

УДК 621.791.13

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БИМЕТАЛЛОВ ЗА СЧЕТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ВЗРЫВОМ****В. В. Драгобецкий, В. Г. Загорянский**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: zagor\_vlad@ukr.net

Разработана математическая модель, связывающая параметры плакирования взрывом с параметрами пластической деформации плакирующего слоя, обеспечивающими оптимальные эксплуатационные свойства плакирующего слоя. Полученные на предлагаемых режимах плакирования взрывом слоистые металлические композиции с плакирующим слоем из сталей 45X и 30XГСА обладают более высокими эксплуатационными характеристиками по износостойкости (абразивному изнашиванию). Предложено использовать полученную модель для повышения эксплуатационных свойств плакирующего слоя износостойкого биметалла Ст3+65Г, получаемого плакированием взрывом. Успешно апробированы процессы плакирования взрывом приливов корпусов букс для железнодорожного транспорта из алюминиевых сплавов износостойкими стальными пластинами. Плакирование взрывом эффективно также для восстановления матриц для изготовления силикатного кирпича, упрочнения лопаток асфальтосмесителей и фрикционных планок.

**Ключевые слова:** плакирование взрывом, пластическая деформация, эксплуатационные характеристики, абразивное изнашивание.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІМЕТАЛІВ ЗА РАХУНОК ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ ПЛАКУВАННІ ВИБУХОМ****В. В. Драгобецький, В. Г. Загорянський**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: zagor\_vlad@ukr.net

Розроблено математичну модель, що зв'язує параметри плакування вибухом з параметрами пластичної деформації плакуючого шару та забезпечують оптимальні експлуатаційні властивості плакуючого шару. Отримані на запропонованих режимах плакування вибухом шаруваті металеві композиції з плакуючим шаром із сталей 45X і 30XГСА мають більш високі експлуатаційні характеристики за зносостійкістю (абразивним зношуванням). Запропоновано використовувати отриману модель для підвищення експлуатаційних властивостей плакуючого шару зносостійкого біметалу Ст3+65Г, одержуваного плакуванням вибухом. Успішно апробовані процеси плакування вибухом припливів корпусів букс для залізничного транспорту з алюмінієвих сплавів зносостійкими сталевими пластинами. Плакування вибухом ефективно також для відновлення матриць при виготовленні силікатної цегли, зміцнення лопаток асфальтозмішувачів і фрикційних планок.

**Ключові слова:** плакування вибухом; пластична деформація; експлуатаційні характеристики; абразивне зношування.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Тенденция к увеличению объемов выпуска и потребления биметаллической металлопродукции, несмотря на произошедший в последние годы некоторый спад, наблюдается в настоящее время в государствах постсоветского пространства, и, в первую очередь, в России и Украине [1].

Технология биметаллической металлопродукции, как свидетельствуют мировой опыт и отечественная практика, являющаяся одним из перспективных научно-технических направлений, предоставляет поистине неограниченные возможности повышения потребительских характеристик традиционной металлопродукции, и имеет большие возможности применения в перспективе.

Биметаллы, представляющие собой композицию из двух или более слоев разных металлов или сплавов, представляют собой особый класс конструкционных материалов с широким комплексом эксплуатационных и технологических характеристик.

Создание композиций с заранее заданными, подчас уникальными свойствами, а также экономное использование дефицитных и дорогостоящих металлов является основой практического применения биметаллов и перспектив их дальнейшего развития. Основой использования биметаллов является, таким

образом, сочетание в одном биметаллическом материале различных свойств, например, коррозионной стойкости и высокой механической прочности.

Качество биметаллов определяется интегральными показателями свойств основного и плакирующего слоя (слоев) – физико-механическими, технологическими, эксплуатационными и др.

Основным показателем качества биметалла является прочность соединения слоев и его сплошность. Технологии изготовления биметаллов обеспечивают надежное соединение слоев при последующем технологическом переделе и при эксплуатации изделий из биметаллов.

Пластическая деформация является основным процессом, определяющим образование прочного соединения при соединении металлов в твердом состоянии [2].

При этом оптимальные параметры пластической деформации позволяют сформировать как прочное соединение слоев в биметалле, так и обеспечить такие свойства плакирующего слоя, при которых будут получены, в зависимости от требований к плакирующему слою, его максимальная износостойкость или усталостная прочность.

