

А. С. МКРТЧЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ШВА И ДЕФОРМАТИВНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

На долговечность сварных соединений влияет ряд факторов, в том числе и механические характеристики основного и присадочного материалов. Результаты исследований некоторых авторов не позволяют сделать утвердительного заключения об отрицательном влиянии увеличения предела прочности наплавленного металла на усталостную прочность сварного образца. Авторы работы [1] трудность исследования объясняют многочисленностью факторов, влияющих на усталостную прочность сварных соединений. Отмечается, что продольная деформация шва и околошовной зоны значительно меньше, чем вдали от шва. Большие экспериментальные работы по проверке долговечности механически обрабатываемых сварных соединений были выполнены автором [2]. Как объясняет автор, предел ограниченной усталости удастся повысить за счет плавного перехода от наплавленного металла к основному металлу и за счет подбора механических характеристик материала. При одинаковых механических характеристиках наплавленного и основного металлов важным фактором, определяющим механическую долговечность соединения, является распределение местных напряжений в окрестности стыка растягиваемого сварного образца.

Теоретическими исследованиями характера напряженного состояния в окрестности края поверхности соединения произвольно нагруженного составного тела установлено, что незначительные изменения геометрии соединения в зависимости от разности упруго-деформативных свойств соединяемых материалов могут концентрационное напряженное состояние окрестности края привести к малонапряженному и наоборот [3]. Следовательно, для соединяемых материалов с данными упругими постоянными можно определить рациональную форму соединения и получить для зоны стыка большую механическую выносливость, чем для однородных частей элемента конструкций, работающих при переменном нагружении.

В настоящей статье определяется теоретическое значение предельного угла и влияние формы разделки стыкового сварного соединения на механическую долговечность в зависимости от деформативной неоднородности зоны шва. В общем случае нагружения составного тела предельное для малонапряженности края поверхности контакта сочетание значений углов между плоскими элементами поверхности контакта в окрестности ее края и внешней поверхности соединения определяются соотношением:

$$\begin{aligned} & [(1 + \mu) \sin(\alpha + \beta) - (1 - \mu) \sin(\alpha - \beta)] [\mu m_1 m_2 (\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) - \\ & - \sin(\alpha + \beta)] \sin(\alpha + \beta) + \mu m_2 [\mu m_1 - m_1 - (\mu - 1) \sin^2 \beta] (\alpha \cos \alpha - \\ & - \sin \alpha) \sin \alpha - m_1 [\mu m_2 - m_2 - (\mu - 1) \sin^2 \alpha] (\mu \cos \beta - \sin \beta) \sin \beta = 0 \quad (1.1) \end{aligned}$$

где $\mu = \frac{G_1}{G_2}$ — отношение модулей сдвигов, ν_1 и ν_2 — коэффициенты Пуассона, а m_1 и m_2 — коэффициенты поперечных деформаций соединенных материалов. Угол α относится к материалу с модулем сдвига G_1 и коэффициентом Пуассона ν_1 , а β — ко второму. Задаваясь значением одного угла или соотношением между двумя углами α и β , определяем предельное значение второго угла или обоих углов, когда задано одно соотношение между ними.

Только сочетание наименьших значений (отличных от нуля) углов имеет непосредственный смысл для предельного состояния края поверхности контакта.

Для механически обработанного (гладкого) края поверхности контакта, когда $\alpha + \beta = \pi$, соотношение (1.1) упрощается, что позволяет определение предельного значения угла для двух материалов с заданными упругими постоянными произвести с помощью небольшого объема вычислений. Соотношение (1.1) для гладкого края принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} & [\mu m_2 - m_1 - (\mu - 1) \sin^2 \alpha] [\mu m_2 - m_1] (\alpha \cos \alpha - \sin \alpha) + \\ & + m_1 \pi \cos \alpha \sin 2\alpha = 0 \quad (1.2) \end{aligned}$$

Примем, что $\mu = \frac{G_1}{G_2} < 1$, то есть модуль сдвига G_1 материала, к которому относится угол α , меньше, чем модуль сдвига G_2 второго материала. Тогда, наименьшее значение угла α^* , удовлетворяющее уравнению (1.2), является предельным, то есть край поверхности контакта будет малонапряженным, если α будет $< \alpha^*$.

