

На рис. 4, б приведены расчетные графики зависимости p'_i от t_1 (где $t_1 = t - t'_0$, а $t'_0 = \frac{H_{ВВ}}{D}$) для различных значений D . На этом же графике ограничена кривой BC область значений $t_1 > t_{сб}$, где $t_{сб} = \frac{OA}{D}$ (в расчете величина OA соответствует сварочному зазору $h_{св} = 8$ мм). Как видно на графике, область, лежащая за точкой соударения ($t_1 > t_{сб}$), в которой остаточное давление газов еще может влиять на условия кристаллизации литых включений (принято $p'_i > 500$ МН/м²) соответствует $D \geq 3500 \div 4000$ м/с. При $D = 2000 \div 2500$ м/с давление продуктов детонации уже в точке соударения снижается до 200—250 МН/м² и вряд ли достаточно для заметного влияния на условия кристаллизации.

Следует, однако, отметить, что уменьшение зазора $h_{св}$ вдвое расширяет зону благоприятного воздействия давления газов (кривая BC переходит в $B'C'$).

Проведенный анализ в силу ряда допущений дает, в основном, качественную картину выявленных зависимостей, но он подтверждает, что термомеханический цикл при сварке взрывом может заметно влиять на условия кристаллизации литых включений металла в зоне соединения и, как следствие, на его качество. Это должно облегчить обоснованный выбор рациональных параметров процесса плакирования.

Поступила в редакцию
16/V 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерibas. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. Н. Н. Рыкалин. Расчеты тепловых процессов при сварке. М., Машгиз, 1951.
3. Райнхардт и Пирсон. Взрывная обработка металлов. М., «Мир», 1968.
4. В. П. Челышев, Б. И. Шехтер, А. А. Шушко. ФГВ, 1970, 6, 2.
5. И. Д. Захаренко, Т. М. Соболенко. ФГВ, 1971, 7, 3.

УДК 532.593

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕТАЛЛОВ

В. Ф. Нестеренко, А. М. Ставер
(Новосибирск)

В работах [1, 2] установлено, что при прохождении ударной волны через контакт двух металлов в измерительной цепи, содержащей этот контакт, возникает э. д. с. В этих экспериментах амплитуда сигналов в несколько раз превышала амплитуду, рассчитанную по температуре ударного сжатия. В работе [3] высказан ряд предположений о причинах аномально большой э. д. с. По мнению авторов, она может быть связана с высокой неравновесной температурой электронного газа из-за наличия на фронте ударной волны электрического поля, с увеличением электронов фононами, изменением Ферми поверхности с давлением. В работе [4] при изучении сигналов на паре $Cu-Ni$ были получены наименьшие значения э. д. с. по сравнению с другими авторами. Авторы [4] связывают это с тем, что в предыдущих работах для получения хорошего электрического контакта использовался промежуточный материал (при-

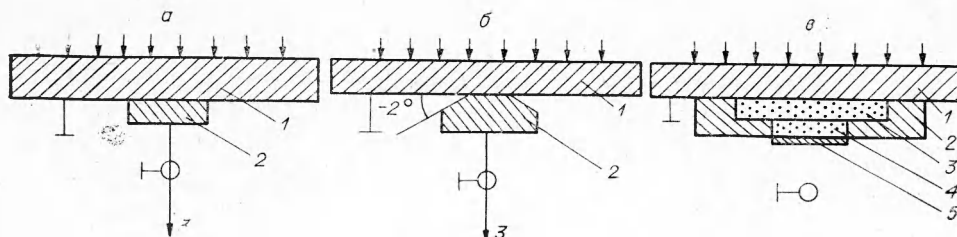


Рис. 1.

пой). В работе [4] контакт обеспечивался шлифовкой и диффузионной сваркой поверхностей. В качестве одного из возможных источников сигналов авторы [5] называют ударную поляризацию металлов. Такой же вывод делается в работах [6, 7]. Рассматриваемый эффект в работах [3, 8] предложено использовать в качестве датчика давления.

Цель настоящей работы — дальнейшее изучение этого явления и установление фактов, оказывающих наиболее существенное влияние на величину и характер регистрируемого сигнала.

