

**И.В. Яковлев, В.М. Оголихин**

**I.V. Yakovlev, V.M. Ogolihin**

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск  
Lavrentyev Institute of Hydrodynamics Siberian Branch of RAS (Novosibirsk)

**ВЗРЫВНОЕ ПЛАКИРОВАНИЕ  
ТОРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ**

**METAL PROTECTION BUTT  
END OF CYLINDRICAL PERFORM  
BY EXPLOSION METHOD**

Показана возможность взрывного плакирования цилиндрической заготовки с полусферической цилиндрической поверхностью.

**Ключевые слова:** сварка металлов взрывом, плакированная торцевая поверхность.

The possibility of explosive cladding cylindrical billet with a hemispherical cylindrical surface.

**Keywords:** welding of metals by explosion, plated machined surface.

Современное развитие промышленности тесно связано с широким внедрением материалов, сочетающих в себе высокие технико-эксплуатационные характеристики, технологичность изготовления и низкую себестоимость производства. В машиностроении, энергетике и других отраслях промышленности создание новых перспективных материалов, в частности металлических слоистых композитов, является одним из приоритетных направлений.

Сварка металлов взрывом является уникальным методом создания композиционных материалов в силу того, что позволяет соединять практически любые металлы и сплавы, не соединяемые традиционными методами сварки.

Развитие технологии сварки взрывом может быть использовано в машиностроении при изготовлении цилиндрических биметаллических переходников и элементов других изделий. Обычно такие изделия изготавливались следующим способом. Толстую металлическую заготовку плакировали листами требуемого материала с помощью сварки взрывом, затем эту заготовку механически разделяли на элементы, из которых вытачивались цилиндрические двух- или многослойные детали с плакированным торцом. Такой способ изготовления цилиндрических биметаллических деталей с плоской торцевой плакировкой дает возможность получать требуемые изделия, но он экономически и технологически неэффективен.

Кроме того, торцевая поверхность биметаллической детали не обязательно должна быть плоской, она может быть и выпуклой, и, как в работе [1], вогнутой, а в этом случае требуется принципиально иной подход к решению поставленных задач.

Мы хотим предложить более эффективный метод изготовления цилиндрических изделий с плакированной торцевой поверхностью произвольной формы с помощью сварки взрывом. Достаточно легко такая задача решается для плоской и вогнутой торцевой поверхности. Мы рассмотрим более сложный случай – торцевая поверхность имеет форму полусферы или сферического сегмента.

Известно, что сварка взрывом есть процесс образования соединения двух металлических поверхностей в результате образования развитых пластических деформаций, возникающих при высокоскоростном косом соударении. Очень часто такие развитые пластические деформации реализуются в виде волн на границе соединения. При этом определяющими параметрами процесса являются скорость соударения  $V$ , угол соударения  $\gamma$  и скорость точки контакта  $V_k$ . При этом скорость точки контакта должна быть дозвуковой, так как пластические деформации не могут развиваться при скоростях движения границы соединения, превышающих скорость звука в свариваемых металлах. Скорость соударения должна быть достаточной для реализации давления соударения, превышающего динамический предел текучести. Что касается угла соударения, то при плоском ударе ( $\gamma = 0$ ) пластические деформации на границе соединения отсутствуют, соединение металлов не происходит. Для каждой пары металлов или сплавов существует область значений ( $\gamma, V_k$ ) при которых возможно получение сварного соединения.

При таких физических постановках решалась задача плакирования неплюсской торцевой поверхности металлической цилиндрической заготовки.

В работе [2] изучалось соударение плоской пластины с цилиндрической поверхностью. И хотя эта работа была посвящена определению границ волнообразования, из нее следовало, что в первый момент соударения пластины с цилиндрической поверхностью осуществляется плоский удар, при котором и волны и соединение отсутствуют. Для большинства металлов и сплавов наличие волн по границе соударения не является определяющим для образования прочного соединения, однако для сочетаний материалов, не дающих при своем взаимодействии интерметаллидов, волнообразование способствует повышению прочности соединения. Потому при плакировании стальной цилиндрической заготовки медью запуск процесса волнообразования сразу после соударения является желательным. В этой связи интересным является результат, описанный в работе [3], где процесс волнообразования запускали своеобразным уступом на поверхности неподвижной детали.

Перед нами стояла задача плакировать стальную цилиндрическую заготовку с полусферической торцевой поверхностью и при этом практически полностью исключить участок неспяра в вершине полусферы. На рис. 1

представлена схема эксперимента и соответствующие обозначения. Метаемая пластина устанавливалась под углом  $\alpha$ , таким, чтобы после подрыва заряда взрывчатого вещества она повернулась на угол, при котором она будет двигаться строго перпендикулярно оси цилиндра (рис. 2). В ходе предварительных экспериментов по плакированию цилиндрической заготовки с радиусом цилиндра  $r_{ц}$  и торцевой поверхностью в виде шарового сегмента радиуса  $R$  и высоты  $h$  должны выполняться условия  $2r_{ц} \leq R \leq 14r_{ц}$  и  $0,34r_{ц} \leq h \leq 0,3r_{ц}$ .

