

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Бацанов, Е. В. Дулепов и др. Докл. АН СССР, 1968, 179, 91.
2. С. С. Бацанов, А. А. Дерибас. ФГВ, 1965, 1, 1, 103.
3. А. А. Дерибас, Е. Д. Ручкин и др. ФГВ, 1966, 2, 3, 143.
4. Е. Д. Ручкин, М. Н. Соколова, С. С. Бацанов. Журн. структ. хим., 1967, 8, 465.
5. Г. А. Ададунов и др. Изв. АН СССР, Неорганич. матер., 1967, III, 6, 932.
6. С. С. Бацанов, Л. Р. Бацанова, Г. С. Доронин и др. Журн. структ. химии, 1968, 9, 6.
7. R. Tompa, G. Brunton. Jnorg. Chem, 1966, 5, 1937.
8. M. Mansmann. Z. Krist. 1965, 122, 375.
9. А. И. Лапшин, С. С. Бацанов. Ж. прикл. спектроскопии, 1968, 8, 1033.
10. С. С. Бацанов, А. И. Лапшин, И. А. Овсянникова. Журн. структ. хим., 1969, 10, 2.
11. J. Ahe, G. Pettit. J. Phys. Chem. Solids, 1966, 27, 621.
12. Л. В. Альтшулер и др. Письма в ЖЭТФ, 1966, 483, III, 12.

УДК 621.791+662.215.2

О ТЕПЛОМ РЕЖИМЕ ЗОНЫ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

И. Д. Захаренко
(Новосибирск)

Процесс соединения металлов при сварке взрывом сопровождается резким повышением температуры в зоне соединения, о чем свидетельствует наличие расплавов и рекристаллизационных зон, видимых на микрошлифах [1]. Большое значение теплового режима для сварки взрывом отмечается в работах [2, 3].

В частности, зоны расплавленного металла в шве часто приводят к образованию хрупких интерметаллидов, которые снижают прочность соединения. Металлографические исследования позволяют в некоторых случаях определить зоны повышенной температуры. Однако невозможно установить количественную взаимосвязь между режимами соударения пластин и количеством тепла, выделившимся в шве, пользуясь только методами металлографии.

Измерение количества тепла образцов после сварки с помощью калориметрирования также не дает существенных результатов, так как при данном способе определяется лишь общее количество тепла образца, которое складывается из тепла, выделяющегося в сварном шве, и тепла, выделяющегося по всей глубине образца в результате деформаций образца.

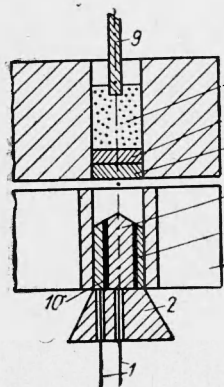
В настоящей работе описана методика измерения температуры в зоне сварного соединения и приведены теоретические исследования, позволяющие рассчитать тепловой режим свариваемых металлов.

Метод измерения температуры, наиболее приемлемый в данном процессе, это метод естественных термопар, образованных непосредственно свариваемыми пластинами. Так как э. д. с., возникающая в термопаре, зависит только от температуры на границе раздела металлов и не зависит от распределения температуры в других сечениях, эта методика позволяет измерить температуру сварного соединения непосредственно на границе.

Однако измерение температуры в момент соударения с помощью термопар весьма затруднительно, так как давления, возникающие при

соударении пластин, приводят к появлению баро-э. д. с., и расшифровка полученных сигналов является весьма сложной проблемой.

На рис. 1 показана схема применяемого измерительного устройства. Никелевый стержень 5, соединенный через керамический изолятор 10 со стальной трубкой 4, образует измерительный элемент, имеющий скошенную под определенным углом верхнюю поверхность и заключенный во втулку 3 с продольными разрезами. На измерительный элемент с помощью ВВ метается пластинка 6, скорость которой определяется с помощью импульсной рентгеновской установки.



Для уменьшения скорости полета измерительного элемента после соударения служит откольный элемент 2. Боковая разгрузка поглощается втулкой 3. Откольный элемент 2 разрезан пополам в плоскости, проходящей через контактные провода,

так что при полете он распадается по этой плоскости на две части и не повреждает контактные провода.