Цель работы – разработка модели, связывающей зависимости для расчета предельной равномерной

деформации плакирующего слоя и оптимальные параметры процесса плакирования взрывом; экспериментальное подтверждение полученной модели на примере некоторых характерных биметаллов.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Известно, что существующие технологии производства и упрочнения элементов конструкций требуют корректировки и доработки, что позволяет решить комплекс научно-технических задач по повышению износостойкости, усталостной прочности, электропроводности и термической стойкости.

При плакировании взрывом металлы слоев биметалла характеризуются неоднородностью пластической деформации, структуры и механических свойств. Большая часть известных исследований (например, [3–5]) посвящена деформации металлов в зоне соединения.

К примеру, в исследованиях Ю.А. Конона с сотрудниками [6] приведено распределение напряжений и деформаций в плакированной взрывом композиции по всей ее толщине. Как установлено в работе [6], величина и распределение внутренних напряжений зависит от жесткости соединений и характеризуется глубиной прогрева материала и проникновения пластической деформации. Таким образом, наиболее изученными являются структура и прочностные свойства зоны соединения биметалла.

Свойствам поверхности плакирующего слоя, определяющим эксплуатационные характеристики биметалла, уделялось гораздо меньшее внимание.

Пластическая деформация плакирующего слоя предоставляет возможность повышения эксплуатационных характеристик получаемых биметаллов, то есть в процессе их получения не всегда в полной мере реализуются получаемые после обработки эксплуатационные свойства материала. Определяющим в каждом конкретном случае будет деформированное состояние плакирующего слоя и его предельные равномерные деформации.

Упрочнение взрывом под действием сверхвысоких давлений происходит в результате равномерной и мгновенной деформации металла с образованием множества дефектов упаковки кристаллов (дислокаций), сопровождающих скольжение.

Известно [7], что при оптимальной интенсивности деформации металла, равная предельной равномерной деформации  $\epsilon_r$ , упрочнение металла близко к предельному, сжимающие напряжения близки к максимальным, а микротрещины еще не получают опасной степени развития.

Следует ожидать, что при этих деформациях будут обеспечиваться высокие эксплуатационные характеристики металла плакирующего слоя.

В настоящее время установлено, теоретически и экспериментально подтверждено [7], что величина интенсивности деформаций, соответствующей предельной равномерной деформации, определяется из выражения:

$$\epsilon_i = \frac{245}{HD}, \quad (1)$$

где HD – пластическая твердость материала, определяемая по ГОСТ 18835–73.

Динамическая твердость  $HD_d$  связана с пластической твердостью HD следующей зависимостью

$$HD_d = HD \cdot \eta_{HD}, \quad (2)$$

где  $\eta_{HD}$  – динамический коэффициент (коэффициент динамичности).

Таким образом, для процессов импульсной обработки (в частности, взрывом) знаменатель выражения (1) следует умножить на коэффициент динамичности  $\eta_{HD}$ .

Зависимость между числом твердости по Бринеллю, МПа, и пластической твердостью HD, МПа, при  $HB \leq 4000$  МПа, может быть описана следующим соотношением [7]

$$HD = 0,469HB^{1,12}. \quad (3)$$

Коэффициент динамичности  $\eta_{HD}$  зависит от скорости удара и свойств материала полупространства.

Кинематическая схема соударения пластин при установившемся процессе плакирования взрывом по параллельной схеме показана на рис. 1 [9].

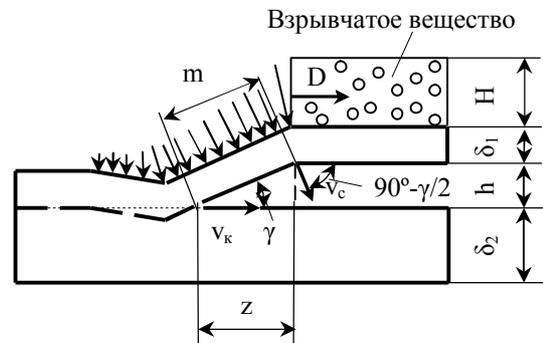


Рисунок 1 – Кинематическая схема соударения пластин при сварке взрывом [9]

Деформации в метаемой пластине возникают при ее двойном перегибе и при соударении с неподвижной пластиной.