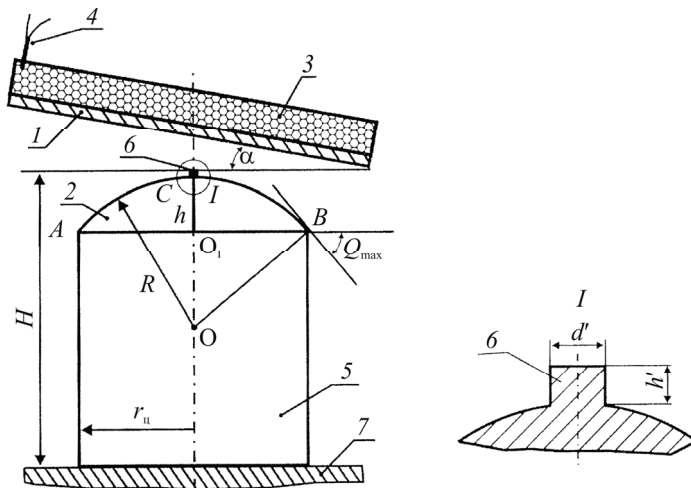


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – плакирующий лист; 2 – плакируемая поверхность; 3 – заряд взрывчатого вещества; 4 – детонатор; 5 – цилиндрическая заготовка; 6 – выступ; 7 – основание;  $\alpha$  – угол установки плакирующего листа

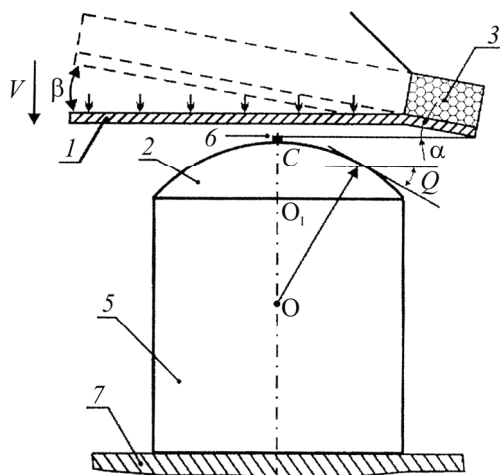


Рис. 2. Схема движения метаемой пластины после подрыва заряда

В работе [3] установлено, что «поскольку возникновение волн есть явление, имеющее локально неустойчивый характер», то волнообразование можно запустить искусственно, создав уступ на поверхности неподвижной заготовки высотой  $h'$  порядка амплитуды волн, возбуждаемых при данной толщине метаемой пластины и данных параметрах соударения. Из работы [3] следует, что длина волны  $\lambda$  определяется соотношением  $\lambda = 26\delta \sin^2 \gamma/2$ , где  $\delta$  – толщина метаемой пластины, при этом амплитуда волны порядка  $0,25\lambda$ .

Это положение было реализовано в наших исследованиях, когда на вершине шарового сегмента создавался выступ для запуска волнообразования с высотой  $h'$ , равной амплитуде волн и диаметром  $d'$ , равным половине длины волны, образующейся в первый момент соударения. Размеры уступа определялись по параметрам волн из экспериментов по сварке взрывом плоских листовых заготовок исследуемой пары металлов.

Свариваемая поверхность цилиндрической заготовки криволинейна, соответственно, угол  $\gamma$  ее встречи с метаемой пластиной изменяется на исследуемом сегменте от  $4^\circ$  до  $30^\circ$  (см. рис. 2). Этот диапазон изменения угла соударения находится в пределах, обеспечивающих качественное взрывное соединение.

Исследования микроструктуры границы соединения показало наличие сварки по всей криволинейной поверхности, при этом прочность соединения превышает прочность меди за счет упрочнения границы соединения как результат развитых пластических деформаций.

Следует отметить эффективность такой методики плакирования криволинейных торцевых поверхностей. На рис. 3 представлена схема одновременного плакирования нескольких цилиндрических заготовок.

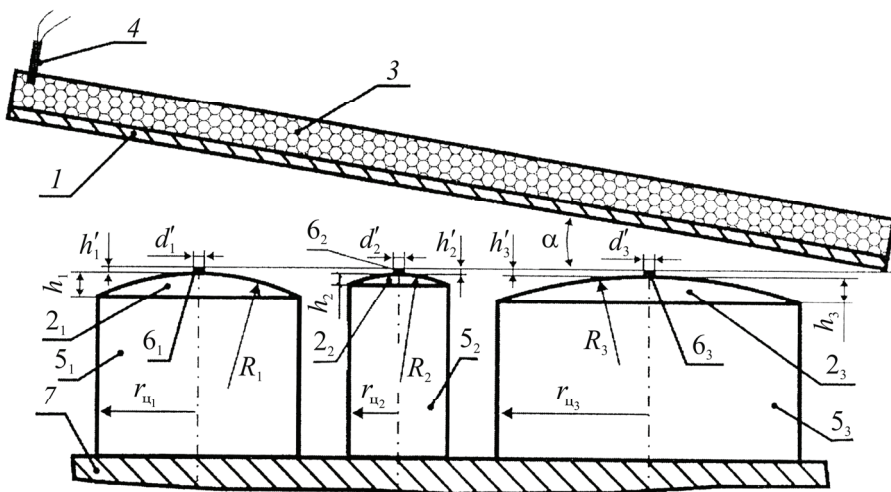


Рис. 3. Схема одновременного плакирования

Таким образом, с помощью сварки металлов взрывом возможно изготовление цилиндрических биметаллических переходных элементов не только с плоской и вогнутой цилиндрической поверхностью, но и с поверхностью, являющейся сферическим сегментом.

### **Список литературы**

1. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. Сварка взрывом. – М.: Машиностроение, 1987. – 216 с.
2. Bahrani A.S., Crossland B. Further experiments on explosive welding and cladding with particular reference to the strength of the bond. – London, 1966. – 16 p.
3. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1972. – 188 с.

Получено 04.03.2011