

## ЛИТЕРАТУРА

1. З. Г. Поздняков, Н. В. Черемухина и др. Авторское свидетельство СССР. Кл. С06 в, 19/06 № 136654.
2. В. С. Романов. Горный журнал, 1971, 7.

УДК 621.791.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СОУДАРЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СВАРКУ МЕТАЛЛОВ ВЗРЫВОМ

А. А. Дерibas, И. Д. Захаренко  
(Новосибирск)

Одно из наиболее интересных явлений, возникающих при соударении плоских металлических пластин, — сварка взрывом — имеет непосредственную связь с процессом образования кумулятивной струи. В ряде работ [1, 2] отмечается, что при сварке взрывом в точке контакта образуется струя, аналогичная кумулятивной, которая приводит к самоочищению свариваемых поверхностей. Результаты исследований, опубликованные в работе [3], показали, что параметры струи, образующейся в точке контакта в режимах сварки взрывом, существенно отличаются от параметров, рассчитанных по гидродинамической теории кумуляции, что можно объяснить действием сил, возникающих в процессе деформации материала. Так, с уменьшением скорости точки контакта и угла соударения скорость струи уменьшается и при некоторых режимах соударения струя вовсе не образуется.

В работе [3] показано, что нижняя граница сварки взрывом и граница области струеобразования полностью совпадают. В этой же работе получена эмпирическая формула для положения нижней границы в следующем виде:

$$\gamma = 1,14 \sqrt{\frac{H_v}{\rho v_k^2}}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  — угол соударения пластин;  $H_v$  — твердость материала;  $\rho$  — плотность;  $v_k$  — скорость точки контакта. Критерий струеобразования при соударении металлических пластин  $v_k > c_0$  ( $c_0$  — продольная скорость звука в невозмущенном материале) рассмотрен в работе [4], в которой отмечается, что необходимым условием образования струи является дозвуковое течение в окрестности точки контакта. В случае  $v_k < c_0$  это условие выполняется, однако при малых углах соударения обратная струя также не образуется.

Условия, необходимые для образования струи в случае  $v_k < c_0$ , рассмотрены в работе [5], в которой исследуется соударение двух струй вязкой жидкости. Импульс струи в случае отсутствия вязких сил есть

$$I_1 = 2\rho\delta_1 v_k^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (2)$$

В процессе образования струи на нее действуют тормозящие силы, величину которых приближенно можно определить следующим выражением [5]:

$$I_2 = 2v_k \mu \left(1 - \sin \frac{\gamma}{2}\right). \quad (3)$$

Подставляя в (4) (2) и (3), получим

$$2v_k \mu \left(1 - \sin \frac{\gamma}{2}\right) \leq 2\rho \delta_1 v_k^2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}.$$

В этом случае необходимое условие образования обратной струи запишется следующим образом:

$$I_1 \leq I_2 \quad (4)$$

Это выражение можно записать:

$$\sin \frac{\gamma}{2} \geq \sqrt{\frac{\mu \left(1 - \sin \frac{\gamma}{2}\right)}{\rho \delta_1 v_k}}$$

и

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sigma \left(1 - \sin \frac{\gamma}{2}\right)}{\varepsilon \delta_1 v_k}}, \quad (5)$$

где  $\sigma = \mu \varepsilon$  — напряжения, возникающие в материале при его деформации.

Так как представление реального материала в виде вязкой жидкости или пластического тела является условным, то для оценочных расчетов можно считать, что  $\sigma = \sigma_b$  ( $\sigma_b$  — предел текучести материала).

В работе [6] в случае образования кумулятивной струи скорость деформации материала оценивалась выражением:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v_k}{\Delta S},$$

где  $\Delta S$  — путь, пройденный кумулятивной струей в процессе разворота материала вблизи точки торможения (см. рисунок).

В критических режимах, когда образования кумулятивной струи не происходит и материал в точке контакта неподвижен, среднюю скорость деформации можно оценить из следующего выражения:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v_k}{\delta}.$$

Теперь выражение (5) будет иметь вид

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sigma_b \left(1 - \sin \frac{\gamma}{2}\right)}{\rho v_k^2}}.$$

Решение этого уравнения дает следующее выражение для  $\sin \frac{\gamma}{2}$ :

$$\sin \frac{\gamma}{2} = -\frac{\sigma_b}{2\rho v_k^2} + \left(\frac{\sigma_b}{\rho v_k^2}\right)^{1/2} \sqrt{1 + \frac{\sigma_b}{4\rho v_k^2}}.$$

После разложения подкоренного выражения в степенной ряд получим:

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sigma_b}{\rho v_k^2}} + \frac{\sigma}{\rho v_k^2} \left( \sqrt{\frac{\sigma_b}{\rho v_k^2}} - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{128} \left( \frac{\sigma_b}{\rho v_k^2} \right)^{2/3} \dots \quad (6)$$

Так как при сварке взрывом  $\sigma_b/\rho v_k^2$  всегда меньше 1, то можно ограничиться только первым членом ряда (6) и для критического угла соударения записать выражение

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sigma_b}{\rho v_k^2}}, \quad (7)$$

которое позволяет определить критический угол в зависимости от предела текучести материала. Однако, так как струя образуется из тонких поверхностных слоев, то более логично в качестве прочностной характеристики ввести твердость материала  $H_v$ , подобно тому, как это сделано в работе [7].

Существуют эмпирические зависимости, связывающие прочность и твердость материала:  $\sigma_b = kH_v$ , где  $k$  — эмпирический коэффициент, равный 0,3—0,4.

Используя соотношение между  $\sigma_b$  и  $H_v$  и принимая  $k=0,36$ , можно выражение (7) записать для малых углов

$$\gamma = 1,2 \sqrt{\frac{H_v}{\rho v_k^2}}. \quad (8)$$

Сравнение выражения (8) с полученной эмпирическим путем формулой (1) для критического угла при сварке взрывом показывает неплохое их совпадение, и расхождение между этими формулами можно считать незначительным, учитывая те приближения, которые сделаны при выводе выражения [8].

Поступила в редакцию  
9/VII 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G. Cowan, A. Holtzman. J. Appl. Phys., 1963, 34, 4.
2. A. Bahrani, T. Black, B. Crossland. Proc. Roy. Soc., Ser. A, 1967, 296, 1445.
3. А. А. Дерибас, И. Д. Захаренко. ФГВ, 1974, 8, 3.
4. Д. Уолш, Р. Шлефлер, Ф. Уиллинг. Механика, вып. 2, 1954.
5. С. К. Годунов, А. А. Дерибас. Докл. АН СССР, 1972, 202, 5.
6. С. К. Годунов, А. А. Дерибас, В. А. Мали. ФГВ, 1974, 10, 4.
7. R. H. Wittman. The influence of collision parameters on the strength and microstructure of an explosion welded aluminium alloy. International simposium, Marianske Lazue, 1973.