Отыскание наименьшего положительного значения корня уравнения (1.2) можно провести, приравняв к нулю каждый из сомножителей (1.2)

$$1. \quad \sin^2 \alpha = \frac{m_1 - \mu m_2}{1 - \mu} \quad \alpha^* = \arcsin \sqrt{\frac{m_1 - \mu m_2}{1 - \mu}} \quad (1.3)$$

если

$$\mu < \frac{1 - \nu_1}{1 - \nu_2} \quad \text{и} \quad \mu < \frac{\nu_1}{\nu_2}$$

$$2. \quad \operatorname{tg} \alpha^* - \alpha^* = \frac{\pi(1 - \nu_1)}{\mu m_2 - m_1} \quad \text{если} \quad \mu > \frac{1 - \nu_1}{1 - \nu_2} \quad (1.4)$$

В случае $\frac{\nu_1}{\nu_2} < \frac{1 - \nu_1}{1 - \nu_2}$ и $\frac{\nu_1}{\nu_2} < \mu < \frac{1 - \nu_1}{1 - \nu_2}$, используя уравнение $\sin 2\alpha = 0$, находим, что значение предельного угла не зависит от упругих постоянных материалов и равно $\frac{\pi}{2}$.

Таким образом, для всего интервала изменения μ и произвольных коэффициентов Пуассона ν_1 и ν_2 , которые исчерпывают все возможные сочетания материалов, для гладкого края при помощи элементарных вычислений может быть установлено предельное (верхнее) значение угла α , относящегося к материалу с меньшим модулем упругости.

Как правило, материал шва в сварном соединении имеет выраженную неоднородность как по химическому составу, так и по механическим свойствам, включая и деформативные. Механическая неоднородность шва обусловлена как химической, так и структурной неоднородностью.

Поверхность сплавления является контактной поверхностью между материалом шва и основным свариваемым материалом. Тепловые воздействия во время сварки могут существенно изменить прочностные свойства и почти не влияют на деформативные свойства материала околошовной зоны. Зная деформативные свойства материала шва и основного материала, углы разделки стыкового сварного шва могут быть рассчитаны так, чтобы по всему краю поверхности сплавления выполнялись условия малонапряженности. В этом случае обеспечивается высокая вибропрочность сварного стыкового соединения с механической обработкой шва.

Для испытаний заданной марки стали выбрана «Сталь-20» одной плавки (контроль—химическим анализом). Сваривание образцов осуществлялось универсальным электродом марки «АНО-6», тип Э42-т с вольфрамитовым покрытием.

Для определения упругих постоянных сплавленного металла из трех неиспытанных сварных стыковых образцов в зоне шва вырезано по 6 прямоугольных микрообразцов размером $3 \times 5 \times 40$ мм. Среднее значение модуля упругости сплавленного металла $E_1 = 1,8 \times 10^6$ кг/см², коэффициент Пуассона $\nu_1 = 0,29$.

Для определения упругих постоянных основного металла от листов вырезаны вдоль проката 3 образца (для испытаний на растяжение). Среднее значение модуля упругости $E_2 = 2,12 \times 10^6$ кг/см², коэффициент Пуассона $\nu_2 = 0,32$.

Модуль сдвига наплавленного металла

$$G_1 = \frac{E_1}{2(1 + \nu_1)} = 0,717 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$$

модуль сдвига основного металла

$$G_2 = \frac{E_2}{2(1 + \nu_2)} = 0,803 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$$

Отношение модулей сдвига $\mu = \frac{G_1}{G_2} = 0,893$, то есть модуль сдвига G_1 наплавленного металла, к которому относится угол α , меньше, чем модуль сдвига G_2 основного металла, а отношение коэффициентов Пуассона

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = 0,906.$$

Тогда

$$\mu < \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \text{ и } \mu < \frac{1-\gamma_1}{1-\gamma_2} = 1.04$$

Подставляя значения $m_1 = 0.775$, $m_2 = 0.757$ и μ в формулы (1.3), получаем:

$$\sin^2 \alpha = 0.74 \quad \alpha = 59^\circ 30' \quad \alpha^* = 59^\circ 30'$$

то есть край поверхности контакта в этом случае будет малонапряженным. Сварные образцы изготавливались из частей $(24 \times 110 \times 250)$ мм, отрезанных от одного прокатного листа марки «Сталь-20». Технология изготовления и сварка образцов описаны автором [4].

На фиг. 1 показана схема разделки кромок. После сварки обработка образцов производилась так, чтобы получалось два типа соединения: V-образный шов со снятой подваркой и V-образный шов с подваркой 2 мм.

Испытание всех образцов осуществлялось с частотой 1000 цик/мин на пульсаторе марки ЦДМ ПУ-10. (Фиг. 1, а — вид сверху, б — вид сбоку.

