

Технология и организация строительного производства

УДК 624.078 + 69.04

DOI: 10.14529/build160203

НАЧАЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

К.О. Семенов, Г.А. Пикус, А.Х. Байбури

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассматривается соответствие общепринятых расчетных схем болтовых соединений металлоконструкций их теоретической работе с учетом допусков на изготовление. Допуски принимаются по действующей нормативной документации на изготовление и монтаж. Найдены условия, при которых наиболее вероятно расчетные схемы не отражают реальной работы конструкций. Дополнительно рассмотрено влияние технологии монтажа на несущую способность временных соединений на сдвиг по поверхностям трения и на смятие болтов, а также соединений на стадии эксплуатации. Сделаны выводы о необходимости учета начальных деформаций болтовых соединений при расчете металлоконструкций со стыками на болтах без контролируемого натяжения, а также учета снижения несущей способности соединений на болтах с контролируемым натяжением при сравнении вариантов технологии монтажа.

Ключевые слова: металлические конструкции, податливость узлов, болтовые соединения, строительно-монтажные работы.

Для увеличения степени собираемости металлических конструкций и упрощения монтажа, как правило, отверстия под болты должны выполняться на 2...3 мм больше номинальных диаметров болтов [1, 2]. Под собственным весом конструкции стык может получить начальные деформации, зависящие от величины допусков и высоты сечения. При этом, в настоящее время в расчетах эти деформации обычно игнорируются.

Воспользовавшись общеизвестными уравнениями строительной механики [3, 4], нетрудно вывести формулу для угла поворота $\varphi_{ш}$ опорного сечения балки на двух шарнирных опорах при максимальной нагрузке. Например, для случая равномерно распределенной нагрузки и симметричного сечения:

$$\varphi_{ш} = \frac{qL^3}{24EI} = \frac{8ML}{24EI} = \frac{WRL}{3EI} = \frac{2RL}{3Eh}, \quad (1)$$

где q – равномерно распределенная нагрузка; L – расстояние между опорами (пролет); E , R – соответственно модуль упругости и расчетное сопротивление материала балки; h , W , I – соответственно высота, момент сопротивления и момент инерции сечения балки.

Аналогично находятся формулы для других типов нагружения. Можно заметить, что угол поворота сечений зависит только от материала и отношения высоты нейтральной линии балки к пролету.

Максимальный поворот φ_0 опорного сечения балки до включения болтов по полкам в работу на срез для соединения на накладках, с учетом гипотезы о малости деформаций [3], будет найден как:

$$\varphi_0 = \operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{s}{h}, \quad (2)$$

где s – максимальное относительное смещение по горизонтали болтов разных полок по разные стороны стыка.

Приравняв углы поворота сечения по формулам (1) и (2), возможно найти длины балок L_{\min} , меньше которых болты ни при какой нагрузке не включатся в работу на срез. Так, например, для балки из стали С245 с вынесенным стыком двутавра на накладках с разностью диаметров отверстия и болта 2 мм, выполненных без отклонений от проекта:

$$L_{\min} = 1,5 \frac{s \cdot E}{R} = 1,5 \frac{0,008 \cdot 206000}{240} = 10,3 \text{ м.}$$

Как видим, проблема начальных деформаций болтовых соединений актуальна для большинства использующихся в строительстве пролетов металлических балок.

Отклонения диаметров отверстий увеличивают начальные деформации стыка, и при максимальных значениях допусков по [2] могут достигать $s = 2,4$ мм для отверстий с номинальным диаметром до 17 мм включительно и $s = 4$ мм для отверстий с номинальным диаметром свыше 17 мм (для болтов классов точности В и С). Смещение

Характеристики соединений на разных стадиях работы

Класс прочности ГОСТ Р 52627 Тип соединения	5.8 не фрикционное			10.9 фрикционное		
	M16	M20	M24	M16	M20	M24
Диаметр болта	M16	M20	M24	M16	M20	M24
Максимальное усилие натяжения обычным ключом, кН	58,5	62,4	71,5	58,5	62,4	71,5
Усилие сдвига деталей при временном соединении, кН	14,6	15,6	17,9	33,9	36,2	41,5
Проектная прочность соединения, кН	42,2	65,9	94,9	68,8	107,3	154,6
Отношение временной прочности на сдвиг к проектной, %	34,6	23,6	18,9	49,3	33,7	26,8

отверстий относительно проектного положения может как увеличивать, так и снижать возможный поворот сечения. В соответствии с [5], смещение осей влияющих на собираемость отверстий при изготовлении допускается в пределах ± 1 мм.

