
СТРОИТЕЛЬСТВО

CIVIL AND INDUSTRIAL ENGINEERING

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-367-371>

УДК 624.014

К расчету угловых сварных швов

Докт. техн. наук, проф. Е. Ю. Давыдов¹⁾, канд. техн. наук А. И. Бондарович¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. При выполнении сварных соединений не всегда удается плотно прижать соединяемые элементы перед наплавкой сварного шва. В нормативных документах по сварным соединениям допустимый зазор между соединяемыми элементами может достигать: 3 мм – при сварке покрытым электродом; 2 мм – при сварке в защитных газах. В то же время в нормативах по расчету сварных соединений наличие зазора не учитывается. Для определения влияния зазора на несущую способность сварного шва проведены экспериментальные исследования. На Минском заводе технологических металлоконструкций были изготовлены образцы со сварными соединениями двух типов – для работы на сдвиг и отрыв. С целью сопоставления половину образцов изготовили без зазоров, а другую половину – с зазорами между соединяемыми элементами. Испытания проводили в научно-исследовательской лаборатории БНТУ. По результатам опытов сделаны выводы, что зазоры между соединяемыми элементами существенно снижают несущую способность сварных швов. Кроме того, осмотр поверхностей разрыва показал, что при наличии зазора поверхности среза сварного шва проходят по границе сплавления основного и наплавленного металлов. Экспериментально установлено, что имеющийся зазор приводит к некоторому увеличению глубины проплавления. Однако последний фактор не компенсирует снижение несущей способности сварного шва, обусловленное наличием зазора между соединяемыми элементами.

Ключевые слова: сварной шов, зазор, образец, катет, глубина проплавления

Для цитирования: Давыдов, Е. Ю. К расчету угловых сварных швов / Е. Ю. Давыдов, А. И. Бондарович // *Наука и техника*. 2020. Т. 19, № 5. С. 367–371. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-367-371>

To Calculation of Fillet Welds

E. Yu. Davydov¹⁾, A. I. Bondarovich¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. When making welded joints, it is not always possible to press tightly elements to be joined before surfacing the weld. In normative documents on welded joints, the allowable gap between the elements to be connected can reach 3 mm when welding with a covered electrode and 2 mm when welding in shielded gases. At the same time the presence of a gap is not taken into account in the standards for calculation of welded joints. Experimental studies have been carried out to determine effect of the gap on the bearing capacity of the weld. Specimens have been made with welded joints of two types: for work in shear and pull-out. For the purpose of comparison, half of the specimens have been made without gaps, and the other half with gaps between the elements to be joined. The specimens have been made at the Minsk plant of technological metal structures, and their tests have been carried out in a research laboratory of the Belarusian National Technical University. Based on the results of the experiments, it has been concluded that the gaps between the elements to be joined significantly reduce the bearing capacity of the welded joints. In addition, inspection of fracture surfaces have shown that, in the presence of a gap,

Адрес для переписки

Давыдов Евгений Юрьевич
Белорусский национальный технический университет
ул. Ф. Скорины, 25/1,
220114, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-96-97
davydov@bntu.by

Address for correspondence

Davydov Evgeney Yu.
Belarusian National Technical University
25/1, F. Skoriny str.,
220114, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-96-97
davydov@bntu.by

the cut surfaces of the weld pass along the fusion boundary of the base and deposited metals. It has been experimentally established that the existing gap leads to a slight increase in the penetration depth. However, the latter factor does not compensate for the decrease in the bearing capacity of the welded joint due to the presence of a gap between the elements to be joined.

Keywords: welded joint, gap, specimen, cathetus/leg, penetration depth

For citation: Davydov Y. Yu., Bondarovich A. I. (2020) To Calculation of Fillet Welds. *Science and Technique*. 19 (5). 367–371. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-5-367-371> (in Russian)

Введение

При изготовлении стальных конструкций в процессе сварки, как правило, не всегда удается обеспечить плотное касание элементов в тавровых, нахлесточных и угловых соединениях. На рис. 1 приведена схема расчетных сечений сварного соединения с угловым швом [1, 2]. Сечение по наплавленному металлу обозначено символом f , сечение по границе сплавления – z , зазор – символом δ . Сечение по наплавленному металлу направлено перпендикулярно гипотенузе прямоугольного треугольника, вписанного во внешнюю часть сварного шва, а сечение по границе сплавления проходит через точки пересечения сварным швом поверхностей соединяемого элемента.

