

Несущая способность фрикционных соединений алюминиевых конструкций

Юрий Саулович КУНИН, директор НОЦ ИС НИУ МГСУ, кандидат технических наук, e-mail: uskunin@mgsu.ru

Антон Алексеевич СИНЕЕВ, аспирант, e-mail: sineevanton@mail.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. На основании проведенного ранее анализа нормативной документации по стальным и алюминиевым строительным конструкциям было установлено, что для фрикционных соединений на высокопрочных болтах в настоящее время применяются исключительно стальные болты. Это вызвано отсутствием алюминиевых сплавов достаточно большой прочности для изготовления из них высокопрочных болтов. При использовании алюминиевых болтов из сплава с максимальным на данный момент временным сопротивлением необходимое количество болтов возрастает примерно в 2 раза, чтобы обеспечить прочность, сравнимую с соединением на высокопрочных стальных болтах. Такое решение не рационально. Применять стальные болты во фрикционных соединениях алюминиевых конструкций невозможно в полной мере, так как мало данных имеется в отечественной нормативной документации. Например, одинаковая для алюминиевых и стальных конструкций формула расчета фрикционного соединения предполагает использование коэффициента, представленного только для стальных конструкций и зависящего от способа обработки поверхностей. Для алюминия эта формула справедлива только при отсутствии обработки соединяемых поверхностей. Таким образом, необходимо определить ряд коэффициентов для расчета фрикционных соединений алюминиевых конструкций. С этой целью были проведены испытания двух серий образцов: без обработки соединяемых поверхностей и с обработкой металлическими щетками. Результаты проведенных испытаний подтвердили необходимость исследовать вопрос определения вышеупомянутых коэффициентов. В частности, нужно провести серию испытаний по установлению коэффициента трения элементов алюминиевых конструкций в зависимости от способа обработки поверхности, после чего для каждого способа следует определить коэффициент для расчета фрикционных соединений.

Ключевые слова: болтовые и фрикционные соединения, соединения на высокопрочных стальных болтах, алюминиевые конструкции, физико-механические испытания.

LOAD-BEARING CAPACITY OF FRICTION JOINTS OF ALUMINUM STRUCTURES

Jurij S. KUNIN, e-mail: uskunin@mgsu.ru

Anton A. SINEEV, e-mail: sineevanton@mail.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. Based on an earlier analysis of the normative documentation for steel and aluminum building structures, it was found that only steel bolts are currently used for friction joints with high-strength bolts. The reason for this is the lack of aluminum alloys of sufficiently high strength to make high-strength bolts from them. When using aluminum alloy bolts with the maximum temporary resistance at the moment, the required number of bolts increases approximately twice, provided that the strength is comparable to the connection, which uses high-strength steel bolts. This decision is not rational. The use of steel bolts in the friction joints of aluminum structures is not fully possible due to the incompleteness of the data presented in the domestic normative documentation. In particular, the formula for calculating the friction joint, which is the same for aluminum and steel structures, assumes the use of a coefficient that is presented only for steel structures and depends on the method of surface treatment. For aluminum, this formula is valid only in the absence of processing of the connected surfaces. Thus, it is necessary to determine some coefficients for calculating the friction joints of aluminum structures. For this purpose, two series of samples were tested: without treatment of the connected surfaces and with treatment with metal brushes. The results of the tests confirmed the need to study the issue of determining the above-mentioned coefficients, in particular: it is necessary to conduct a series of tests to determine the coefficient of friction of elements of aluminum structures, depending on the method of surface treatment, after which it is necessary to determine the coefficient for calculating friction joints for each method.

Key words: bolted and friction joints, joints on high-strength steel bolts, aluminum structures, physical and mechanical tests.

Один из самых распространенных способов соединения металлических (в частности алюминиевых) конструкций — сварка. Однако прочность свар-

ных соединений из упрочненных сплавов ниже прочности основного металла [1].

Кроме того, использование аргоно-дуговой сварки понижает

стойкость алюминия (соединительного шва) к коррозии под напряжением, что приводит к необходимости выполнения дополнительных технологических процес-

сов с целью повышения прочности соединения [2]. В то время как более щадящий режим сварки — сварка трением с перемешиванием становится причиной возникновения несплошностей структуры сварного соединения [3].

В конструкциях из алюминиевых сплавов монтажные соединения выполняют на заклепках, выклепываемых в холодном виде. Для заклепок диаметром 20–24 мм при этом требуется большая сила обжатия, порядка 400–700 кН, что в условиях монтажа конструкций вызывает известные трудности. Применение для монтажа конструкций высокопрочных болтов исключает необходимость использования сложного оборудования, повышает производительность труда и ускоряет монтаж конструкций [4].