Эксперимент. Схема экспериментов приведена на рис. 1, а, б, в. Для экспериментов использовался никель марки НПА-1 и медь М-1. Диаметр образцов никеля был равен 10 мм, толщина 5—6 мм. Все эксперименты проводились с образцами, вырезанными из одной и той же пластинки. По схеме рис. 1, а (1 — медный экран, 2 — никелевый образец, 3 — на вход усилителя) проведено две серии опытов. В первой серии поверхности пластин никеля и меди полировались до зеркального блеска и принимались меры для создания контакта по всей поверхности; во второй серии они обрабатывались на грубой наждачной бумаге и после обработки поверхность была шероховатой. На рис. 1, б (1 — медный экран, 2 — никелевый образец, 3 — на вход усилителя) показана схема сборки, в которой никелевый образец касался медной пластины только в центре на диаметре 2 мм, остальная часть поверхности никеля составляла с медной пластиной угол 2° . На рис. 1, в приведена схема измерения э. д. с., возникающей при ударном нагружении границы раздела порошков из меди 3 и никеля 4. Ударная волна вводилась в образцы через медный экран 1 толщиной 6 мм. Толщина слоя пористой меди была равна 2 мм. Под ним располагался никелевый порошок толщиной также 2 мм. Диаметр пористого образца из меди составлял 10 мм, а из никеля 5 мм. Образцы прижимались к медному экрану с помощью фольги 5 из меди толщиной 1 мм (2 — фторпластовая форма; стрелки — направление распространения ударной волны). Плотность пористых образцов составляла 3 г/см^3 . Размер частиц 0,1—0,3 мм. Ударная волна во всех экспериментах создавалась генератором плоской волны из литого ТГ 50/50. Измеренный профиль массовой скорости генератора имеет приблизительно треугольную форму с временем спада 1 мкс. Давление в сплошных образцах, рассчитанное по скорости ударной волны в Ni, было равно 380 кбар. Регистрация сигналов проводилась на осциллографе С1-11 с дополнительным усилителем УЗ-4. Принимались меры для устранения наводок от продуктов детонации.

На рис. 2, а б, в, г показаны осциллограммы изменения э. д. с. во времени, возникающие при ударном нагружении соответствующих сборок (t_1 — вход ударной волны в образец, t_2 — выход ударной волны).

В первой серии экспериментов (рис. 2, а) среднее измеренное значение э. д. с. по 10 экспериментам с полированной поверхностью равно $11 \pm 3 \text{ мВ}$, в четырех экспериментах было зафиксировано минимальное значение э. д. с. 8 мВ. Приведенные значения э. д. с. соответствуют моменту времени входа ударной волны в образец. В ряде экспериментов в момент входа ударной волны в образец появляется резкий выброс э. д. с.

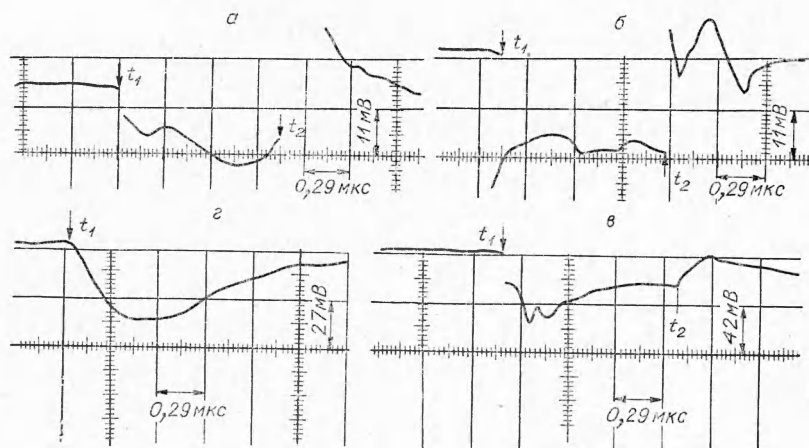


Рис. 2.

длительностью $\sim 0,1$ мкс той же полярности, что и исследуемый сигнал. В этом случае э. д. с. регистрировалась в момент времени, соответствующий началу ее плавного изменения. Амплитуда выброса в экспериментах первой серии составляла ~ 20 мВ.

На рис. 2, б приведена осциллограмма, полученная в опытах с шероховатой поверхностью. Среднее измеренное значение э. д. с. по 8 опытам равно 19 ± 3 мВ. Амплитуда выброса равна 32 мВ.

На рис. 2, в показана осциллограмма опыта с расположением никеля под углом к медной пластине. Максимальная величина э. д. с. в этом случае равна 55 мВ. Через время 0,6 мкс она выходит на постоянное значение равное 21 мВ.

Величина э. д. с. в случае опытов с пористыми образцами равна 40 мВ, и соответствующая осциллограмма приведена на рис. 2, г. Обращает на себя внимание плавный рост сигнала в момент входа ударной волны в образец по сравнению с опытами на сплошных образцах. Это может быть связано с размером фронта ударной волны в порошке.