Абсолютная деформация при растяжении элемента метаемой пластины

$$\Delta m = \frac{z}{\cos \gamma} - z, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – угол поворота метаемой пластины (угол соударения).

Относительная осевая деформация метаемой пластины

$$\epsilon = \frac{\Delta m}{z} = \frac{1}{\cos \gamma} - 1. \quad (5)$$

Логарифмические деформации растяжения, а затем сжатия в изгибаемом элементе метаемой пластины (рис. 1) определяются согласно [10] по зависимости

$$e = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = \ln(1 + \epsilon) = \ln \frac{1}{\cos \gamma}. \quad (6)$$

Интенсивность деформаций для плоского деформированного состояния

$$\epsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} (\epsilon_i + \epsilon_i - \epsilon_i)^{0,5} = 2\epsilon_i, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_2 = -\varepsilon_1$  – деформации по толщине метаемой пластины.

Угол поворота находим из выражения

$$\cos \gamma = \exp\left(-\frac{490}{HD \cdot \eta_{HD}}\right). \quad (8)$$

Этим значениям угла поворота соответствует диапазон значений скорости точки контакта в пределах области  $\gamma - V_k$ :

- для  $\gamma = 23^\circ$ ;  $1250 \text{ м/с} < V_k < 2000 \text{ м/с}$ ;
- для  $\gamma = 14^\circ$ ;  $1200 \text{ м/с} < V_k < 2400 \text{ м/с}$ ;
- для  $\gamma = 11^\circ$ ;  $1800 \text{ м/с} < V_k < 3200 \text{ м/с}$ .

Расчетные значения угла поворота для разных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные значения угла поворота плакирующей пластины при плакировании взрывом

№ п/п	Материал	HV, МПа	HD, МПа	$\eta_{HD}$	$\gamma, ^\circ$
1	45X	2100	2530	2,94	23
2	30ХГСА	2160	4710	2,31	11
3	Медь М2Р	450	490	2,9	14

Для определения значения скорости контакта следует учесть то, что при соударении элемента метаемой пластины с неподвижной возникают напряжения сжатия в свариваемых металлах. Деформации сжатия в поверхностном плакирующем слое также должны равняться предельным равномерным. Установлено, что при ударно-волновом нагружении деформации, возникающие в соударяемых телах, зависят от скорости соударения.

В условиях линейного сжатия уравнение равновесия соударения имеет вид:

$$\rho \frac{d \dot{X}_1}{dt} = \frac{d\sigma}{dX_1}, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность метаемой (плакирующей) пластины;  $X_1$  – координата нормали к плоскости соударения;  $\sigma$  – напряжение сжатия.

Учитывая, что  $\frac{d \dot{X}_1}{dt} = \dot{X}_1$  и  $\sigma = \sigma_S^m \cdot \varepsilon^m \cdot \varepsilon^n$ , где  $m, n$  – показатели упрочнения. скоростного и деформационного, уравнение приводится к виду:

$$\rho \dot{X}_1 d \dot{X}_1 = \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} d \varepsilon. \quad (10)$$

Так как при потере устойчивости  $\frac{d \varepsilon}{d \varepsilon}$ , то уравнение приводится к виду:

$$\rho \dot{X}_1 d \dot{X}_1 = \sigma_S^m \cdot \varepsilon^m \cdot \varepsilon^{n-1} \cdot d \varepsilon. \quad (11)$$

Выразим  $\varepsilon = X_1 / \delta$ , где  $\delta$  – толщина плакирующей пластины, и, приняв нулевые граничные и начальные условия, получим:

$$\dot{X}_1 = \left[ \frac{(2-m) \sigma_S^m \cdot \varepsilon^n}{\rho \delta^m} \right]^{\frac{1}{2-m}} \quad (12)$$

По значению скорости нормального соударения определяем скорость контакта для параллельной схемы сварки взрывом по зависимости [6]

$$V_k = \frac{\dot{X}_1 \cos 0,5\gamma}{\sin \gamma}. \quad (13)$$

Значения скорости контакта приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Расчетные значения скорости точки контакта

№ п/п	Материал	$\varepsilon_i$	$\dot{X}_1, \text{ м/с}$	$V_k, \text{ м/с}$
1	45X	0,0185	840	4382
2	30ХГСА	0,033	860	2157
3	Медь М2Р	0,0862	620	2544

Если плакирующая пластина неподвижна и предел её текучести превосходит предел текучести основного металла, то в этом случае плакирующая (рабочая) поверхность не упрочняется, либо упрочняется незначительно. При этом при больших толщинах плакирующего слоя на его поверхности образуются не сжимающие, а растягивающие напряжения.