Удлинение, происходящее во время пульсации в стыковом соединении, а также контроль нагружения в течение всего опыта производился измерительным устройством УМ-III. Образцы подвергались переменному растяжению и сжатию. Минимальная нагрузка, приложенная на образец, — 1 т, максимальная нагрузка — +6 т. Амплитуда напряжений, приложенных к образцу, равна 14,6 кг/мм². Результаты испытаний двух типов образцов без подварки и с подваркой представлены в табл. 1 и 2 (соответственно). Определенные значения дан-

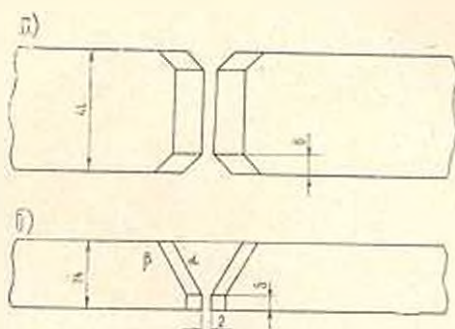
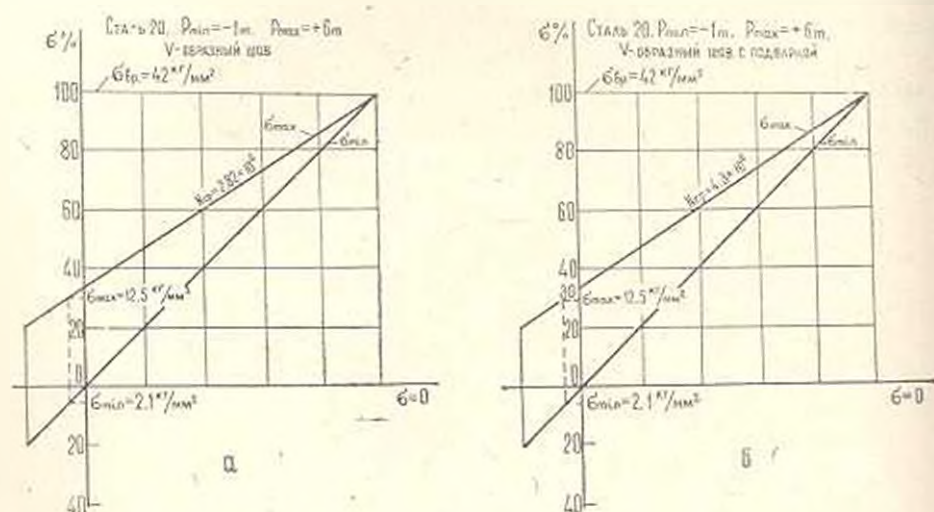


Таблица 1

№№ п.п.	Поперечное сечение образца в мм ²	Минимальная нагрузка в т	Максимальная нагрузка в т	Число циклов
1	485	—1	+6.2	4.3×10^4
2	485	—1	+6.2	1.65×10^4
3	485	—1	+6.2	2.0×10^4
4	482	—1	+6.0	2.2×10^4
5	482	—1	+6.0	1.62×10^4
6	482	—1	+6.0	3.3×10^4
7	482	—1	+6.0	1.41×10^4
8	480	—1	+6.0	8.0×10^4
9	480	—1	+6.0	1.8×10^4
10	480	—1	+6.0	3.4×10^4
11	480	—1	+6.0	1.4×10^4

№№ п/п	Поперечное сече- ние образца в мм ²	Минимальная на- грузка в т	Максимальная нагрузка в т	Число циклов
1	482	-1	+6.0	1.4×10^4
2	490	-0.8	+6.2	2.3×10^4
3	482	-1	+6.0	2.6×10^4
4	482	-1	+6.0	10×10^4
5	482	-1	+6.0	3.56×10^4
6	482	-1	+6.0	1.6×10^4
7	480	-1	+6.0	6.3×10^4
8	482	-1	+6.0	5.0×10^4
9	486	-0.9	+6.2	1.4×10^4
10	480	-1	+6.0	5.2×10^4
11	480	-1	+6.0	5.1×10^4
12	480	-1	+6.0	2.0×10^4

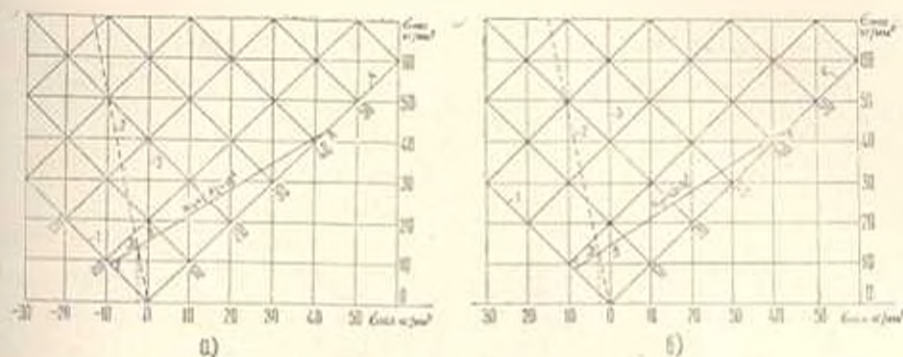
ных табл. 1 и 2 использованы для построения диаграмм предельных напряжений или диаграмм Гудмана [5] (фиг. 2). Чтобы получить простые формулы для расчета конструкций, диаграмму предельных напряжений представляем в видоизмененной форме, где одна кривая дает полное представление о сопротивлении усталости соединения при данном числе циклов до разрушения при изменяющейся в широких пределах форме цикла (фиг. 3).



