

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкции покрытий из элементов длинной на пролет. Анализ технических решений и предположения по областям применения / Кутухтин Е. Г. [и др.]. – Москва, 1974 г. – 75 с.
2. Электронный ресурс. – <http://stroyprouzvodstvo.ru/konstrukcii-pokrytij-s-primeneniem-plit-na-prolet/>.

УДК 624.014

ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ СОЕДИНЯЕМЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ДАВЫДОВ Е. Ю., БОНДАРОВИЧ А. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В данной статье рассматриваются сварные соединения с применением только угловых сварных швов. В процессе изготовления стальных конструкций, как правило, не всегда удается обеспечить плотное касание элементов в тавровых, нахлесточных и угловых соединениях. Согласно нормативным документам по сварным соединениям зазор между соединяемыми элементами в зависимости от вида сварки и толщины соединяемых элементов может достигать 3 мм. В то же время, в документах по расчету сварных соединений наличие зазора никоим образом не учитывается.

На рис. 1 приведена схема расчетных сечений сварного соединения с угловым швом, используемая в [1, 2]. Сечение по наплавленному металлу обозначено символом « f », а сечение по границе сплавления – символом « Z ». 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.

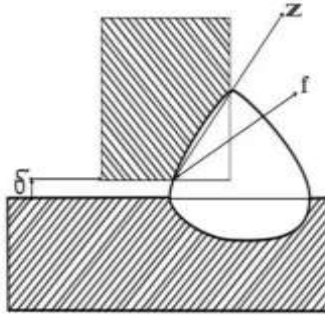


Рис. 1. Поперечное сечение углового шва в тавровом соединении

Согласно [1, 2] определение катета сварного шва осуществляется по следующим формулам:

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

где β_f, β_z – принимаются в зависимости от вида сварки, положения при сварке и значения катета, который на предварительном этапе расчета принимается в интервале $K_{f \min} - K_{f \max}$;

l_w – расчетная длина сварного шва;

R_{wf}, R_{wz} – расчетные сопротивления срезу, соответственно, по металлу шва и по металлу границы сплавления.

Как видно из приведенных формул, зазор между соединяемыми элементами (δ) не учитывается. Наименьшее значение катета может составить всего 4 мм при ручной сварке и 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 были проведены экспериментальные исследования. Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы двух типов: образцы, где сварные швы предназначались для восприятия сдвигающих усилий и образцы, где сварные швы предназначались для восприятия отрывающих усилий. Образцы каждого типа изготавливались в двух вариантах: без зазора ($\delta = 0$) и с зазором ($\delta = 2-3$ мм). На рис. 2 представлены образцы, предназначенные для восприятия сдвигающих усилий. Фактические зазоры в этих образцах получи-

лись равными 2,5 и 2,9 мм, а катеты сварных швов находились в пределах от 4,0 до 5,7 мм. Катеты сварных швов замерялись как катеты прямоугольных треугольников, вписанных во внешнюю часть наплавленного металла.

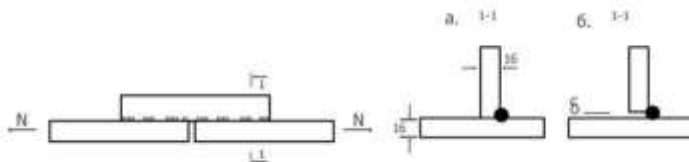


Рис. 2. Образцы для испытаний на сдвиг

На рис. 3 представлены образцы, предназначенные для восприятия отрывающих усилий. Фактические 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.

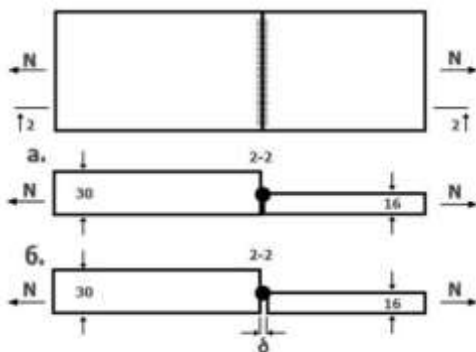


Рис. 3. Образцы для испытаний на отрыв

В образцах для испытаний на сдвиг толщины соединяемых пластин приняты равными 16 мм. В образцах для испытаний на отрыв толщины пластин приняты равными 16 и 30 мм. Материал пластин – сталь С245. Полная длина сварного шва в каждом образце составляла 100 мм. Сварные швы наплавливались полуавтоматом. Использовалась сварочная проволока Св 08Г2С, диаметром 2 мм. Сварка вы-

полнялась в нижнем положении в среде защитного газа (аргона). Образцы были изготовлены на Минском заводе технологических металлических конструкций.

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

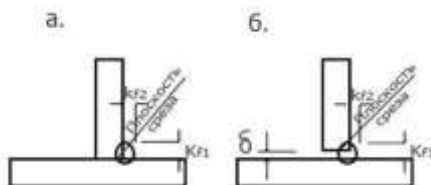


Рис. 4. Сечения сварных швов в образцах, испытанных на сдвиг без зазора (а) и с зазором (б)

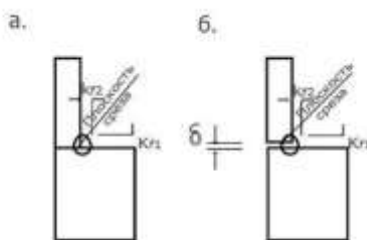


Рис. 5. Сечения сварных швов в образцах, испытанных на отрыв без зазора (а) и с зазором (б)

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

Осмотр плоскостей среза сварных швов показал, что в сварных соединениях без зазора плоскость среза проходила по наплавленному металлу, в то время как в сварных соединениях с зазором эта плоскость проходила по границе сплавления основного и наплавленного металлов (см. рис. 4 и 5).



