

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ ДВУХ ПЛАСТИН ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ УДАРОМ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-а, г. Николаев, 54018, Украина, dpte@iipr.com.ua*

Введение

В работах [1, 2] приведены некоторые результаты теоретического исследования гидродинамических процессов в трубе неограниченной длины при взрыве в ней проводника, помещённого в заполненный водой полиэтиленовый патрон цилиндрической формы. Необходимость в таком исследовании возникает при разработке технологии развальцовки труб в решётках теплообменных аппаратов [3]. Такой же патрон используется при сварке двух пластин высокоскоростным ударом (ВСУ) [4]. В этом случае заполненный водой полиэтиленовый патрон помещают в толстостенную втулку цилиндрической формы с отверстиями на торцах, высота которой равна его длине. Одно из оснований патрона закрыто полиэтиленом, к другому прикрепляется одна из свариваемых пластин - метаемая. В патроне находится спиралевидный проводник. В результате его электрического взрыва образуется заполненная плазмой полость (канал разряда), расширение которой приводит к резкому росту давления жидкости в патроне. Под воздействием гидродинамической нагрузки метаемая пластина перемещается до своего соударения со второй, неподвижной пластиной.

На качество сварного соединения влияют многочисленные факторы, в том числе величина гидродинамической нагрузки, скорость движения метаемой пластины в момент её соударения с неподвижной, угол между пластинами [5]. Поэтому определение степени влияния того или иного фактора на процесс сварки актуально при разработке соответствующей разрядно-импульсной технологии [3]. Экспериментальное изучение этого вопроса вызывает большие трудности, а измерение некоторых параметров процесса даже невозможно. В связи с этим целесообразно путём построения математической модели процесса сварки ВСУ и её реализации изучить процесс теоретически.

Цель настоящей работы – теоретическое изучение гидродинамических процессов при сварке двух пластин ВСУ.

Постановка и способ решения задачи

При построении математической модели были приняты следующие допущения:

- стенка держащей патрон втулки абсолютно жёсткая;
- проводник находится на оси симметрии патрона и имеет форму прямого кругового цилиндра конечной длины;
- проводник взрывается мгновенно;
- метаемая пластина имеет форму диска, не деформируется и перемещается по закону движения твёрдого тела;
- патрон заполняет идеальная сжимаемая жидкость, а канал разряда – идеальная низкотемпературная плазма.

В соответствии с принятыми допущениями математическая модель, описывающая гидродинамические процессы при сварке двух пластин ВСУ, включает в себя:

- систему двумерных нелинейных уравнений газовой динамики, записанную в цилиндрической системе координат [1];
- уравнение состояния в двухчленной форме [1];
- уравнение баланса энергии в канале разряда [1] на контактном разрыве плазма – вода (внутренняя граница расчётной области);
- условие непротекания на неподвижной жёсткой поверхности [1];
- равенство скорости движения границы жидкость–пластина скорости перемещения пластины;
- условие на свободной поверхности [1] на том основании патрона, где жидкость в начальный момент времени ограничена полиэтиленом, и на границе вода–газ вытекающей жидкости на противоположном торце.

Задача решается конечноразностным методом Годунова [1]. Используется подвижная сетка. При решении задачи учитывалась область, занимаемая вытекающей водой вблизи пластины.

Результаты решения задачи

Схема расчётной области дана на рис. 1. Внутренний радиус втулки и патрона и радиус метаемой пластины равны R , масса метаемой пластины $m = 8$ г, первоначальное расстояние ее до неподвижной пластины $x = 10$ мм. Закон ввода электрической мощности в канал разряда [1] приведен на рис. 2.

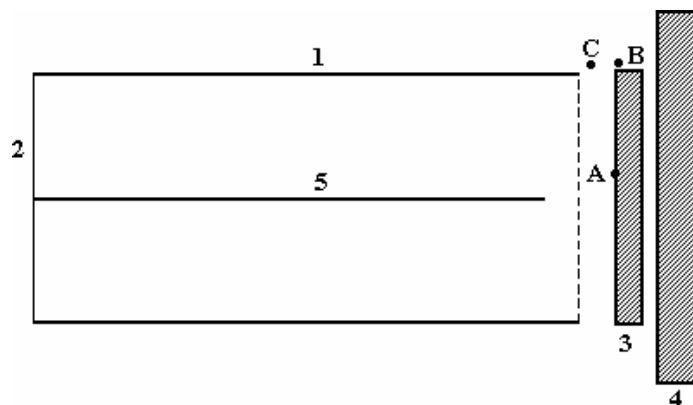


Рис. 1. Схема области исследования: 1 – внутренняя поверхность втулки; 2 – полиэтиленовое дно; 3 – метаемая пластина; 4 – неподвижная пластина; 5 – взрывающийся проводник; A, B, C – точки на поверхности пластины и в жидкости