В предположении, что коэффициент термо-э. д. с. не зависит от давления, температура на границе раздела в первой серии экспериментов составляет величину $440 \pm 120^\circ \text{C}$. Минимальная величина э. д. с. соответствует температуре 320°C . Температура на контакте, рассчитанная по известным адиабатам ударного сжатия [4, 9], равна 260°C , что соответствует величине э. д. с. 7 мВ.

Измеренная амплитуда сигналов для опытов с шероховатыми поверхностями соответствует температуре $700 \pm 120^\circ \text{C}$. Для экспериментов с расположением пластин под углом, экстраполируя ход кривой термо-э. д. с. [10] на температуры, большие 1000°C , получим величину температуры в максимуме сигнала 1600°C . В случае сжатия порошков измеренная $T = 1200^\circ \text{C}$. Отметим, что давление в порошках было значительно меньше давления в сплошных материалах.

Минимальная измеренная температура на полированных образцах удовлетворительно соответствует расчетной по ударному сжатию. На шероховатых образцах сигнал существенно не изменялся за время ~ 1 мкс при значительном уменьшении давления на контакте. Отсюда можно предположить, что до 400 кбар коэффициент термо-э. д. с. исследованной пары металлов слабо зависит от давления, а наблюдаемые сигналы соответствуют реальным температурам на ударно нагруженных контактах. Превышение измеряемых температур над температурой ударного сжатия как в экспериментах первой, так и второй серии может быть связано со скольжением поверхностных слоев контактирующих металлов относительно друг друга при прохождении через контакт ударной волны,

поскольку реальная площадь контакта двух даже полированных поверхностей может на порядки отличаться от их геометрической площади. При этом скорость вещества за фронтом ударной волны 1 км/с вполне может обеспечивать наблюдаемый прирост температуры за счет трения [11]. Этим объясняется, по-видимому, тот факт, что во второй серии экспериментов э. д. с. не изменяется в течение ~ 1 мкс. Действительно, нагретый слой толщиной ~ 10 мк остывает за счет теплоотвода в глубь материала за время $t \sim \frac{x^2}{a}$, где a — температуропроводность материала, при $a \sim 0,1-1$ см²/с $t \sim 1-10$ мкс.

Отметим, что предположение о превышении температуры на границе раздела, при прохождении ее ударной волной, над температурой ударного сжатия за счет деформации микронеоднородностей высказано также в [12, 13].

Проведенные эксперименты показали, что коэффициент термо-э. д. с. исследованной пары металлов слабо зависит от давления, а величина измеряемых сигналов, по-видимому, соответствует температурам, возникающим на контакте при ударном сжатии. Для измерения температур за фронтом ударных волн необходимо принимать меры по устранению поперечных деформаций образца и созданию качественного контакта. Данная методика может быть применима для измерения температуры при соударении металлов и при ударном нагружении порошков.

*Поступила в редакцию
12/V 1974*

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Jacquesson. Bull. GAMAC, 1959, 4, 33.
2. В. С. Илюхин, В. Н. Кологривов. ПМТФ, 1962, 5, 176.
3. J. Crosnier, J. Jacquesson, A. Migault. 4-th Symp. on Detonation Proc., US Govt. Print. Off., 1965, p. 627.
4. О. И. Бужинский, С. В. Самылов. ФТГ, 1969, 11, 2881.
5. В. Н. Минеев, А. Г. Иванов и др. ЖЭТФ, 1971, 61, 254.
6. В. Н. Минеев, А. Г. Иванов и др. ЖЭТФ, 1970, 59, 1091.
7. В. Н. Минеев, А. Г. Иванов, Ю. Н. Тюняев. Материалы 3-го Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву, 5—10 июля 1971, «Наука», с. 597.
8. С. А. Бордзиловский, С. М. Караханов, В. В. Полюдов. ФГВ, 1972, 8, 4, 586.
9. R. G. Mc Queen, S. P. Marsh. J. Appl. Phys., 1960, 31, 1253.
10. Методы измерения температуры. Ч. II. (Сб. статей под редакцией В. А. Соколова). М., ИЛ, 1964.
11. Ф. П. Боуден, Д. Тейбор. Трение и смазка твердых тел. М., «Машиностроение», 1968.
12. P. A. Urtiew, R. Grover. J. Appl. Phys., 1974, 45, 1.
13. R. Grover, P. A. Urtiew. J. Appl. Phys., 1974, 45, 1.

УДК 621.411

ВЗРЫВНОЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ В ГРУНТЕ

*В. А. Кривцов
(Киев)*

В работе [1] поэтапно рассмотрена задача образования взрывом сферической полости в грунте без решения вопроса об устойчивости полости после ее формирования. В данной статье рассматриваются критерии устойчивости вертикальной цилиндрической полости, излагается