При соударении пластинки 6 и измерительного элемента происходит их сварка по скошенной поверхности измерительного устройства. Никелевый стержень 5 и стальная пластинка 6 образуют термоду, э. д. с. которой зависит от температуры сварного шва. Через цилиндр 4, контактные провода 1 и коаксиальный кабель сигнал подается на осциллограф СИ-17. Запуск осциллографа осуществляется от исследуемого сигнала. Хотя исследуемый сигнал записывается непосредственно с начала соударения, расшифровка его возможна только после разгрузки измерительного устройства. Время разгрузки определяется размерами откольных элементов 2, 3 и в данном случае составляет 20—30 мксек. На рис. 2 приведена осциллограмма для одного из режимов соударения.

Расшифровка полученных осциллограмм производится с помощью тарировочного графика. Зависимость температуры в сварном шве от времени для одного из режимов приведена на рис. 3, сплошная кривая. Расчет теплового режима. Экспериментальная кривая (рис. 3) хорошо аппроксимируется функцией

$$T(t) = B + \frac{A}{\sqrt{t}}, \quad (1)$$

где A и B произвольные постоянные. Сравнивая функцию (1) с решением уравнения теплопроводности для мгновенного линейного источника на бесконечном стержне [4]

$$T(t) = T_0 + \frac{Q}{2c\rho\sqrt{\pi a^2 t}} \quad (2)$$

Рис. 1. Измерительное устройство.

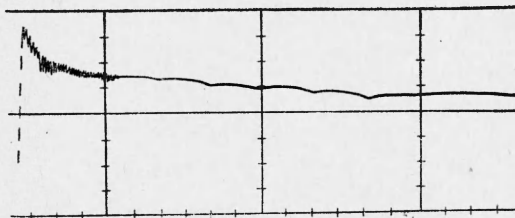


Рис. 2. Осциллограмма термо-э. д. с. Масштаб времени 100 мксек/см, чувствительность 5 мв/см.

(T — температура стержня в плоскости действия мгновенного источника, T_0 — начальная температура стержня, Q — количество тепла, выделяющегося в момент времени $t=0$, c — удельная теплоемкость материала, ρ — плотность, a — коэффициент температуропроводности), можно заключить, что при рассмотрении тепловых процессов при сварке взрывом допустимо предположение о мгновенном выделении энергии в шве.

Приравняв соответствующие коэффициенты из уравнения (1) и (2), можно получить выражения для количества выделившегося тепла в шве Q и начальной температуры T_0

$$Q = A 2 c \rho \sqrt{\pi a^2}, \quad T_0 = B.$$

A и B определяются по экспериментальной кривой. При расчете Q теплоемкость, плотность и теплопроводность брались средние для стали и никеля в интервале температур $0-700^\circ\text{C}$ [5],

$$c = 0,15 \text{ кал/г}\cdot\text{град},$$

$$a^2 = 0,1 \text{ см}^2/\text{сек}, \quad \rho = 8,2 \text{ г/см}^3.$$

Высокая начальная температура объясняется деформациями материала по всей глубине образца во время соударения. Было предположено, что источник тепла линейный, однако в действительности выделившееся тепло распределяется в некоторой вполне определенной зоне. Предполагая равномерное распределение тепла в зоне его выделения и зная максимальную температуру, которая фиксировалась в данном опыте, можно оценить ширину этой зоны

$$\delta^* \leq \frac{Q}{c \rho (T_{\max} - T_0)}.$$

Для режима приведенного на рис. 3 $T_{\max} = 700^\circ\text{C}$, $\delta^* \leq 0,05 \text{ мм}$, в то время как волны имеют величину порядка $0,5 \text{ мм}$. Этот расчет показывает, что конечное количество выделяется в узкой зоне вдоль поверхности соединения, что, по-видимому, и является одной из основных причин сварки.

Методика измерения температуры сварного шва, описанная в данной работе, позволяет не только измерить температуру сварного шва, но и определить количество тепла, выделившегося в шве. Решение уравнения теплопроводности для мгновенного линейного источника в момент $t=0$ дает значение температуры шва, равное ∞ , что не соответствует реальным процессам, происходящим в шве, однако неплохое совпадение экспериментальной кривой с кривой, рассчитанной по формуле (2), доказывает, что замена реального источника тепла на мгновенный для $t > 20 \text{ мксек}$ вполне допустима.