Кроме того, допуски по диаметрам отверстий могут быть скомпенсированы несоответствием длины балки (± 3 мм при длине балки до 6 м, и ± 5 мм – от 6 м) и отклонениями колонн. Из-за этого включение в работу болтов по одной полке происходит позже другой, изменяя напряженно-деформированное состояние приопорной части, но не влияя на жесткость узла в целом.

Подытоживая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что проектная жесткость временного соединения при длине балки меньше L_{\min} не может быть обеспечена работой болтов на срез. Для соединений на накладках на болтах класса прочности не более 8.8 включительно это означает, что часть изгибающего момента (а возможно и весь) не будет восприниматься болтовым соединением, а следовательно, соответствующую часть нагрузки следует считать по шарнирной схеме.

Во фрикционных соединениях предполагается, что все усилие должно быть воспринято силами трения между стянутыми высокопрочными болтами деталями. Во время монтажа это условие может не обеспечиваться из-за недостаточного натяжения болтов и уменьшенного их количества, разрешенного [6]. При этом в настоящее время отсутствуют какие-либо дополнительные указания по расчету временных соединений, учитывающие отсутствие к ним части требований, предъявляемых к проектным соединениям.

Максимальное усилие, на которое монтажник может затянуть болт без использования динамометрического ключа, в разы меньше проектного натяжения болта для фрикционного соединения. Из этого следует, что при расчете необходимо учитывать снижение несущей способности соединения. При использовании болтов без контролируемого натяжения, сила трения предполагается недостаточной для восприятия собственного веса конструкций (см. таблицу), поэтому в расчете ей пренебрегаем.

Усилие натяжения находим по формуле:

$$P = \frac{M_3}{K_3 d},$$

где M – момент закручивания с усилием 343 Н гаечными ключами, удовлетворяющими требованиям [6]; $K_3 = 0,11$ – минимально допустимый коэффициент закручивания по действующим нормам на высокопрочные болты [7–9]; d – номинальный диаметр болта.

Несущую способность соединения в пересчете на один болт определяем в соответствии с требованиями [1]. Коэффициент трения окрашенных деталей принимаем не более 0,25. Толщину деталей считаем достаточной, чтобы не было смятия.

Как видно из таблицы, начальные деформации соединений возникают при усилиях, более чем в два раза ниже проектных. С учетом того, что [6] допускает временное закрепление конструкций 1/3 от проектного количества болтов, более приближенным к реальной работе временного соединения на болтах класса прочности до 8.8 включительно является шарнирное соединение.

Поскольку во фрикционных соединениях работа болтов на срез не допускается, на стадии временного закрепления их количество должно быть достаточным с учетом пониженной несущей способности. В случае, если это выполнить невозможно, проектное закрепление следует выполнять до расстропки конструкций, что негативно сказывается на эффективности использования машинного времени. Подобная проблема может возникнуть при излишнем укрупнении балок в монтажные блоки.

Таким образом, из-за позднего включения в работу болтов срезных соединений, узлы на накладках на болтах без контролируемого натяжения желательно считать шарнирными при подборе сечений относительно коротких балок. Во фрикционных соединениях расчет временного количества болтов следует производить с учетом сниженной несущей способности.

Литература

- СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 173 с.
- ГОСТ 23118-2012. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 30 с.
- Икрин, В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности: учебник для студентов, обучающихся по направ-

лению 653500 «Строительство» / В.А. Икрин. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – С. 162.

4. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений / под ред. А.А. Уманского. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1960. – С. 378–379.

5. СП 53-101-98. Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций. – М.: Госстрой России, 1999. – 30 с.

6. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. – М.: Минрегионразвития РФ, 2012. – 161 с.

7. ГОСТ Р 52644-2006. Болты высокопрочные с шестигранной головкой с увеличенным размером под ключ для металлических конструкций. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 26 с.

8. ГОСТ 32484.3-2013. Болтокомплекты высокопрочные для предварительного натяжения конструкционные. Система НR – комплекты шестигранных болтов и гаек. – М.: Стандартинформ, 2014. – 36 с.

