

UDC 621/7

**ABOUT THE MODEL OF IMPULSE COMPOUNDS OF METALS**<sup>1</sup> Ruben Z. Kamalyan<sup>2</sup> Samvel R. Kamalyan<sup>1</sup> IMSIT, Krasnodar, Russia.

The Doctor of Technical Sciences, Professor

<sup>2</sup> KF RGTEU, Krasnodar, Russia.

350049, Krasnodar, the 1-st Plastunsky proezd, 74

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor

E-mail: kasarub@mail.ru

Propose the model of impulse compounds of metals. Paying attention to the physical side of the welding process.

**Keywords:** wave formation, viscous liquid, strain, elastic plastic material.

В процессе сварки взрывом металлические заготовки, разогнанные продуктами детонации конденсированных взрывчатых веществ, соударяются друг с другом, в результате чего происходит интенсивная пластическая деформация и нагрев металлов, что при надлежащем выборе режимов соударения приводит к появлению прочной связи между свариваемыми металлами.

Практически с первых опытов по сварке взрывом было отмечено появление волн на границе соединения металлов (рис. 1). Поэтому часто этот феномен связывают с процессом сварки металлов взрывом, считая волнообразование ответственным за механические характеристики получаемых двух и многослойных материалов. Это явление получило название волнообразования при сварке взрывом.



Рис. 1. Волновая зона соединения

Однако очень скоро выяснилось, что сварка взрывом возможна и без образования волн (рис. 2).



Рис. 2. Безволновое соединение

Для описания этого интереснейшего явления разными авторами, в зависимости от специфики решаемых ими задач, образования и вкуса предлагались различные модели и механизмы, опубликованные в нескольких десятках статей, материалов конференций, монографий, диссертаций и содержащих фантастическое количество экспериментального материала. Однако, несмотря на это, до сих пор не удалось создать количественную модель для полного и адекватного описания всех особенностей процесса сварки взрывом.

Анализ значительной части работ, посвященных построению математических моделей, показал, что они группируются вокруг небольшого числа физических моделей. Интересно отметить, что многие предлагаемые модели, основанные зачастую на одних и тех же экспериментальных данных, сильно отличаются друг от друга, а иногда являются взаимоисключающими.

Рассмотрим каждую из предложенных наиболее важных физических моделей с точки зрения экспериментальных данных в терминах их преимуществ и недостатков. Заметим, что ссылки на источник не означают, что данный механизм рассмотрен только в этой работе.

**Механизм внедрения** [1]. Предполагается, что волны на границе соединения начинаются перед точкой соударения с периодическими внедрениями, которые создаются колеблющейся струей, но без упоминания о переходной зоне, то есть, о достижении критического угла сварки. Фактически, что касается волнообразования, все углы соударения, по этой модели, приводят к одинаковому поведению. В ее основе вязкая жидкость, а внедрение происходит из-за удара струи. Хотя предполагается, что положение точки торможения циклически изменяется, нет указаний, что это обусловлено пульсирующим характером давления на границе соединения или изменением на ней величины давления. Присутствие вихрей на передней и на задней части волны означает, что модель подходит только для описания поведения поверхности соединения при сварке металлов с одинаковой плотностью.

**Распространение вихрей** [2]. В основе механизма также жидкоподобное поведение материалов всюду по толщине пластины (плоские потоки). Предполагается, что волны начинаются за точкой соударения, то есть, вихревая дорожка Кармана

развивается за препятствием, а препятствием в данном случае является точка соударения.

В точке торможения впереди препятствия линии тока разделяются и обтекают препятствие, создавая, таким образом, изменения в давлении и скорости, которые проявляются в развитии следа и колебаний. Однако, это происходит на определенном расстоянии от препятствия, в то время как волны при сварке взрывом наблюдаются непосредственно за точкой соударения.

**Механизм неустойчивости течения** [3]. Эта модель тоже предусматривает жидкоподобное поведение свариваемого материала. Предполагается, что формирование волн является результатом разрыва скорости в соседних «потоках» (материалах), обусловленного различием плотности материалов двух свариваемых пластин. Согласно этому механизму волны также образуются перед точкой торможения. Модель не может предсказывать характер волн или причины их образования для одинаковых материалов и одинаковых толщин. В первом случае по предсказанию модели получается прямая граница соединения, тогда как эксперименты показывают, что это неверно.