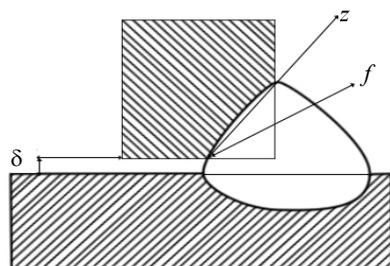


Рис. 1. Поперечное сечение углового шва в тавровом соединении

Fig. 1. Cross-section of fillet weld in T-joint

Определение катета сварного шва осуществляется по формулам [1, 2]:

$$K_f \geq N / \beta_f l_w R_{wf}; \quad K_f = N / \beta_z l_w R_{wz}, \quad (1)$$

где β_f, β_z – принимаются в зависимости от вида сварки, положения при сварке и значения катета, которое на этом этапе расчета предварительно берется в интервале $K_{fmin} - K_{fmax}$; l_w – рас-

четная длина сварного шва; R_{wf}, R_{wz} – расчетное сопротивление срезу по металлу шва и металлу границы сплавления.

Как видно из (1), зазор между соединяемыми элементами (δ) не учитывается. Согласно действующим нормативным документам по сварным соединениям [3–8], зазор между соединяемыми элементами может достигать: 3 мм – при сварке покрытым электродом; 2 мм – при сварке в защитных газах. В то же время наименьшее значение катета: всего 4 мм – при ручной; 3 мм – при механизированной сварке [2]. При толщинах соединяемых элементов 15 мм и более наибольшее значение зазора (3 мм) и наименьшее значение катета (4 мм) могут оказаться в одном сварном соединении.

С целью определения влияния зазора между соединяемыми элементами на несущую способность сварного шва проведены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования

Для проведения исследований были изготовлены образцы двух типов, где соединяемые элементы воспринимали сдвигающие и отрывающие усилия. На рис. 2 представлены образцы, предназначенные для восприятия сдвигающих усилий. Образцы каждого типа выполняли в двух вариантах: без зазора ($\delta = 0$) (рис. 2а) и с зазором ($\delta = 2-3$ мм) (рис. 2б). Фактически зазоры в этих образцах получились равными 2,5 и 2,9 мм, а катеты сварных швов находились в пределах от 4,0 до 5,7 мм. Катеты замерялись как катеты прямоугольных треугольников, вписанных во внешнюю часть наплавленного металла.

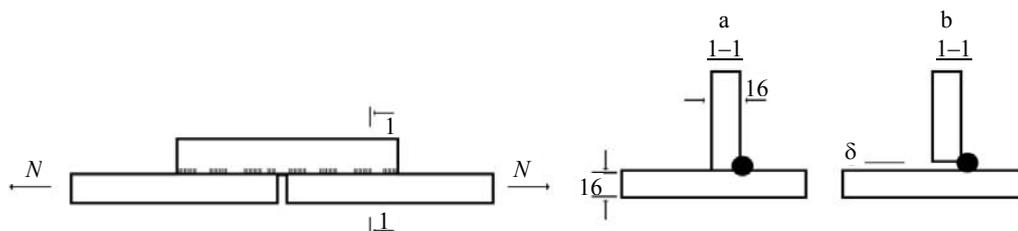


Рис. 2. Образцы для испытаний на сдвиг

Fig. 2. Shear test specimens

На рис. 3 представлены образцы, предназначенные для восприятия отрывающих усилий. Фактически зазоры в этих образцах получились равными 2,1 и 2,9 мм, а катеты сварных швов находились в пределах от 2,7 до 8,4 мм.