Фиг. 2.

Число циклов для V-образного шва в среднем равно 2.82×10^6 , для V-образного шва с подваркой 4.3×10^6 . Анализ усталостных испытаний, произведенных при максимальном напряжении, равном 12.5 кг/мм^2 , и минимальном напряжении, равном 2.1 кг/мм^2 , для марки «Сталь-20», пока-

зывает, что в этих условиях долговечность V-образного шва снижается в 1.5 раза по сравнению с V-образным швом с подваркой. Такое поведение соединения может быть обусловлено тем, что изменение угла в верхней части соединяемых материалов плечет за собой изменение угла в нижней



Фиг. 3. Диаграмма предельных напряжений для поперечных стыковых соединений с V-образной разделкой кромок.

Сталь 20; $R = \frac{1}{6}$; 1 — симметричный цикл; 2 — асимметричный цикл $R = \frac{1}{6}$; сжатие, растяжение; 3 — пульсирующий цикл растяжения; 4 — статическое нагружение.

части, что является причиной концентрации напряжений. С применением V-образного шва с подваркой углы в верхней и нижней частях становятся равными, что снижает концентрацию напряжений в указанных зонах.

Ерванкиский государственный
университет

Поступила 17 I 1979

Լ. Ս. ՄԱՐԶԱՆ

ԿԱՐԻ ՉԵԼԻ ԵՎ ՊԵՐՏԵՐԻ ՄՈՒՑՄԱՆ ԵՌԱԿՅՄԱՆ ԴԵՅՈՐՄԱՏԻՎ
ԱՆՀԱՄԱՐԱՌՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄԱՌՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՄԵՆԱԿԱՆԱԿԱՆ ԵՐԱՅՄԱՏԵԼՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա Վ Վ Ի Ո Փ Ի Ո Վ

Գրադարձում էն սահմանային անկյան տեսական նշանակությունը
և նույնիսկ միացությունների մեխանիկական հրկարակնցությունը կախված
կտրվածքի ձևից և սահմանային կտրի դեֆորմացիոն տարասեռությամբ:
Որոշվել է տարասեռ մարմինների միացման սահմանային կտրի անկյան մե-
ծությունը տեսականորեն, երբ սահմանային գոտում առաջանում են փոքր
լարմաներ:

Փորձերի միջոցով, ձգման և սեղմման միասամանակյա ասիմետրիկ շիկիի զննչում ստացվել են տվյալներ, որոնք նախափորութուն են տալիս կառույցի զրաֆիկներ, հոսանքման ենթակա միացություններում երկարակեցությունը սրուշելու համար:

THE STUDY ON EFFECT OF THE LAY-OUT FORM AND DEFORMATIVE HETEROGENITY OF WELDING JOINTS ON MECHANICAL DURABILITY

L. S. MKRTCHIAN

S u m m a r y

The problem of determining the limiting angle and the mechanical durability limit for welding joints, depending on the lay-out form and deformative heterogeneity of joint's zone, is discussed. The theoretical value of limiting angle is determined for heterogeneous materials, when in the joint's zone the stress concentration is minimal.

In experiments dealing with asymmetric cycle of compression — tension some data are obtained, allowing to construct diagrams to evaluate mechanical durability of welding joints.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rabbe P., Bastenaire F., Pomey G. Soudage et Fatigues connexes. 1968, vol. 22, No. 5/6.
2. Билинаков К. П. Снижение напряжения в узлах сварных пролетных стропильных конструкций. «Исследования прочности и долговечности сварных мостовых конструкций», Тр. ЦНИС, вып. 20, М., Трансжелдориздат, 1956.
3. Чобсян К. С. Авторское свидетельство № 307869. Бюллетень «Открытия и изобретения», 1971, № 21.
4. Мкртчян Л. С. Зависимость долговечности сварных соединений от геометрии стыков. Промышленность Армении, 1978, № 3.
5. Мюле В. Х. Усталостная прочность сварных стальных конструкций. М., Изд. «Машиностроение», 1968.