Болтовые соединения алюминиевых конструкций применяются в случаях, если в процессе эксплуатации требуется разборка соединенных элементов, при трудном доступе к месту соединения и при передаче больших усилий.

Болты изготавливают обычно из того же или из более прочного алюминия, что и соединяемые элементы, а также из стали с применением оцинковки или кадмирования [5].

Нормы и правила расчета и конструирования монтажных соединений на высокопрочных стальных болтах регламентируются п. 10.3 СП 128.13330.2016 «СНиП 2.03.06-85 Алюминиевые конструкции». В частности, формула (91) расчетного усилия Q_{bh} , которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, имеет вид:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu}{\gamma_h},$$

где R_{bh} — расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта, определяемое по соответствующим норма-

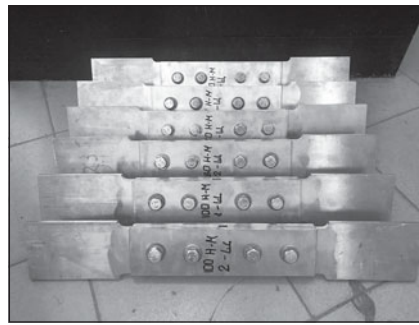


Рис. 1. Серия образцов для статического растяжения. Поверхности трения обезжирены

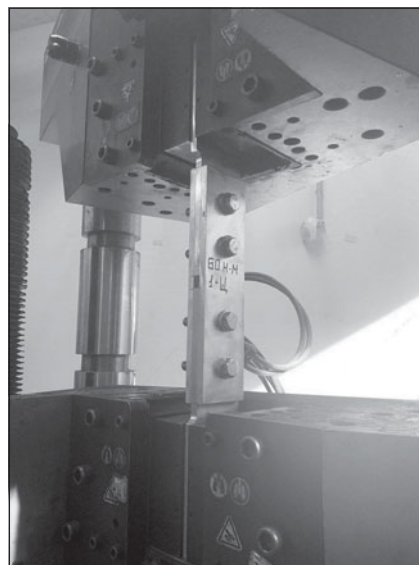


Рис. 2. Растяжение образца в испытательной машине Instron 1000HDX

тивным документам; γ_b — коэффициент условия работы соединения, принимаемый равным 0,8; A_{bn} — площадь сечения болта нетто, установленная по соответствующим нормативным документам; μ — коэффициент трения согласно табл. 40 СП 128.13330; γ_h — коэффициент, принимаемый по табл. 42 СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» (с поправкой, с изменениями № 1, 2).

Коэффициент γ_h , зависящий от способа обработки поверхностей, приведен только в СП 16.13330. Ссылка на него дается в СП 128.13330, однако способы обработки поверхностей алюминиевых конструкций не совпадают со способами обработки стальных. Это приводит к невозможности определения коэффициента γ_h для высокопрочных

соединений алюминиевых конструкций и, как следствие, невозможности расчета этих соединений [6].

Таким образом, актуальными становятся задачи исследования коэффициентов трения поверхностей алюминиевых конструкций и несущей способности рассматриваемых соединений в зависимости от способа обработки поверхности с целью расчета по экспериментальным данным коэффициентов γ_h . Наличие этих коэффициентов позволит производить расчет и конструирование фрикционных соединений алюминиевых конструкций без их экспериментального исследования.

В первую очередь поставлена задача по изучению существующих коэффициентов, актуальных и определенных для необработанных поверхностей. Объект исследования — образцы алюминиевых пластин, соединенных высокопрочными стальными болтами (рис. 1) в соответствии с рекомендациями по конструированию, изложенными в СП 128.13330. Предмет исследования — несущая способность рассматриваемых соединений.

Согласно определению фрикционного соединения на высокопрочных болтах — это соединение с контролируемым натяжением болтов. Силы трения, возникающие в соединении на соприкасающихся поверхностях от натяжения болтов и воспринимающие сдвигающие силы, рассчитывают в зависимости от прочности стержня болта и характера обработки соприкасающихся поверхностей. Соответственно в качестве метода исследования выбрано испытание на растяжение образцов фрикционного соединения до потери ими несущей способности (проскальзывание пластин относительно друг друга). Образцы растягивались на испытательной машине «Instron 1000HDX» (рис. 2).