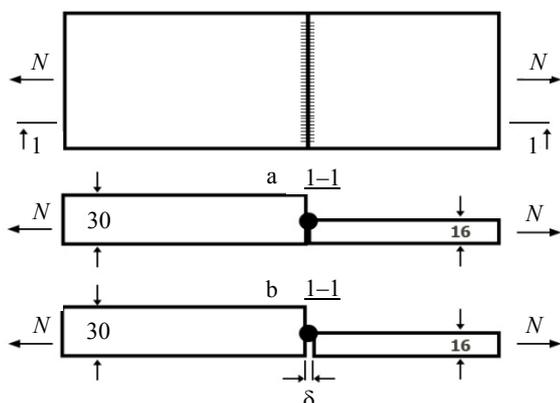


Рис. 3. Образцы для испытаний на отрыв

Fig. 3. Pull-out test specimens

В образцах для испытаний на сдвиг толщины соединяемых пластин принимались 16 мм, а на отрыв – 16 и 30 мм. Материал пластин – сталь С245. Полная длина сварного шва в каждом образце составляла 100 мм. Сварные швы наплавлялись полуавтоматом. Использовалась сварочная проволока Св 08Г2С диаметром 2 мм. Сварка выполнялась в нижнем положении в среде защитного газа (аргона). Образцы изготавливались на Минском заводе технологических металлоконструкций.

Сечения сварных швов в образцах, испытанных на сдвиг без зазора и с зазором, приведены на рис. 4, на отрыв – на рис. 5.

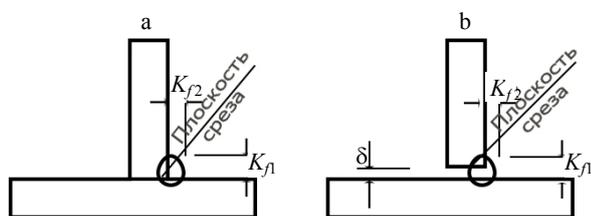


Рис. 4. Сечения сварных швов в образцах, испытанных на сдвиг, без зазора (а) и с зазором (б)

Fig. 4. Sections of welded joints in shear test specimens, without gap (a) and with gap (b)

Эксцентриситет, обусловленный формой образцов, приведенных на рис. 4, 5, вызывает появление незначительных нормальных напряжений. В зоне сварного шва эти напряжения не

превышали 3 кН/см^2 . При сопоставлении несущих способностей сварных соединений, которые определяются значениями касательных напряжений, влияние нормальных напряжений не учитывалось.

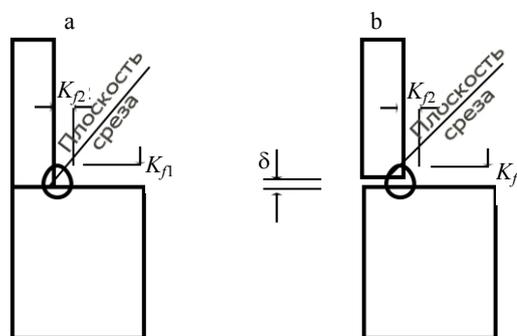


Рис. 5. Сечения сварных швов в образцах, испытанных на отрыв, без зазора (а) и с зазором (б)
Fig. 5. Sections of welded joints in pull-out test specimens, without gap (a) and with gap (b)

Испытания образцов проводились в научно-исследовательской лаборатории бетона и строительных материалов БНТУ на универсальной гидравлической машине WAW-1000 (рис. 6) с диапазоном измерения нагрузки 1000 кН (свидетельство о калибровке БелГИМ ВУ 01 № 1402-47 до 12.12.2019).



Рис. 6. Испытание образца на машине WAW-1000

Fig. 6. Specimen testing on WAW-1000 machine

Результаты исследований

Осмотр плоскостей среза сварных швов показал, что в сварных швах без зазора плоскость среза проходила по наплавленному металлу, в то время как в сварных швах с зазором – по

границе сплавления основного и наплавленного металлов (рис. 4, 5).

