

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ ЗАТЯЖКИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗНОМОДУЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Руднев И.В., Кондуров Н.К., Горелов С.Н.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В настоящее время конструкции, включающие в себя соединения элементов с различными физико-механическими свойствами, получили широкое распространение. Учет совместной работы таких соединений при эксплуатационных нагрузках вызывает необходимость выполнения предварительных расчетов для оптимизации условий совместной работы.

Необходимость учета разности характеристик элементов возникла при применении в соединении профилей из алюминиевого сплава стальных метизов с антикоррозионным покрытием. При монтаже несущих конструкций под солнечные модули строящегося объекта «Переволоцкая солнечная электростанция мощностью 5 МВт», расположенного в Переволоцком районе Оренбургской области, в узлах крепления опорных элементов возникали сдвиговые деформации в стенках несущего профиля при использовании фактически примененных метизов. При длительном сроке эксплуатации станции (25 лет и более) указанные дефекты могут вызвать проявление более опасных пороков, таких как коррозия. Установление характера и причины появления деформаций послужило основанием для проведения данного исследования.

В результате обследования объекта было установлено, что при регламентированном моменте затяжки болта 30 Н·м происходит продавливание полки алюминиевого профиля между опорными поверхностями прижимной планки (рисунок 1). В соответствии с рекомендациями Центрального научно-исследовательского и проектного института строительных металлоконструкций им. Н.П. Мельникова для несущих профилей конструкции, выполненных из алюминиевого сплава 6063 в состоянии Т66 значение расчётного сопротивления сплава на сжатие, растяжение и изгиб R следует принимать по наименьшему из вычисленных значений по условному пределу текучести R_{yn} и временному сопротивлению R_{un} :

$$R_y = R_{yn}/\gamma_m; \quad R_u = R_{un}/\gamma_m \cdot \gamma_n, \quad (1)$$

где γ_m -коэфф. надежности по нагрузке;

γ_n - коэфф. надежности по назначению.

Согласно известным характеристикам материала и рассчитанных по формулам (1) значений R_y и R_u , расчетное сопротивление R будет равно 169 МПа. Следовательно, расчётное сопротивление сдвига $R_s = 0,58 \cdot R = 98$ МПа; расчётное сопротивление местного смятия металла при плотном касании $R_{rp} \approx R_p = 1,6 \cdot R_y = 350$ МПа.

Номинальный крутящий момент рассчитывается по формуле:

$$M_{кр} = 0,001 Q \times [0,16 \times P + \mu_p \times 0,58 \times d_2 + \mu_T \times 0,25 \times (d_T + d_0)], \quad (2)$$

где μ_p – коэффициент трения в резьбе между гайкой и стержневой крепежной деталью;

μ_t – коэффициент трения между поверхностью гайки и поверхностью соединяемой детали;

d_t – диаметр опорной поверхности головки болта или гайки, мм;

d_0 – диаметр отверстия под крепёжную деталь, мм;

P – шаг резьбы, мм;

d_2 – средний диаметр резьбы, мм;

Q – усилие предварительной затяжки.

Из формулы (2) можно определить величину усилия предварительной затяжки:

$$Q = M_{кр} / [0,0010,16 \times P + \mu_p \times 0,58 \times d_2 + \mu_t \times 0,25 \times (d_t + d_0)] \quad (3)$$

Рассчитанные усилия затяжки в резьбовом соединении для моментов закручивания 25 и 30 Н·м составили 11500 и 12400 Н соответственно. При расчетной площади среза $A_{ср} = 76,4 \text{ мм}^2$ сдвиговые напряжения составили при рассчитанных усилиях затяжки 150 и 166 МПа соответственно, что превышает расчетное сопротивление в 1,53 и 1,69 раза и вызывает нарушение целостности полки. Площадь смятия составляет $84,2 \text{ мм}^2$. При рассматриваемых моментах закручивания напряжения смятия составляют соответственно 137 и 147 МПа, что более, чем в два раза меньше величины расчетного сопротивления смятия. Очевидно, что ответственными за проявившиеся в конструкции дефекты и повреждения являются сдвиговые напряжения и, как следствие, срез.



Рисунок 1 – Узел крепления элементов опорной конструкции под солнечные модули.

В результате проведенных экспериментов и аналитических расчетов выяснено, что при использовании представленных метизов реализовать проектный момент закручивания болтовых соединений 30 Н·м без появления дефектов в полках профиля невозможно. Применяемые гайки с размерами 16,7x16,7 мм вызывают деформации сдвига в полке профиля (фото 1).