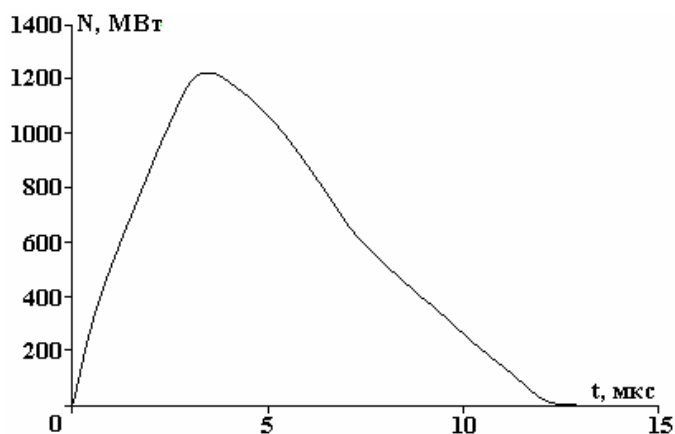


Рис. 2. Вводимая в канал разряда электрическая мощность

Давление в образовавшейся после электрического взрыва проводника плазменной полости существенно превосходит давление в окружающей жидкости. Вследствие этого канал разряда интенсивно расширяется, генерируя ударную волну. Давление жидкости в патроне резко возрастает, что приводит к взрыву патрона и истечению воды из занимаемой ею первоначально области. Отражённая от цилиндрической поверхности волна достигает стенки канала разряда, что приводит к уменьшению объёма канала и повышению давления в нём (рис. 3, кривая 1). Величина второго максимума давления в канале меньше первого, что связано с окончанием ввода энергии в канал разряда и увеличением занимаемого жидкостью объёма [1]. Давление жидкости после достижения максимального значения быстро падает во всей области, в том числе и на метаемую пластину (рис. 3, кривые 2–4). Следует также отметить, что фронт ударной волны достигает различных участков пластины практически одновременно, а гидродинамическая нагрузка распределена практически однородно (рис. 3).

Вследствие разрушения патрона и начала перемещения пластины происходит истечение жидкости из втулки. Скорость жидкости достигает 380 м/с. Направленность и значения компонент вектора скорости жидкости (рис. 4) свидетельствуют о том, что с некоторого момента времени поток воды обтекает движущуюся пластину (рис. 4, кривые 2 и 2'). Этот факт также затрудняет экспериментальное изучение процесса сварки ВСУ.

После достижения максимума плотность жидкости быстро падает до значений, которые меньше плотности покоящейся жидкости $\rho = 1000$ кг/м³ (рис. 5). Это происходит вследствие увеличения занимаемого ею объёма. То есть жидкость разрушается – образуются «отколы» [6]. Как в [6] и

полагали, разрушаемая жидкость является сплошной средой, плотность которой меньше плотности невозмущенной жидкости, а давление равно нулю.

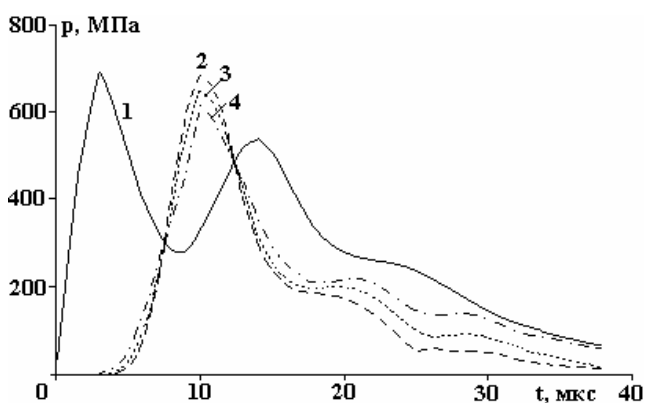


Рис. 3. Давление в канале разряда и на метаемую пластину: 1 – давление в канале; 2 – в точке $r = 0,5 \cdot R$ на пластине; 3 – в точке $r = 0,75 \cdot R$; 4 – в точке $r = 0,95 \cdot R$

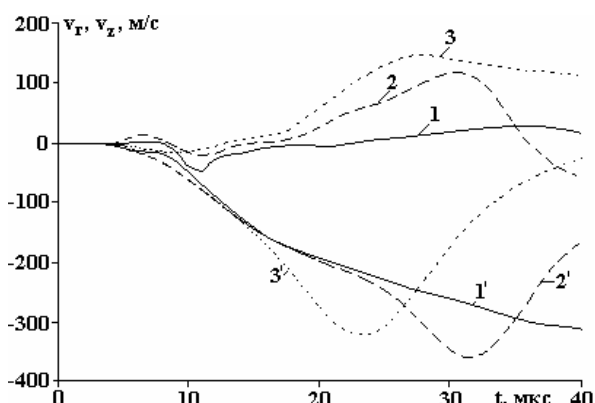


Рис. 4. Радиальная (v_r) и осевая (v_z) компоненты вектора скорости жидкости: 1, 1' – v_r, v_z в точке A (рис. 1) соответственно; 2, 2' – v_r, v_z в точке B; 3, 3' – v_r, v_z в точке C