Диаграммы «нагрузка—пере-

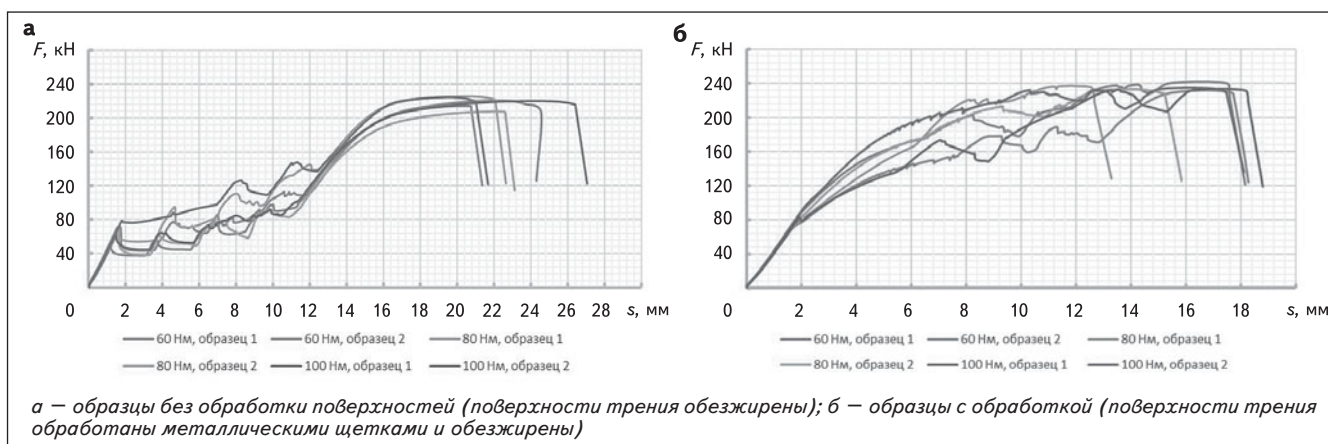


Рис. 3. Диаграммы «нагрузка–перемещение» ($F-s$)



Рис. 4. След от вмятия шайбы в алюминий при моменте затяжки 100 Н·м

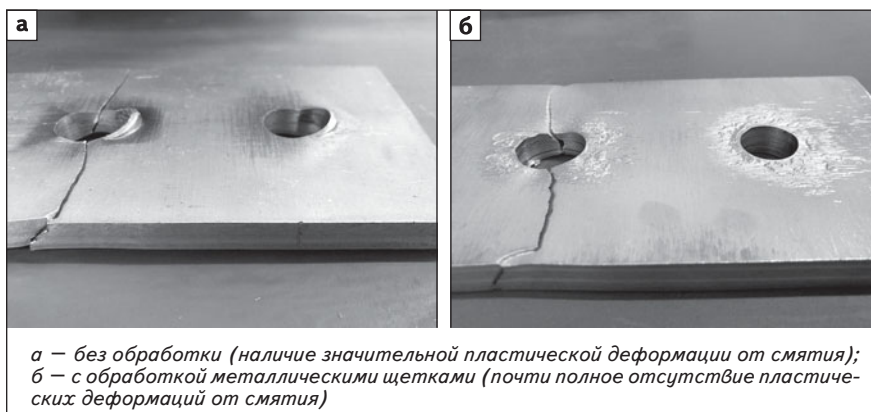


Рис. 5. Характерное разрушение образцов

мещение» серий образцов представлены на рис. 3. За момент потери несущей способности фрикционного соединения принимается момент проскальзывания пластин испытываемых образцов. На диаграммах этот момент выражается резким падением нагрузки (см. рис. 3а) либо резким изменением наклона касательной к графику (см. рис. 3б).

Испытания проводились на двух видах образцов. Исходя из полученных результатов можно отметить следующее.

- Образцы без предварительной обработки соединяемых поверхностей

Момент потери несущей способности варьируется в пределах 48,22–76,62 кН.

Момент затяжки не оказывает прямого влияния на несущую способность. Так, при моменте

затяжки в 60 Н·м несущая способность составила 70,38 и 48,22 кН; при моменте 80 Н·м — 71,63 и 63,37 кН; при моменте 100 Н·м — 61,94 и 76,62 кН. Причина этого, очевидно, заключается в разном качестве поверхностей трения, не подвергнутых специальной обработке.

- Образцы с обработкой соединяемых поверхностей металлическими щетками

Для всех образцов момент потери несущей способности наступает при 80 кН.

Момент затяжки способствует более стабильной работе образцов после потери несущей способности (выражено в наклоне касательной к графику, а также в отсутствии резких скачков по нагрузке, рис. 3б).

При этом при расчете по фор-

муле (91) СП 128.13330 получим несущую способность соединения, равную 38,59 кН, при затяжке болтов 100 Н·м на каждом.