Образцы из композиций Ст3+30ХГСА, Ст3+45X, полученные на различных режимах сварки взрывом, испытывались на абразивное изнашивание плакирующего слоя 45X, 30ХГСА.

Абразивное изнашивание плакирующего слоя оценивали по ГОСТ 17367–71 "Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы".

В соответствии с ГОСТ 17367–71, данный метод предусматривает трение испытуемого и эталонного образцов о поверхность с закрепленными на ней абразивными частицами (абразивную шкурку) при статической нагрузке и отсутствии нагрева. Полученные значения абсолютного линейного износа эталонного и испытуемого образцов позволяют определить относительную износостойкость ( $\varepsilon$ ) испытуемого материала (в данном случае материала плакирующего слоя полученных сваркой взрывом образцов).

Испытания проводились с использованием машины трения Х4–Б. Машина трения Х4–Б предназначена для исследования изнашивания материалов закрепленным абразивом при схеме контакта пальчиковый образец – торец диска. Абразивная шкурка закрепляется на торце вращающегося диска, пальчиковый образец прижимается к поверхности диска грузом.

В качестве материала эталонного образца было принято из-за твердости плакирующего слоя выше HV 150 железо технически чистое в отожженном состоянии.

Применялась кремневая шлифовальная шкурка по ГОСТ 5009–82 «Шкурка шлифовальная тканевая. Технические условия» зернистости абразивного ма-

териала № 6 по ГОСТ 3647–80 «Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля».

Для испытаний применялись гладкие цилиндрические образцы диаметром  $2 \pm 0,1$  мм и длиной 15...20 мм, проведение испытаний и подсчет результатов измерений проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 17367-71.

Максимальная относительная износостойкость лакирующего слоя из сталей 45Х и 30ХГСА равнялась 1,70...1,73 и была достигнута при  $\gamma$  и  $V_k$ , равным приведенным в табл. 1 и 2.

При  $\gamma$  и  $V_k$  в пределах области сварки взрывом, но не соответствующих расчетным по зависимостям (6)–(11), абразивная износостойкость лежит в пределах 1,56...1,62.

Параметры сварки взрывом рассчитываются по предложенным аналитическим зависимостям с применением уточненной методики, описанной в [11].

В целом, предлагаемая уточненная методика включает расчет угла поворота по зависимости (8) и определение скорости точки контакта  $V_k$  по зависимости (13).

Можно также определить параметр сварки (коэффициент нагрузки)  $r$  (отношение массы взрывчатого вещества к массе метаемой пластины) по зависимости [6]:

$$r = \frac{H\rho_{BB}}{\rho_1\delta_1}, \quad (14)$$

где  $H$ ,  $\rho_{BB}$  – высота и плотность заряда взрывчатого вещества;  $\rho_1$ ,  $\delta_1$  – плотность и толщина метаемой пластины. После этого по величине  $r$  находится высота заряда взрывчатого вещества.

Известно [12], что при производстве износостойких биметаллов в качестве основного слоя обычно применяют углеродистую сталь, а в качестве лакирующего слоя применяют высокоуглеродистые инструментальные стали, содержащие 0,60...1,30 % углерода, а также износостойкие инструментальные и карбидные стали типа Р18, Р9, Р6М5, 6ХС, 85ХФ, 9Х5ВФ, 65Г, Х12М и др.

Таким образом, на основании вышеизложенного, можно утверждать, что полученные результаты (модель, технология и изменение эксплуатационных свойств) применимы также для получаемого сваркой взрывом износостойкого биметалла Ст3+65Г, который может использоваться для изготовления деталей сельскохозяйственного, угольного, транспортного и автотракторного машиностроения, для которых очень важно обеспечение необходимой прочности и высокое сопротивление абразивному износу (износостойкость).

Технология получения экструзией корпусов букс железнодорожных вагонов из алюминиевых сплавов, имеющих повышенную коррозионную стойкость, позволяет исключить затраты на антикоррозионную обработку и сократить ремонты из-за коррозии, снижает массу ходовых частей вагонов на 20–30 %.