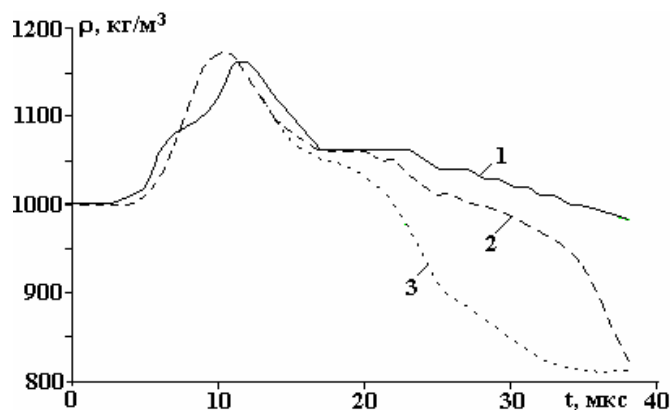


Рис. 5. Плотность жидкости: 1 – в точке A (рис. 1); 2 – в точке B; 3 – в точке C

На рис. 6 представлены зависимость скорости метаемой пластины от перемещения – $\dot{x}(x)$ (кривая 1) и зависимость её скорости в момент соударения с неподвижной от массы пластины – $\dot{x}(m)$ (кривая 2). После резкого падения гидродинамической нагрузки на пластину (рис. 3) её ускорение уменьшается, но скорость движения растёт. Это следует объяснить, по-видимому, идеализацией жидкой среды и материала перемещающейся пластины. Анализ кривой 2 на рис. 6 показал, что скорость движения пластины убывает с увеличением её массы по гиперболическому закону.

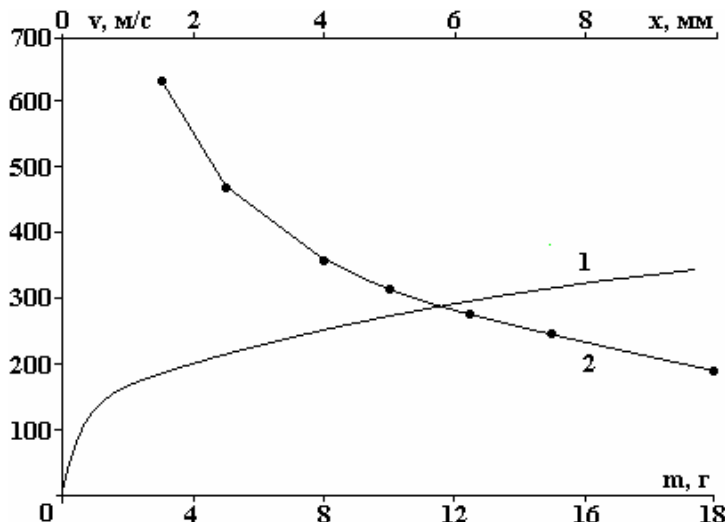


Рис. 6. Скорость перемещения метаемой пластины: 1 – зависимость от перемещения x ; 2 – зависимость от массы пластины m при $x=10$ мм

Заключение

Таким образом, гидродинамическая нагрузка в рассматриваемом случае сварки двух пластин высокоскоростным ударом распределяется практически однородно по всей поверхности метаемой пластины.

Скорость перемещения метаемой пластины уменьшается с увеличением её массы по гиперболическому закону.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барбашова Г.А.* Исследование гидродинамических процессов при электрическом разряде в малом объёме жидкости // *Электронная обработка материалов*. 2008. № 1. С. 35–39.
2. *Барбашова Г.А.* Исследование гидродинамического давления в ограниченной области трубы при взрыве микропроводника // *Электронная обработка материалов*. 2009. № 1. С. 44–47.
3. *Мазуровский Б.Я.* Электрогидроимпульсная запрессовка труб в трубных решетках теплообменных аппаратов. Киев, 1980. 172 с.
4. *Юрченко Е.С., Половинко В.Д., Шленский П.С.* Сварка разнородных материалов высокоскоростным ударом с применением электровзрыва проводника // Тезисы докладов VII Международной школы-семинара «Импульсные процессы в механике сплошных сред». Николаев, 2007. С. 69–70.
5. *Лаврентьев М.А., Шабат Б.В.* Проблемы гидродинамики и их математические модели. М., 1977. 408 с.
6. *Атанов Г.А.* Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород. Киев, 1987. 155 с.

Поступила 10.06.10

Summary

Hydrodynamic Processes by High-Speed Impact Welding of two plates are studied numerically. The hydrodynamic load on the thrown plate is determined.