Если бы был приложен момент затяжки 210 Н·м (как регламентируют нормативные документы), несущая способность составила бы 77,17 кН. Меньший момент затяжки был выбран, чтобы предотвратить пластические деформации в алюминии от вдавливания шайб (рис. 4).

Следует отметить, что и способ обработки повлиял на характер деформирования образцов при разрушении (рис. 5). Например, у образцов без обработки поверхностей присутствует значительная деформация от смятия металла соединяемых элементов (рис. 5а). В то время как у образцов, обра-

ботанных металлическими щетками, такой тип деформации никак себя не проявил (рис. 5б). Причем все образцы разрушались по ослабленному сечению, близкому к захвату испытательной машины.

Выводы

1. Подтверждены актуальность формулы (91) СП 128.13330 и правильность проведенного эксперимента.

2. Рассчитанная несущая способность образцов без обработки поверхностей на четверть ни-

же минимальной несущей способности, полученной экспериментально. Забегая вперед, стоит отметить, что это скорее всего связано с тем, что экспериментально определенный коэффициент трения для поверхностей без обработки значительно выше коэффициента трения, указанно-го в СП 128.13330.

3. Сравнение результатов испытания соединений без обработки и с обработкой соединяемых поверхностей показало, что тип обработки действительно оказывает влияние как на харак-

тер работы самого соединения, так и на несущую способность соединения.

4. Все вышеперечисленное открывает возможность после проведения серии экспериментов с разными способами обработки поверхностей определить для каждого способа коэффициент γ_h . Для этого необходимо провести серию экспериментов по определению коэффициентов трения для разных способов обработки поверхностей, в первую очередь для обработки металлическими щетками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьева И. Н. *Алюминиевые конструкции*. Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1976. 208 с.
2. Пантелеенко Ф. И., Шумов О. В. Повышение стойкости сварных соединений алюминиевых сплавов // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*. 2018. № 3. С. 69–72.
3. Сизова О. В., Колубаев А. В., Колубаев Е. А. [и др.] Влияние основных параметров процесса сварки трением с перемещением на дефектность структуры сварного соединения // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2017. № 4(77). С. 19–29.
4. Богданов Т. М., Богомолова А. Д., Новожилова Н. И. *Соединения в строительных конструкциях из алюминия*. М. : Центральный институт научной информации по строительству и архитектуре, 1959. 52 с.
5. Трофимов В. И. *Алюминиевые конструкции*. М. : Стройиздат, 1978. 154 с.
6. Синеев А. А. Несущая способность винтовых (болтовых) соединений элементов алюминиевых конструкций // *Тезисы докл. Всерос. науч.-практ. конф. В 2 т.* М. : НИУ МГСУ, 2019. Т. 1. С. 83–84.

REFERENCES

1. Artemeva I. N. *Alyuminiyevye konstrukcii* [Aluminum construction]. Leningrad, Strojizdat Publ., Leningr. otdelenie, 1976. 208 p. (In Russian).
2. Panteleenko F. I., Shumov O. V. Increasing the resistance of welded joints of aluminum alloys. *Vestnik Poloczkogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promy`shlennost'. Prikladny`e nauki*, 2018, no. 3, pp. 69–72. (In Russian).
3. Sizova O. V., Kolubaev A. V., Kolubaev E. A. et al. Influence of the main parameters of the friction-mixing welding process on the defect structure of the welded joint. *Obrabotka metallov (texnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 2017, no. 4(77), pp. 19–29. (In Russian).
4. Bogdanov T. M., Bogomolova A. D., Novozhilova N. I. *Soedineniya v stroitel'ny`x konstrukciyax iz alyuminiya* [Connections in building structures made of aluminum]. Moscow, Central'ny`j institut nauchnoj informacii po stroitel'stvu i arxitekture Publ., 1959. 52 p. (In Russian).
5. Trofimov V. I. *Alyuminiyevye konstrukcii* [Aluminum construction]. Moscow, Strojizdat Publ., 1978. 154 p. (In Russian).
6. Sineev A. A. Load-bearing capacity of screw (bolted) joints of aluminum structural elements. *Sbornik tezisov dokladov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Moscow, NIU MGSU Publ., 2019, vol. 1, pp. 83–84. (In Russian).

Для цитирования: Кунин Ю. С., Синеев А. А. Несущая способность фрикционных соединений алюминиевых конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 12. С. 82–85. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.82-85.

For citation: Kunin Ju. S., Sineev A. A. Load-Bearing Capacity of Friction Joints of Aluminum Structures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 12, pp. 82–85. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.82-85. (In Russian). ■