При обработке результатов эксперимента для сопоставления несущих способностей использовались усредненные значения катета (K_{cp}), которые определялись как для сварного шва с одинаковыми катетами ($K_{f1} = K_{f2}$) из условия равенства высоты треугольника с катетами K_{f1} и K_{f2} и высоты равностороннего треугольника с K_{fcp} . Значения фактических и усредненных катетов приведены в табл. 1, 2, где образцы без зазора обозначены М1, М2, М5 и М6, а с зазором – М3, М4, М7 и М8. В табл. 1, 2 h – это глубина проплавления. Следует отметить, что глубина проплавления не была постоянной вдоль сварного шва. В табл. 1, 2 приведены средние значения этого параметра.

Таблица 1

Геометрические и механические характеристики образцов, испытанных на сдвиг
Geometric and mechanical characteristics of shear test specimens

| Образец | K_{f1} , мм | K_{f2} , мм | K_{cp} , мм | δ , мм | h , мм | N , кН | N/K_{cp} | h/K_{cp} |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|----------|------------|------------|
| М1 | 4,3 | 4,0 | 4,1 | 0 | 1,7 | 192,0 | 46,80 | 0,410 |
| М2 | 5,0 | 4,7 | 4,8 | 0 | 1,7 | 192,5 | 40,10 | 0,354 |
| М3 | 4,4 | 5,7 | 5,0 | 2,5 | 3,0 | 149,8 | 29,90 | 0,600 |
| М4 | 4,5 | 5,6 | 5,1 | 2,9 | 2,8 | 153,3 | 30,06 | 0,550 |

Таблица 2

Геометрические и механические характеристики образцов, испытанных на отрыв
Geometric and mechanical characteristics of pull-out test specimens

| Образец | K_{f1} , мм | K_{f2} , мм | K_{cp} , мм | δ , мм | h , мм | N , кН | N/K_{cp} | h/K_{cp} |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|----------|------------|------------|
| М5 | 5,4 | 3,5 | 4,15 | 0 | 1,6 | 205,0 | 49,4 | 0,385 |
| М6 | 3,0 | 2,7 | 2,84 | 0 | 1,2 | 144,4 | 50,8 | 0,422 |
| М7 | 8,4 | 5,5 | 6,50 | 2,9 | 3,0 | 217,0 | 33,5 | 0,460 |
| М8 | 5,0 | 4,0 | 4,42 | 2,1 | 2,0 | 166,5 | 37,6 | 0,450 |

Учитывая неодинаковость объемов наплавленного металла, сопоставление несущих способностей произведено в относительных величинах в килоньютонах на миллиметр. В табл. 1 приведены сопоставления несущих способностей сварных швов в соединениях, работаю-

щих на сдвиг. Для сварных швов с зазором, испытанных на сдвиг, относительная несущая способность оказалась в 1,34–1,56 раза меньше несущей способности сварных швов без зазора.

Для сварных швов с зазором, испытанных на отрыв, относительная несущая способность оказалась в 1,35–1,47 раза меньше относительной несущей способности сварных швов без зазора. Следует отметить, что снижение несущей способности, вызванное зазором, не является прямо пропорциональным. Это обусловлено тем, что при наличии зазора несколько увеличилась глубина проплавления: для сварных швов без зазора она составила 1,4–1,7 мм, а с зазором 2–3 мм. Относительное значение глубины проплавления (h/K_{cp}) для образцов без зазора 0,36–0,49, а с зазором 0,45–0,57.

Аналитически зависимость несущей способности сварного соединения с учетом зазора между соединяемыми элементами может быть представлена следующим выражением:

$$N = N_0 \left[1 - \left(\delta / K_{cp} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где N_0 – несущая способность сварного соединения при отсутствии зазора.

Выражение (2) обеспечивает достаточно высокую точность (в пределах 5 %) при определении несущей способности сварного соединения с зазором между соединяемыми элементами.

ВЫВОДЫ

1. Зазоры между соединяемыми элементами оказывают существенное отрицательное влияние на несущую способность сварного шва. Несущая способность, приходящаяся на 1 мм катета сварного шва, в образцах с зазором оказалась на 36–24 % меньше, чем в образцах без зазора.

2. В образцах без зазора плоскости среза проходили только по наплавленному металлу сварного шва.

