

4. Для начальных зазоров $h_0 \sim 1,5 \delta_0$ размеры волн в сварном шве на сохраненных образцах при изменении начального радиуса трубы от 7 до 27 мм практически не изменяются, что подтверждает правильность вывода, полученного на основании теоретического расчета, о близких скоростях полета трубы в этих случаях.

5. Размеры волн слабо меняются по длине образца (на базе 85 мм изменение λ составляет $\sim 20\%$).

Поступила в редакцию
27/VIII 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. Н. С. Санасарян. ФГВ, 1971, 7, 4.
3. С. С. Бацанов, А. А. Дерибас, С. А. Кутолин. НТПГВ, 1965, 1, 2.
4. Ю. В. Гаек, Н. Е. Никитченко и др. ФГВ, 1967, 3, 3.
5. Л. Д. Ландау, К. П. Станюкевич. Докл. АН СССР, 1945, 46, 9.
6. К. П. Станюкевич. Неустановившиеся движения сплошной среды. М., Гостехиздат, 1955.
7. Ф. А. Баум, К. П. Станюкевич, Б. И. Шехтер. Физика взрыва. М., Физматгиз, 1959.

УДК 621.791.1

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

А. С. Гельман, Л. Б. Первухин, Б. Д. Цемахович

(Москва — Барнаул)

В настоящее время имеется большое количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных изучению сварки взрывом. Однако единого мнения по вопросу о природе образования соединения нет. Большинство исследователей определяют сварку взрывом как сварку давлением в твердой фазе с незначительным расплавлением [1—4]. Как известно, из теории сварки давлением [1] для получения прочного соединения в твердой фазе необходимо соблюдение трех условий: удаление из зоны сварки окислов и загрязнений, обеспечение физического контакта свариваемых поверхностей и их активизация. Выполнение второго и третьего условий не вызывает сомнений и обеспечивается двумя основными параметрами процесса: высокой скоростью движения точки контакта v_k и большим давлением в ней (до 100 кбар), сопровождаемым значительной пластической деформацией.

По вопросу очистки свариваемых поверхностей в процессе сварки взрывом и удалению из зоны сварки окислов и загрязнений, а также по связанному с ним механизму волнообразования в соединении мнения исследователей расходятся. В трактовке природы процесса можно условно выделить два направления: гидродинамическое и металлофизическое.

Сторонники гидродинамического направления рассматривают процесс образования соединения как результат взаимодействия двух плоских потоков несжимаемой жидкости, движущейся со скоростью v_k и встре-

чающихся под углом γ . При этом предполагается, что поверхности в процессе сварки очищаются кумулятивной струей, которая выносит из зоны соединения окислы и загрязнения [5]. Лукас и др. [3] считают, что струя застревает в соединении в виде литых включений. Однако изменением параметров процесса можно получить волнообразное соединение и без литых включений.

Очистку поверхностей при сварке взрывом А. А. Дерибас [6] связывает с образованием при косых соударениях в окрестности точки контакта облака из дисперсных частиц соединяемых металлов, вылетающих из зоны соударения. Однако с этой точки зрения трудно объяснить различный состав вихревых зон на вершине и во впадине волны, экспериментально полученный в работах [3, 7]. Некоторая закономерность в составе вихревых зон отмечена Т. М. Соболенко и др. [8], хотя при исследовании на микронзонде соединения никеля и Ст. 3 они не встретили двух точно повторяющихся участков.

Странники металлофизического направления определяющую роль в очистке поверхностей и образовании соединения отводят взаимному сдвигу [2].

Для экспериментального уточнения механизма очистки поверхностей в процессе сварки взрывом, необходимой для формирования соединения, была измерена потеря веса образцов в результате сварки с оценкой количества литых включений в соединении.

В экспериментах пластины из стали Ст. 3 толщиной $\delta = 14$ мм, шириной $90 \div 200$ мм и длиной $140 \div 300$ мм, которые предварительно обрабатывали со всех сторон ($\nabla = 4$)¹ с тщательным удалением заусенцев и острых углов, плакировали сталью Х18Н10Т ($\delta = 3$ мм). Листы облицовки имели размеры на 10 мм меньше, чем у основания, что позволило избежать потери веса за счет среза участков облицовки. Поверхность облицовки зачищали с обеих сторон наждачной бумагой, острые углы притупляли. Перед сваркой заготовки обезжировали и взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Плакирование производили во взрывной камере по параллельной схеме с иницированием из центра заряда, после чего образцы тщательно промывали авиабензином для удаления загрязнений и снова взвешивали. Плакированные образцы с забоинами, вмятинами, отколами и другими дефектами исключали из опыта.