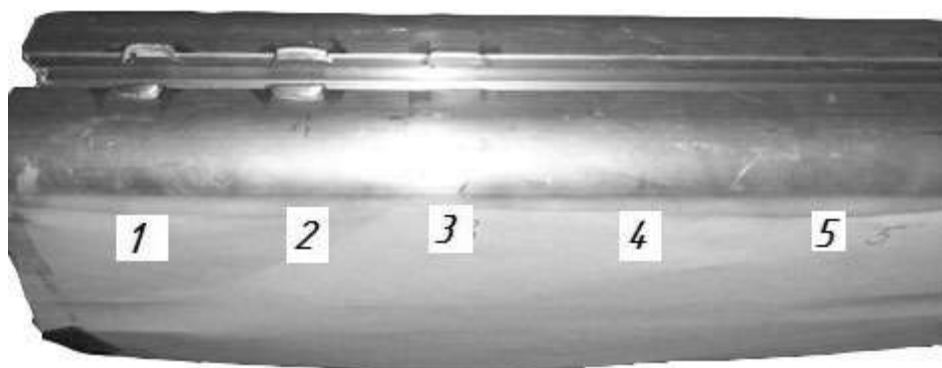


Рисунок 2 – Повреждение верхней полки профиля опорной конструкции в местах закрепления прижимной планки (1-3); отсутствие повреждений полки (4-5) при моменте закручивания 25 Н·м.

При применении квадратной гайки от среза при моменте 30 Н·м зафиксировано разрушение полки профиля (поз. 1). Момент, равный 25 Н·м соответствует сдвигу с вероятностью появления трещин (поз. 2). Использование прямоугольной шайбы из нержавеющей стали размером 17x26 мм исключают возможность появления трещин в полке, несмотря на наличие сдвиговой деформации (поз. 3). Использование аналогичной шайбы толщиной 2 мм устраняет появление деформации сдвига (поз. 4). Наиболее эффективно применение гайки М10 с размерами 17x26 мм (поз. 5).

Таким образом, обеспечить отсутствие сдвиговых деформаций полки в соединении возможно только при использовании специальной гайки М10, имеющей размеры, превышающие расстояние 25 мм между наружными гранями прижимной планки, например 17x26 мм с толщиной не менее 6 мм. Указанные размеры гайки обеспечивают плотное соединение элементов и гарантируют отсутствие сдвигов при действии рассчитанных усилий. При использовании гайки предложенного размера момент завинчивания в соединении довели до предельного значения 65 Н·м, при котором происходило разрушение стального болта. Повреждений и дефектов на полках профиля выявлено при этом не было.

С целью определения работоспособности соединения при действующих нагрузках были проведены натурные эксперименты путем нагружения узлов в сборе при моментах завинчивания 20 и 25 Н·м. Испытания выполнялись на разрывной машине УММ-10Т (рисунок 3). В результате выявлено следующее:

- при моменте закручивания 20 Н·м сдвиг узла в направлении приложения нагрузки зафиксирован при усилии, равном 9000 Н. Нарушения целостности верхней полки профиля при этом не выявлено;
- при моменте закручивания болтового соединения 25 Н·м усилие сдвига составило 13500 Н.

Указанные усилия не превышают значений, полученных по результатам расчетов конструкции, выполненных в системе APM WinMachine, представленных на рисунке 4.

Список литературы

1. Ведяков, И. И. Несущая способность болтовых соединений легких конструкций из холодногнутых профилей малых толщин / И. И. Ведяков, П. Д. Одесский, Д. В. Соловьев // Промышленное и гражданское строительство, 2010. - № 3. - С. 19-22. - Библиогр.: с. 22 (10 назв.).

2. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / Перельмутер А.В., Сливкер В.И. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 600с. — ISBN 5-94074-352-8.

3. Горелов, С. Н. Использование систем инженерного анализа в расчете металлоконструкций на прочность // С. Н. Горелов, Н. К. Кондуров // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс]: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием), 4-6 февраля 2015 г., Оренбург / Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург, 2015. – С. 49–51.

4. Руднев И.В. Применение CAD/CAE систем в расчетах на прочность соединений элементов строительных конструкций // Руднев И.В. Столповский Г.А.// Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно - методической конференции (с международным участием). – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. – С. 211-215. – CD-R [Электронный ресурс]