**Механизм воли напряжения** [4]. В этой модели утверждается, что волны на границе соединения инициируются волнами разгрузки, приходящими со свободной поверхности упругопластических пластин. Механизм предполагает наличие жесткого источника для волнообразования, несмотря на то, что смысл этого неясен. Идея жесткого ударника подтверждается математически, но физические объяснения его природы отсутствуют. Однако в моделях такого типа нет единства мнений. Другие механизмы волн напряжения предполагают, что волны образуются и впереди, и за точкой соударения. При этом, если в одних моделях считается, что процесс не зависит от образования струи, то в другие включают не только свободную струю, но также и «выброс» материала (феномен поверхностного возмущения) с внутренних свободных поверхностей.

**Модель динамической пластичности** [5]. В этой модели механизм волнообразования основан на теории волн напряжения, и материал считается упругопластическим. Предполагается, что периодическое внедрение происходит благодаря пульсирующему давлению, интенсивность которого определяет характер (с волнами или без волн) границы соединения. Дискретные импульсы материализуются жесткими ударниками, которые при соударении создают впадины и вынуждают материал «подниматься» из этих впадин. Такое движение представляет собой волну растяжения, которая, в свою очередь, является отражением начального импульса давления.

**Модель трения** [6]. Модель трения обладает большой энергетической эффективностью. Предположение о постоянстве клина трения не является необходимым ни в оперировании высоким давлением, ни в описании материалов в точке соударения как невязких и несжимаемых жидкостей. Полезность модели трения может состоять в объяснении структур границ соединения, полученных при разных технологических условиях. Заслуживает внимания также гипотеза о прерывности массы трения, которая, согласно модели, вызывает возникновение волн на границе.

**Модель сварки, с учетом прочностных свойств металлов.** Нами тоже были проведены многочисленные эксперименты по сварке металлов взрывом. Часть результатов увидела свет ранее [7, 8], другие, полученные несколько позже, а также относительно недавно, ждут своих публикаций. Основываясь и на них, и на опубликованные многочисленные работы, можно предложить физическую модель, более полно учитывающую этапы сварки металлов взрывом. Предварительно отметим, что стремление упростить решение задачи по механике взрывного соединения металлов приводит некоторых исследователей к бесплодным «теориям». Это имеет

место тогда, когда делается попытка использовать аппарат теории упругости [9], что приводит, по крайней мере, к двум неточностям. Первая состоит в том, что на основе упругого решения исследуется поле напряжений, по которому пытаются судить о развитии процесса необратимой деформации материала. Однако в большинстве случаев исходное поле напряжений, как только начнется необратимая деформация, будет изменяться кардинальным образом. Следовательно, нельзя такую задачу расчленять, так как поле напряжений непрерывно следит за развитием необратимой деформации и одновременно управляет им. Такая взаимосвязь сильно усложняет задачу, однако исключить ее или обойти невозможно, ибо во взаимосвязи поля напряжения и процесса деформации – суть явления. Второй неправильный прием состоит в том, что на основе решения упрощенной задачи в рамках теории упругости выводятся некоторые общие закономерности, которые якобы качественно должны быть справедливы и при деформировании материала взрывом. Кроме того высокоскоростная деформация сопровождается в точке контакта интенсивной диссипацией механической энергии, что невозможно учесть в рамках теории упругости, построенной на линейной связи напряжений и деформаций.

Популярная во многих работах вихревая дорожка Кармана есть феномен вязкого течения. Трудно представить себе, что металл мог бы вести себя подобно вязкой жидкости в условиях сварки взрывом. Скорее следует ожидать, что важную роль должна играть прочность материала, характерная для твердого тела. Поэтому можно считать необоснованной любую теорию волнообразования, принимающую вязкую жидкость в качестве базовой модели.

В свете изложенного, по-видимому, изучение волнообразования на поверхности раздела следует проводить в рамках гидроупругопластической модели (рис. 3).