9. ГОСТ 32484.3-2013 Болтокомплекты высокопрочные для предварительного натяжения конструкционные. Система НV – комплекты шестигранных болтов и гаек. – М.: Стандартинформ, 2014. – 33 с.

Семенов Константин Олегович, аспирант кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), semenov-k-o@yandex.ru

Пикус Григорий Александрович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), pikous@mail.ru

Байбурин Альберт Халитович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), abayburin@mail.ru

Поступила в редакцию 24 февраля 2016 г.

DOI: 10.14529/build160203

INITIAL DEFORMATIONS OF BOLTED JOINTS IN METAL STRUCTURES

K.O. Semenov, semenov-k-o@yandex.ru

G.A. Pikous, pikous@mail.ru

A.Kh. Baiburin, abayburin@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The congruence between conventional calculation schemes and theoretical behaviour of metal structures considering manufacturing tolerances is examined. Tolerances are accepted by building codes for fabrication and erection. Conditions are found under which the calculation schemes probably do not reflect the real work of structures. In addition, the effect of mounting technology on carrying capacity (against slipping and bolt shearing) of temporary connections is considered, as well as connections at the operational stage. Conclusions are drawn that initial deformations of bearing-bolted connections of metal structures should be taken into account when comparing the variants of mounting technology, as well as load-bearing capacity reduction in friction-grip connections.

Keywords: metal structures, semi-rigid connection effects, bolted joints, construction works.

References

1. SP 16.13330.2011. *Stal'nye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II 23 81** [SP 16.13330.2011. Steel structures. Revised edition of SNIIP II-23-81*]. Moscow, ОАО «ТsPP» Publ., 2011. 173 p.

2. GOST 23118-2012. *Konstruksii stal'nye stroitel'nye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST 23118-2012. Building steel structures. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 30 p.

3. Ikrin V.A. *Soprotivlenie materialov s elementami teorii uprugosti i plastichnosti: Uchebnik dlya studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyu 653500 «Stroitel'stvo»* [Strength of materials with elements of the theory of elasticity and plasticity: the textbook for students enrolled in the direction 653500 «Building»]. Moscow, ASV Publ., 2001, p. 162.
4. Umanskogo A.A. *Spravochnik proektirovshchika promyshlennykh, zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i sooruzheniy* [Designer's handbook of industrial, residential and public buildings]. Moscow, State Publishing House of Literature on construction, architecture and building materials Publ., 1960, pp. 378-379 (in Russ.).
5. SP 53-101-98. *Izgotovlenie i kontrol' kachestva stal'nykh stroitel'nykh konstruksiy* [Production and quality control of steel structures]. Moscow, Gosstroy of Russia Publ., 1999. 30 p.
6. SP 70.13330.2012. *Nesushchie i ograždayushchie konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.03.01 87* [Load-bearing and separating constructions. Revised edition of SNiP 3.03.01-87]. Moscow, The Ministry of regional development of the Russian Federation Publ., 2012. 161 p.
7. GOST R 52644-2006. *Bolty vysokoprochnye s shestigrannoy golovkoy s uvelichennym razmerom pod klyuch dlya metallicheskikh konstruksiy. Obshchie tekhnicheskie usloviy* [GOST R 52644-2006. High-strength screws and nuts and washers for metal structures. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 26 p.
8. GOST 32484.3-2013. *Boltokomplekty vysokoprochnye dlya predvaritel'nogo natyazheniya konstruksionnye. Sistema HR – komplekty shestigrannykh boltov i gaek* [GOST 32484.3-2013. High-strength structural bolting assemblies for preloading. System HR – Hexagon bolt and nut assemblies]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 36 p.
9. GOST 32484.4-2013. *Boltokomplekty vysokoprochnye dlya predvaritel'nogo natyazheniya konstruksionnye. Sistema HV – komplekty shestigrannykh boltov i gaek* [GOST 32484.4-2013. High-strength structural bolting assemblies for preloading. System HV – Hexagon bolt and nut assemblies]. Moscow, StandartinformPubl., 2014. 33 p.

Received 24 February 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Семенов, К.О. Начальные деформации болтовых соединений металлоконструкций / К.О. Семенов, Г.А. Пикус, А.Х. Байбурин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 18–21. DOI: 10.14529/build160203

FOR CITATION

Semenov K.O., Pikous G.A., Baiburin A.Kh. Initial Deformations of Bolted Joints in Metal Structures. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 2, pp. 18–21. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160203