Возникает задача для корпуса буксы, изготовленного из алюминиевого сплава, для получения лучших антифрикционных свойств получить по-

верхности, контактирующие со стальными поверхностями сопрягаемых деталей, также из стали.

Плакирование взрывом по сравнению с другими известными способами нанесения стальных покрытий на рабочие поверхности алюминиевых деталей обеспечивает прочное соединение металлов по всей поверхности, сохранение структурных характеристик лакируемого металла вследствие полного отсутствия теплового воздействия на него, получение покрытий повышенной износостойкости, обусловленной процессами упрочнения свариваемых материалов в зоне контакта, причем износостойкость растет в глубину покрытия.

Плакирование взрывом затруднено из-за малой площади свариваемых поверхностей; длина прилива укладывается в область устойчивого режима плакирования, но ширина (40 мм) недостаточна. Корпус буксы содержит два прилива, расстояние между которыми 150 мм. Это расстояние воздушная ударная волна проходит примерно за  $4,5 \cdot 10^{-4}$  с. Поэтому при одновременном плакировании двух приливов синхронизация подрыва двух зарядов должна находиться в пределах  $(1,5...2) \cdot 10^{-4}$  с. Кроме того, происходит деформация корпуса буксы и распространение волновых возмущений по металлу при ударно-волновом нагружении.

Стальные пластины предварительно плакировались алюминием марок АД1, АД1–0 или Д1. Толщина слоя алюминия была подобрана из условий минимального выдавливания металла на кромках и последующим сведением к минимуму параметра сварки  $r$  (отношение массы взрывчатого вещества к массе привариваемой пластины). Это практически исключило краевые непровары. Для устранения непроваров в начальной зоне процесса, связанного с отсутствием косоугольного соударения в этой зоне и очистки свариваемых поверхностей, применяли схему сварки взрывом с отгибом угла пластины [5]. Биметалл сталь-алюминий (2000×40×4...2 мм) приваривали к приливам корпусов букс.

Приведенные выше аналитические зависимости и методика расчета параметров плакирования взрывом были применены для технологической подготовки производства опытной партии корпусов букс с приливами, оснащенными плакированными взрывом стальными пластинами (рис. 2).

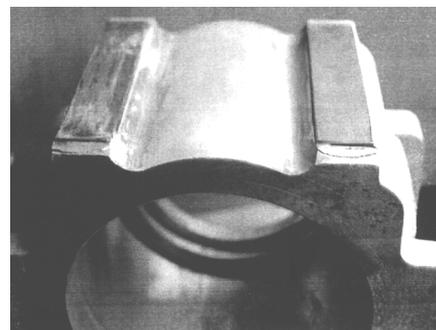


Рисунок 2 – Корпус буксы с приваренными взрывом стальными пластинами

Режимы сварки подбирали из условий обеспечения требуемой прочности сварного соединения и

минимальной деформации приливов и корпуса буксы в целом, т.е. параметр сварки  $r = 0,6$  и скорость соударения 500...600 м/с подбирали минимальными.

Были установлены следующие параметры сварки взрывом: скорость детонации  $D = 2200$  м/с; высота заряда  $H = 35$  мм; сварочный зазор  $h = 3\delta$ , где  $\delta$  – толщина плакируемой пластины.

При динамическом нагружении заготовок корпусов, полученных выдавливанием, деформации не наблюдалось. У обработанных заготовок возникла эллипсность внутреннего отверстия. Поэтому при взрывном плакировании готовых изделий необходимо было использовать разжимные оправки, препятствующие деформации корпуса.

Опытная партия букс была изготовлена с использованием плакирования взрывом и была направлена на эксплуатационные испытания. Образцы, принятые для испытания биметаллических соединений показаны на рис. 3.



Рисунок 3 – Образцы для испытания биметаллических соединений

Полученные сварные соединения подвергали стандартным испытаниям на отрыв и срез. Разрыв образцов, вырезанных по всей поверхности сварного шва, происходил по менее прочному материалу, что свидетельствует о высоком качестве сварного соединения.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно утверждать, что полученные результаты (модель, технология и изменение эксплуатационных свойств) применимы также для получаемого плакирования взрывом биметалла сталь+алюминий, который может использоваться для изготовления деталей транспортного машиностроения, для которых важны высокая износостойкость и антифрикционные свойства в сопряжении.