Решение уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

для мгновенного линейного источника позволяет рассчитать также температуру любого сечения образца по формуле

$$T(t, x) = T_0 + \frac{Q}{2 c \rho \sqrt{\pi a^2 t}} e^{-\frac{x^2}{4 a^2 t}},$$

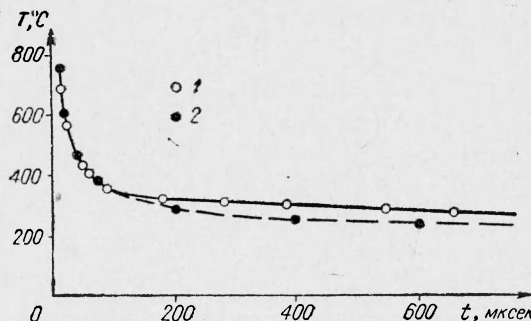


Рис. 3. Зависимость температуры шва от времени $U_k = 2200 \text{ м/сек}$; $\gamma = 17^\circ$, толщина метаемой пластины 3 мм , $Q = 3 \text{ кал/см}^2$, $T_0 = 120^\circ\text{C}$.
1 — эксперимент, 2 — расчет.

которая позволяет рассчитать также скорости теплоотвода в любом сечении образца и судить о возможности закалки материала в зоне сварного соединения.

Высокая начальная температура образца объясняется деформациями металла, которые происходят во время соударения пластин.

Поступила в редакцию
29/XII 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас, В. М. Кудинов, Ф. И. Матвеевков. ФГВ, 3, 4, 1967.
2. K. Keller. Z. Metallkunde, 1967, 3, 85.
3. S. H. Corpeten, H. E. Otto. Trans Metallurg. Sol. AIME, 1967, 11, 1866.
4. И. Г. Абрамович, В. И. Левин. Уравнения математической физики. М., «Наука», 1964.
5. А. А. Шмыков. Справочник термиста. М., Машгиз, 1961.

УДК 541.13.03

ВОЗДЕЙСТВИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ НА ОКИСЛЫ IV В ПОДГРУППЫ

Г. А. Ададунов, О. Н. Бреусов, А. Н. Дремин,
В. Н. Дробышев, А. И. Рогачева

(Москва)

Исследование воздействия ударных волн на тугоплавкие окислы представляет интерес не только с точки зрения получения модификаций, термодинамически стабильных при высоких давлениях и способных к метастабильному существованию в нормальных условиях, но и с точки зрения накопления экспериментального материала по фазовым превращениям в динамических условиях, так как до настоящего времени не ясен вопрос, почему не все фазовые превращения, фиксируемые при статическом нагружении, реализуются при воздействии динамических давлений.

Предметом настоящей исследования были необратимые структурные изменения двуокисей титана, циркония и гафния после воздействия ударных волн различной амплитуды. Эти окислы характеризуются полиморфизмом как в нормальных условиях, так и при повышенных давлениях. Для двуокиси титана, кроме наиболее стабильного рутила, известны еще две модификации — анатаз и брукит, которые в интервале температур 600—800°С монотропно переходят в рутил [1]. Рентгеновская плотность рутила равна 4,28 г/см³, анатаза — 3,91 г/см³, поэтому повышение давления способствует превращению анатаза в рутил [2]. Дальнейшее повышение давления приводит к образованию еще более плотной модификации со структурой типа α —PbO₂ и рентгеновской плотностью 4,35 г/см³ [3]. Эта модификация, устойчивая до 550°С, была получена также и при импульсном нагружении рутила [4, 5]. Двуокиси циркония и гафния при нормальном давлении кристаллизуются в моноклинных формах [6, 7], которые обратимо превращаются в высокотемпературные тетрагональные при 1200 [8] и 1900°С [9, 10] соответственно. При высоких давлениях тетрагональная модификация двуокиси циркония становится устойчивой при комнатной температуре [11]. Фазы вы-