3. В образцах с зазором плоскости среза проходили лишь по границе сплавления основного и наплавленного металлов.

4. На основании проведенных исследований рекомендуется катеты сварных швов, вычисленные по формулам [1, 2], увеличивать на значение зазора, допускаемого по ГОСТам [3–8]:

$$K_f \geq N / \beta_f l_w R_{wf} + \delta; K_z = N / \beta_z l_w R_{wz} + \delta. \quad (3)$$

5. Данная рекомендация одобрена ЦНИИСК имени Кучеренко – разработчиком СНИП II-23–81* и СП 16.13330.2017 (письмо от 15.08.2019 №3-1124) и соответствует требованиям ГОСТ 23118–2012 [9]. Увеличение катета на значение допускаемого зазора следует предусматривать при разработке рабочих чертежей в стадии КМ, так как в стадии КМД вносить изменения в рабочий проект можно только с согласия организации – разработчика чертежей КМ (п. 4.3 [10]).

6. Очевидно, что увеличение катета следует предусматривать, если в процессе изготовления стальных конструкций не представляется возможным гарантированно исключить появление зазоров между соединяемыми элементами. При этом приведенное правило должно быть внесено в нормативные документы по проектированию стальных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стальные конструкции: СНИП II-23–81*. М.: Госстрой СССР, 1991. 38 с.
2. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНИП II-23–81*: СП 16.13330.2017. М., 2017. 148 с.
3. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 5264–80. М.: Стандартинформ, 2010. 35 с.
4. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 14771–76. М.: Стандартинформ, 2007. 39 с.
5. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 11533–75. М.: Изд-во стандартов, 1975. 39 с.
6. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 11534–75. М.: Изд-во стандартов, 1976. 23 с.
7. Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 23518–79. М.: Стандартинформ, 2011. 27 с.

8. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры: ГОСТ 8713–79. М.: Стандартинформ, 2005. 39 с.
9. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия: ГОСТ 23118–2012. М.: Стандартинформ, 2013. 40 с.
10. Стальные строительные конструкции. Правила изготовления: ТКП 45-5.04-121–2009 (02250). Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2009. 35 с.

Поступила 14.05.2020

Подписана в печать 11.08.2020

Опубликована онлайн 30.09.2020

REFERENCES

1. SNiP [Construction Rules and Regulations] II-23–81*. *Steel Structures*. Moscow: Publishing House of USSR State Committee for Construction, 1991. 38 (in Russian).
2. SNiP [Construction Rules and Regulations] II-23–81*: СП 16.13330.2017. Revised Edition. *Steel Structures*. Moscow, 2017. 148 (in Russian).
3. State Standard 5264–80. *Manual Arc Welding. Welded Connections. Main Types, Structural Elements and Dimensions*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 35 (in Russian).
4. State Standard 14771–76. *Arc Welding in Shielding Gas. Welded Connections. Main Types, Structural Elements and Dimensions*. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 39 (in Russian).
5. State Standard 11533–75. *Automatic and Semi-Automatic Submerged Arc Welding. Welded Joints at Sharp and Obtuse Angles. Main Types, Structural Elements and Dimensions*. Moscow, Publishing House of Standards, 1975. 39 (in Russian).
6. State Standard 11534–75. *Manual Arc Welding. Welded Joints at Sharp and Obtuse Angles. Main Types, Structural Elements and Dimensions*. Moscow, Publishing House of Standards, 1976. 23 (in Russian).
7. State Standard 23518–79. *Arc Welding in Shielding Gas. Welded Joints at Sharp and obtuse Angles. Main Types, Structural Elements and Dimensions*. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 27 (in Russian).
8. State Standard 8713–79. *Submerged Arc Welding. Welded Connections. Main Types, Structural Elements and Dimensions*. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 39 (in Russian).
9. State Standard 23118–2012. *Steel Building Structures. General Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 40 (in Russian).
10. TCP [Technical and Commercial Proposal] 45-5.04-121–2009 (02250). *Steel Building Structures. Manufacturing Rules*. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2009. 35 (in Russian).

Received: 14.05.2020

Accepted: 11.08.2020

Published online: 30.09.2020