Была проведена оценка применимости взрывного упрочнения деталей из углеродистых сталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа. Технология апробировалась на деталях, изготовленных из стали 3, стали 45 и стали, содержащей 0,17...0,19 % С, 1 % Cr, 1 % Mn.

Более эффективное упрочнение, за счет высокой концентрации дефектов, в том числе точечных и дислокаций, ударными волнами [12] сталей с содержанием углерода менее 0,45 %, имеющими структуру зернистого перлита, использовалось при восстановлении матриц для изготовления силикатного кирпича. Матрицы изготавливались из низкоуглеродистой стали и подвергались цементации до твердости HRC 60. После интенсивного и неравномерного износа твердость изношенной поверхности

практически не изменяется. Перед восстановлением необходимо снизить твердость, как минимум до HRC 40. Применялся отжиг на зернистый перлит.

Наиболее эффективным методом восстановления деталей, работающих в условиях абразивного износа, обеспечивающим исходную твердость и не дающим пористости, является взрывное плакирование пластинами толщиной 1,5–2 мм с последующей механической обработкой до необходимых размеров и цементацией. Образование дефектной структуры после сварки взрывом приводит к ускорению диффузионных процессов и позволяет достигнуть исходной глубины цементированного слоя 1,2–2 мм при сокращении продолжительности процесса с 14–18 часов до 8–10 часов.

Восстановление элементов матриц для изготовления силикатного кирпича из углеродистых сталей 10, 15 не вызывает особых трудностей. Для устойчивого образования соединения в краевых зонах использовали схему с боковым нависанием.

Восстановление элементов матриц зарубежного производства из стали с содержанием углерода 0,19 %, 1 % Cr, 1 % Mn затруднено склонностью стали к растрескиванию при динамическом нагружении. Перед обработкой следует проводить отжиг. Изношенный элемент матрицы перед взрывным плакированием необходимо помещать в обойму из откольных элементов. Процесс взрывного плакирования следует проводить на предельных режимах. Параметр сварки  $r = 0,5...0,7$ ; зазор между пластинами  $h = 0,5\delta$ .

Также были опробовано плакирование взрывом низкоуглеродистых сталей типа Ст3 износостойкими сталями 60, 70 для упрочнения лопаток асфальтосмесителей и фрикционных планок. Несмотря на малые габариты деталей, удалось получить прочное сцепление слоев путем использования комплекса технологических мероприятий, однако стоимость процесса получения биметаллической износостойкой композиции сопоставима со стоимостью монолита.

**ВЫВОДЫ.** Получена модель, связывающая параметры процесса при сварке взрывом и соответствующие предельные равномерные деформации плакирующего слоя.

Полученные на предлагаемых режимах сварки взрывом слоистые металлические композиции с плакирующим слоем из сталей 45Х и 30ХГСА обладают более высокими эксплуатационными характеристиками по износостойкости (абразивному изнашиванию).

Процессы плакирования взрывом приливов корпусов букс для железнодорожного транспорта из алюминиевых сплавов износостойкими стальными пластинами успешно апробированы.

Установлено, что данная технология приваривания износостойких прокладок не вызывает дефектов. Данный способ повышает срок службы деталей железнодорожного транспорта.

Плакирование взрывом эффективно также для восстановления матриц для изготовления силикатного кирпича, упрочнения лопаток асфальтосмесителей и фрикционных планок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Быков А.А. Развитие производства биметаллов // *Металлург.* – 2009. – Част. 1, № 8. – С. 70–75.
2. Биметаллы / Л.Н. Дмитриев, Е.В. Кузнецов, А.Г. Кобелев и др. – Пермь: Пермское книжное изд., 1991. – 415 с.
3. Высокоскоростная деформация металлов / В.И. Беляев, В.Н. Ковалевский, Г.В. Смирнов и др. – Мн.: Наука, 1986. – 224 с.
4. Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом. – Мн.: Наука и техника, 1990. – 205 с.
5. Крупин А.В., Соловьев В.Я., Попов Г.С., Крестев М.Р. Обработка металлов взрывом. – М.: Металлургия, 1991. – 494 с.
6. Сварка взрывом / Ю.А. Конон, Л.Б. Первухин, А.Д. Чудновский. – М.: Машиностроение, 1987. – 206 с.
7. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М.С. Дрозд, М.М. Матлин,

