соединение пояса со стенкой в обоих случаях недеформировано. Толщина сварного шва настолько незначительна по сравнению с высотой стенки, что влияние податливости шва на величину местных напряжений ничтожно. Также аналитически установлено, что учет касательных напряжений весьма незначительно увеличивает напряжение под грузом, ввиду чего ими можно пренебречь [7].

Швы, прикрепляющие стенку колонны к полке ригеля, возможно не рассчитывать на сосредоточенную нагрузку, назначая их размеры так, чтобы было выполнено условие равнопрочности швов и стенки при работе на смятие.

Это будет выполнено, если суммарная величина катета швов k_f будет удовлетворять неравенство: при ручной сварке $k_f \geq 0,7t$; при автоматической сварке $k_f \geq 0,5t$, где t – толщина стенки колонны [7].

В реальных проектах узлы такого типа запроектированы в ряде сооружений комплекса пылеугольного топлива меткомбината «Азов-сталь».

[1] М.М. Сахновский «Технологичность строительных стальных конструкций». – К.: Будивельник, 1970.
 [2] Серия 2.440-2, вып. 1. «Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыкания ригелей к колоннам». Чертежи КМ. ЦНИИ ПСК, 1988.
 [3] ДБН В.2.6-163:2010 Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа. – К.: – 2011.
 [4] ДСТУ EN 10025-4:2007 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 4. Технічні умови постачання термомеханічнооброблених зварюваних дрібнозернистих сталей – К.: – 2010.
 [5] В.Н. Алехин и др. «Экспериментальная проверка расчетной модели металлической многоярусной однопролетной рамы». УДК:624.01. Екатеринбург.

[6] Катюшин В.В. «Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство)» – М.: Стройиздат, 2005.
 [7] Б.М. Броуде «Распределение сосредоточенного давления в металлических балках». – М.: Стройиздат, 1950.
 [8] Мразик А., Тохачек М. «Расчет и проектирование стальных конструкций с учетом пластических деформаций» – М.: Стройиздат, 1986.
 [9] В.Д. Поздняков и др. «Структура и механические особенности металла зоны термического влияния соединений стали 10Г2ФБ после сварки и циклического нагружения изгибом». XXV Международная научно-практическая конференция Стародубовские чтения. Днепропетровск, 2015 г.