Рис. 6. Испытание образца в машине WAW-1000

При обработке результатов эксперимента для сопоставления несущих способностей использовались усредненные значения катета ($K_{ср}$), 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 катетами $K_{ср}$. Значения фактических катетов и катетов усредненных приведены в табл. 1 и 2. В указанных таблицах образцы без зазора обозначены М1, М2, М5 и М6, а образцы с зазором – М3, М4, М7 и М8. В табл. 1 и 2 символом « h » обозначена глубина проплавления. Следует отметить, что глубина проплавления не была постоянной вдоль сварного шва. В табл. 1 и 2 приведены средние значения этого параметра.

Учитывая неодинаковость объемов наплавленного металла, сопоставление несущих способностей произведено в относительных величинах в кН/мм. В табл. № 1 приведены сопоставления несущих способностей сварных швов в соединениях, работающих на сдвиг. Для сварных швов с зазором, испытанных на сдвиг, относительная несущая способность оказалась в 1,34–1,56 раз меньше несущей способности сварных швов без зазора.

Таблица 1

Геометрические и механические характеристики образцов,
испытанных на сдвиг

№	K_{f1} , мм	K_{f2} , мм	K_{cp} , мм	δ , мм	h , мм	N , кН	N/K_{cp}	h/K_{cp}
M1	4,3	4,0	4,1	0	1,7	192	46,8	0,41
M2	5,0	4,7	4,8	0	1,7	192,5	40,1	0,354
M3	4,4	5,7	5,0	2,5	3,0	149,8	29,9	0,6
M4	4,5	5,6	5,1	2,9	2,8	153,3	30,06	0,55

Таблица 2

Геометрические и механические характеристики образцов,
испытанных на отрыв

№	K_{f1} , мм	K_{f2} , мм	K_{cp} , мм	δ , мм	h , мм	N , кН	N/K_{cp}	h/K_{cp}
M5	5,4	3,5	4,15	0	1,6	205	49,4	0,385
M6	3,0	2,7	2,84	0	1,2	144,4	50,8	0,422
M7	8,4	5,5	6,5	2,9	3,0	217	33,5	0,46
M8	5,0	4,0	4,42	2,1	2,0	166,5	37,6	0,45

Для сварных швов с зазором, испытанных на отрыв, относительная несущая способность оказалась в 1,35–1,47 раз 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 глубина проплавления составила: 1,4–1,7 мм, а для сварных швов с зазором 2–3мм. Относительное значение глубины проплавления (h / K_{cp}) для образцов без зазора составило 0,36–0,49, для образцов с зазором 0,45–0,57.

Аналитически зависимость несущей способности сварного соединения с учётом зазора между соединяемыми элементами может быть определена по следующему выражению:

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

где N_0 – несущая способность сварного соединения при отсутствии зазора.

Выводы:

1. Зазоры между соединяемыми элементами оказывают существенное отрицательное влияние на несущую способность сварного соединения. 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, а в образцах с зазором плоскости среза проходили только по границе сплавления основного и наплавленного металлов.

На основании проведенных исследований и сделанных выводов рекомендуется катеты сварных швов, вычисленные по формулам, приведенным в [1, 2] увеличивать на значение зазора, допускаемого по ГОСТам [3, 4, 5, 6, 7,8]:

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

Указанное увеличение следует предусматривать, если при изготовлении конструкций не представляется возможным гарантированно исключить появление зазоров между соединяемыми элементами. Данная рекомендация одобрена ЦНИИСК им. Кучеренко – разработчиком СНИП II-23-81* и СП 16.13330 (см. Письмо № 3-1124 от 15.08.2019 г.) и соответствует требованиям ГОСТ 23118-2012.

Исходя из существующей практики проектирования и изготовления стальных конструкций увеличение катетов сварных швов на величину допускаемого по ГОСТам зазора следует предусматривать уже при разработке рабочих чертежей в стадии КМ, т. к. при разработке рабочих чертежей в стадии КМД вносить изменения в рабочий проект допускается только с согласия организации разработчика чертежей КМ (см. п. 4.3 [10]).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНИП II-23-81*. Нормы проектирования. Стальные конструкции. – М.:Госстрой СССР, 1991. – С. 38.
2. СП II 13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНИП II-23-81*.

3. ГОСТ 5264. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
4. ГОСТ 1477.1. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
5. ГОСТ 11533. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом под острыми и тупыми углами.
6. ГОСТ 11534. Ручная дуговая сварка под острыми и тупыми углами.
7. ГОСТ 23518. Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами.
8. ГОСТ 8713. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
9. ГОСТ 23118-2012. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия.
10. ТКП 45-5.04-121-2009. Стальные строительные конструкции. Правила изготовления.

УДК 692.21

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ЖАБИНСКИЙ А. Н., НАДОЛЬСКИЙ В. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение. В настоящее время в РБ идет процесс модернизации отечественных норм расчета строительных конструкций нормы. Следует отметить, что нормы должны обладать, как достаточной жёсткостью в своих основных требованиях к надежности и долговечности конструкций, так и быть достаточно гибкими, чтобы не препятствовать совершенствованию и дальнейшему их развитию. Этап, который сейчас протекает в области развития системы нормирования в Беларуси, в большой степени соответствует этому принципу.

В связи с вступлением в силу указа Президента РБ № 217 от 5 июля 2019 г. «О строительных нормах и правилах» и постановле-