На всех образцах определяли степень сплошности и изучали структуру соединения с определением средней толщины включений литого металла (Δ_2), которую оценивали как отношение площади включений, измеренной в плоскости шлифа при увеличении 100, к длине соединения. В тех случаях, когда сварка не происходила, определяли только потерю веса. Отдельные опыты повторяли несколько раз. При этом, как правило, рассеивание значений потери веса не превышало 20—30%.

В первой серии опытов плакировали образцы различного размера по режиму: скорость детонации $D = 2300$ м/с, отношение массы ВВ к массе метаемой пластины $r = 1,3$, исходный сварочный зазор $h = 8$ мм. Иницирование процесса производили из центра или плоским фронтом. В последнем случае в расчете периметра P учитывали только две боковые и одну торцевую стороны. Обработка результатов экспериментов показала, что потеря веса (ΔG) пропорциональна площади образца (S) (см. табл.). При иницировании из центра она была на 25—30% меньше, что связано с наличием зоны непровара в центре образца.

Затем изучили влияние основных технологических параметров: D , h и r на потерю веса в образцах размером 200×300 мм. Скорость детонации изменяли в пределах от 1800 до 4000 м/с, r — от 0,5 до 2,0 и h — от 2 до 20 мм. Это позволило изучить весь диапазон режимов сварки,

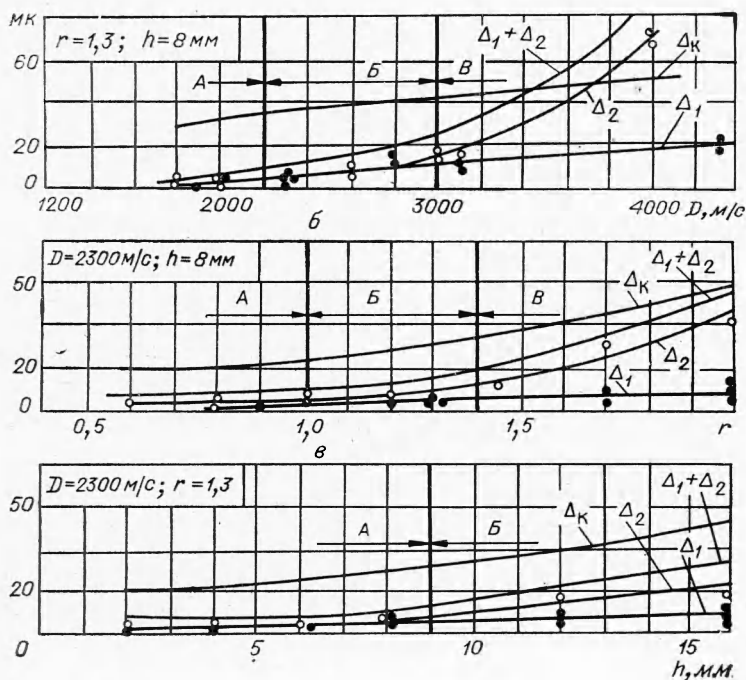
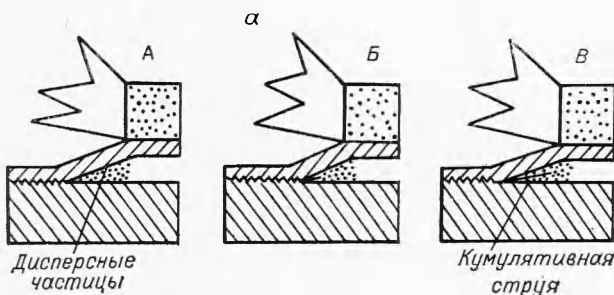
¹ ∇ — класс чистоты.

Потери веса при плакировании образцов различных размеров

Площадь, см ²	Периметр, см	Потеря веса, г	S_i / S_1	P_i / P_1	$\Delta G_i / \Delta G_1$
490	73,5	$\frac{2,1-2,6}{2,53}$	1,0	1,0	1,0
575	82,0	$\frac{3,0-3,5}{3,3}$	1,17	1,11	1,3
256	64,0	$\frac{1,18-1,3}{1,15}$	0,523	0,87	0,455
125	46,0	Нет	Сварка не произошла		

практически применяемых при сварке взрывом сталей. Оказалось, что при отсутствии потери веса (в частности, при $r=0,5$) сварка не происходит.