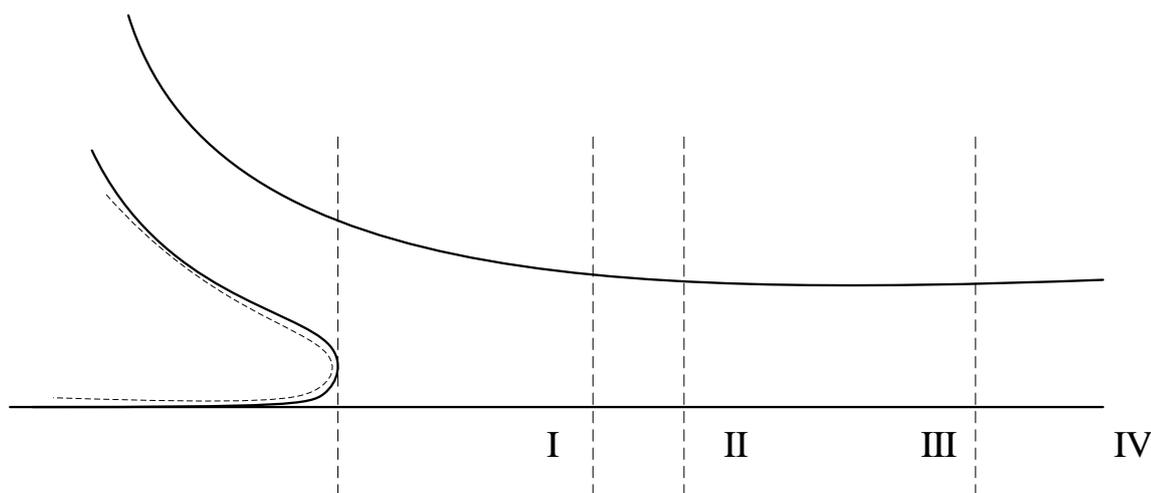


Рис. 3. Модель сварки взрывом: I – жидкая зона; II – зона перехода; III – зона пластических деформаций; IV – упругая зона

Данная модель аналогична зонной модели камуфлетного взрыва [10]. В «ближней зоне», т.е. в точке контакта металл подобен идеальной несжимаемой жидкости. Такое предположение основано на том, что в малой окрестности точки контакта могут возникнуть давления, во много раз превышающие пределы текучести материалов (I зона). Зону перехода можно охарактеризовать числом Рейнольдса. На микрофотографиях сварных швов хорошо видны следы пластических течений, свидетельствующие о движении переходного слоя вслед за точкой контакта. В зоне пластических деформаций начинают проявляться

прочностные характеристики, которая завершается «вмораживанием» уже образовавшихся волн. В упругой зоне деформации обратимы.

**Примечания:**

1. Bahrani A.S. The mechanics of wave formation in explosive welding / A.S. Bahrani, T.Y Black, B Crossland // Proceedings of the Royal Society, Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1967. Vol. 296, № 1445. P. 123-136.
2. Schmidtman E. Vorgänge beim Explosiv-schweißen metallischen Werkstoffe / E. Schmidtman, W Koch, H Schench // Arc. Eisenhüttenweissen, 1965. Bd. 36, №9. P. 83-95.
3. Robinson Y.L. The mechanics of wave formation in impact welding // The Philosophical Magazine, 1975. Vol. 31, № 3. P. 587-597.
4. Дерibas А.В. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1972. 188 с.
5. Szecket A. The Cyclic Pressure Distribution of Explosively Welded Interfaces / A. Szecket, D.J. Viguera, O.T. Jnal // Metallurgical Application of Shock-Wave and High-Strain-Rate Phenomena. Eds Murr L.E., Standhammer K.P., Meyers M.A. Marcel Dekker Inc., New York and Basel, 1986. P. 887-903.
6. Služalec A. Model zavarivanja eksplozijom mehanizmom trenja / A. Služalec, J. Sadovski // Zavarivač, 1980. Vol. 25, №2. С. 57-60.
7. Камалян Р.З. Получение многослойных композиций металлов взрывом / Р.З. Камалян, Я.И. Фердман // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 1993. №3-4. С. 50-54.
8. Камалян Р.З. К вопросу сварки взрывом металлов, метаемых без зазора // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 1994. №1-2. С. 261-264.
9. Ефремов В.В. О косых соударениях металлических пластин в упругой постановке // ПМТФ, 1975. №5. С. 167-173.
10. Родионов В.Н. О поведении среды в зоне разрушения при камуфлетном взрыве / В.Н. Родионов, И.А. Сизов, А.А. Спивак, В.М. Цветков // Разрушение и деформирование твердой среды взрывом: Взрывное дело. М.: Недра, 1976. №76/33. С. 24-39.

УДК 621/7

## О МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

<sup>1</sup> Рубен Завенович Камалян

<sup>2</sup> Самвел Рубенович Камалян

<sup>1</sup> ИМСИТ, Краснодар, Россия.

Доктор технических наук, профессор

<sup>2</sup> Краснодарский филиал Российского государственного  
торгово-экономического университета

350049, г. Краснодар, 1-ый Пластунский проезд, 74

Кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: kasarub@mail.ru

Предлагается модель импульсного соединения металлов. Уделено внимание физической стороне процесса сварки.

**Ключевые слова:** волнообразование, вязкая жидкость, деформация, упругопластический материал.