- Ю.И. Сидякин. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
8. Седых В.С. Классификация, оценка и связь основных параметров сварки взрывом // *Сварка взрывом и свойства сварных соединений: сбор. науч. трудов ВПИ.* – Волгоград: ВПИ, 1985. – С. 3–30.
9. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
10. Расчет режимов сварки взрывом слоистой медно-алюминиевой композиции / В.В. Драгобetsкий, В.Г. Загорянский, В.Е. Загоряк // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* – Луганськ: СНУ імені Володимира Даля, 2012. – Част. 1, № 13 (184). – С. 60–69.
11. Быков А.А. Развитие производства биметаллов // *Металлург.* – 2009. – Част. 2, № 9. – С. 61–64.
12. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1980. – 220 с.

## INCREASE OF OPERATIONAL PROPERTIES OF BIMETAL BY PLASTIC DEFORMATION IN CLADDING EXPLOSION

V. Dragobetsky, V. Zagoryansky

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: zagor\_vlad@ukr.net

A mathematical model that relates the parameters of explosion clad with parameters plastic deformation of the cladding layer, ensuring optimal performance of the plastic layer. Received on the proposed layered explosion cladding modes metal composition with a plating layer of steel and 45H 30KhGSA have higher performance characterized by wear (abrasion). It is proposed to use the resulting model to improve performance properties of the cladding layer of wear-resistant bimetal ST3 + 65G, receives direct-cladding explosion. Successfully tested processes blast tide clad buildings axle boxes for railway transport of aluminum alloy wear-resistant steel plates. Cladding explosion is also effective to restore matrices for the production of sand-lime brick, hardening bituminous mixing blades and friction strips.

**Key words:** explosion cladding; plastic deformation; performance; abrasion.

## REFERENCES

1. Bykov, A.A. (2009), "Development of bimetal production. Part 1", *Metallurg*, vol. 8, pp. 70–75.
2. Dmitrov, L.N., Kuznetsov, E.V., Kobleev, A.F. and others (1991), *Bimetally* [Bimetals], Permское knizhnoe izd., Perm, USSR.
3. Belyaev, V.I., Kovalevskiy, V.N., Smirnov, G.V. and others (1976), *Vysokoskorostnaya deformatsiya metallov* [High-speed deformation of metals], Nauka, Minsk, USSR.
4. Zaharenko, I.D. (1990), *Svarka metallov vzryvom* [Explosion welding of metals], Nauka i tehnika, Minsk, USSR.
5. Krupin, A.V., Solov'ev, V.Ya., Popov, G.S., Kr'stev, M.R. (1991), *Obrabotka metallov vzryvom* [Explosion treatment of metals], Metallurgiya, Moscow, USSR.
6. Konon, Ya.A., Pervuhin, L.B., Chudnovskiy, A.D. (1987), *Svarka vzryvom* [Explosion welding], Mashinostroenie, Moscow, USSR.
7. Drozd, M.S., Matlin, M.M., Sidiyakin, Yu.I.

(1986), *Inzhenernye raschety uprugoplasticheskoy deformatsii* [Engineering calculations elastoplastic deformation of the contact], Mashinostroenie, Moscow, USSR.

8. Sedyh, V.S. (1977), "Classification, evaluation and communication of the basic parameters of explosion welding", *Svarka vzryvom i svoystva svarynykh soedinenij*, VPI, Volgograd, USSR.

9. Storozhev, M.V., Popov, E.A. (1977) *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of Metal Forming], Mashinostroenie, Moscow, USSR.

10. Dragobetskiy, V.V., Zagoryanskiy, V.G., Zagornyak, V.E. (2012), "Calculation of welding explosion of layered copper-aluminum composition", *Visnyk VPU imeni Volodymyra Dala*, vol. 13 (184), pp. 60–69.

11. Bykov, A.A. (2009), "Development of bimetal production. Part 2", *Metallurg*, vol. 9, pp. 61–64.

12. Deribas, A.A. (1980) *Fizika uprochneniya i svarki vzryvom* [Physics of hardening and explosion welding], Nauka, Novosibirsk, USSR.

Стаття надійшла 29.01.2015.