На рисунке представлены зависимости средней толщины литых включений в соединении (Δ_2) и средней толщины слоя (Δ_1), удаляемого со свариваемых поверхностей, за счет потери веса от D (а), r (б) и h (в). Сумма $\Delta_1 + \Delta_2$ соответствует общей толщине слоя металла, удаляемого



с соединяемых поверхностей в процессе сварки, которая в известной степени характеризует условия очистки этих поверхностей.

Представленные зависимости, особенно резко выраженные для Δ_2 от D и r в изученном диапазоне режимов, имеют три характерные области. Область *A*, в которой суммарная толщина слоя, удаляемого с соединяемых поверхностей ($\Delta_1 + \Delta_2$), изменяется практически от 0 до 5 мк. При таком значении $\Delta_1 + \Delta_2$, очевидно, кумулятивный эффект отсутствует, так как по известным расчетным формулам из теории кумуляции [9] ее толщина Δ_k должна быть значительно больше¹. В этой области можно предполагать удаление слоя металла (соответственно очистку поверхностей) за счет облака дисперсных частиц. Область *B* характеризуется закономерным ростом как Δ_1 , так и Δ_2 с суммарным значением $\Delta_1 + \Delta_2$, достигающим примерно 20—25 мк. По-видимому, здесь наряду с образованием облака дисперсных частиц начинает проявляться эффект кумуляции. В области *B* наблюдается резкий рост средней толщины литых включений при изменении величины Δ_1 по линейному закону. В наиболее «жестком» из изученных режимов при $D \sim 4000$ м/с и $r = 2$ суммарная толщина слоя металла, удаляемого с соединяемых поверхностей, приближается соответственно к 100 и 60 мк и близка к теоретической (Δ_k), что указывает на доминирующее действие кумулятивной струи. Следует отметить, что большая часть удаляемого с поверхности металла, в особенности при наличии кумуляции, остается в соединении в виде литых включений вследствие образования волн.

Во всех случаях с увеличением D , r и h как Δ_1 , так и Δ_2 растут в наибольшей степени с увеличением скорости детонации. Практическое значение имеет величина Δ_2 , определяющая структуру соединения. С увеличением средней толщины литых включений возможно проявление пор и других усадочных дефектов. Величина Δ_2 особенно резко растет с увеличением D . Так, при росте скорости детонации с 2000 до 4000 м/с Δ_2 увеличивается в 25 раз.

Таким образом, в условиях обычно применяемых режимов сварки взрывом сталей ($D < 3000$ м/с) действием струи в процессе формирования соединения можно пренебречь. Появление кумулятивной струи при переходе к более жестким режимам дает не положительный, а отрицательный эффект вследствие заметного увеличения включений литого металла, ухудшающих структуру соединения. В то же время полное отсутствие включений, предельным случаем которого является процесс, не сопровождающийся потерей веса ($\Delta_1 \approx 0$), приводит к неудовлетворительной очистке соединяемых поверхностей и резкому ухудшению качества сварки. В связи с небольшой суммарной толщиной слоя металла (6—12 мк), удаляемого с соединяемых поверхностей при оптимальной для сварки скорости детонации, следует особенно тщательно очищать свариваемые поверхности перед плакированием.

Из проведенных опытов также следует, что эффект трения и пластической деформации, возникающий в очаге сварки, сам по себе недостаточен для образования прочного соединения в условиях, когда полностью отсутствует удаление хотя бы тонкого слоя металла с соединяемых поверхностей.

Поступила в редакцию
27/VII 1973 г.

¹ Расчеты произведены по формуле $m_k = \frac{m}{2} (1 - \cos \gamma)$, где m_k — масса кумулятивной струи, m — масса метаемой пластины, γ — динамический угол, определяемый по формуле $\frac{\lambda}{\delta_m} = 26 \sin^2 \frac{\gamma}{2}$. Величину λ для расчетов определяли экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Гельман. Основы сварки давлением. М., Машиностроение, 1970.
 2. А. Н. Кривенцов, В. С. Седых. Физика и химия обработки материалов, 1969, 1.
 3. W. Lukas, S. D. Williams, B. Crossland. Some Metallurgical Observations on Explosive Welding. Second International Conference of the Centre for High Energy Forming, Denver, 1969.
 4. Н. Кögel. Schweiss — Technik, 1969, 12.
 5. G. R. Cowan, A. H. Holtzmann. J. Appl. Phys., 1963, 4.
 6. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
 7. М. Г. Лозинский, В. Г. Лютцау, А. И. Тананов. В сб. «Высокоскоростная деформация». М., «Наука», 1971.
 8. Т. С. Тесленко, Т. М. Соболенко, Г. В. Бердичевский. Автоматическая сварка, 1972, 1.
-