



## УСТРАНЕНИЕ МЕСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТИПА «БУХТИНА» ПУТЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Л. М. ЛОБАНОВ, Н. А. ПАЩИН, О. Л. МИХОДУЙ, Т. Г. СОЛОМИЙЧУК

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В результате неравномерного нагрева судокорпусных конструкций при сварке продольно-поперечного силового набора возникают остаточные местные деформации (бухтины) в виде чередующихся выпучин и вмятин на смежных участках полотнища. Они негативно влияют не только на эксплуатационные характеристики и внешний вид конструкции, но и на гидродинамические характеристики судов, понижая их скорость до 10 %. Традиционные методы устранения бухтин такие, как тепловая и холодная правки, имеют ряд недостатков (шум, вибрация, значительный расход энергоносителей). Актуальной представляется разработка новых методов правки бухтин, основанных на минимальном энергопотреблении одним из которых является электродинамическая обработка. Целью настоящей работы является изучение влияния электродинамической обработки на снижение местных деформаций типа бухтина в сварных соединениях из алюминиевых сплавов и низкоуглеродистых сталей. Используются квадратные образцы тавровых сварных соединений из сплава АМгб и низкоуглеродистой стали Ст3, на которых моделировали образование бухтины с различными знаком и величиной прогиба. Режим обработки соответствовал запасенной энергии накопителя, не превышающей 800 Дж. Исследовано влияние распределения электродинамических воздействий таких, как точечные, круговые и спиральные, по поверхности образцов на формоизменение бухтин. Наименее эффективна точечная схема, а круговая и спиральная по эффективности сопоставимы. Сравнительный анализ показал, что энергетические затраты при электродинамической обработке значительно ниже, чем при традиционных методах правки. Библиогр. 10, табл. 1, рис. 7.

*Ключевые слова:* местные деформации, бухтина, низкоуглеродистая сталь, алюминиевый сплав, электродинамическая обработка, схема обработки, энергия импульса, традиционные методы правки

При сварке продольно-поперечного силового набора в результате неравномерного нагрева судокорпусных конструкций возникают остаточные местные сварочные деформации коробления (бухтины) в виде чередующихся выпучин и вмятин на смежных участках полотнища. Они имеют знакопеременный характер и направлены как в сторону набора, так и в противоположную. Известно [1], что бухтиноватость конструкции возникает вследствие потери устойчивости полотнища между набором под действием напряжений сжатия и негативно влияет на работоспособность, эксплуатационные характеристики и внешний вид конструкции, а также гидродинамические характеристики судов, понижая их скорость до 10 % [1]. При этом многие тонколистовые сварные корпусные конструкции проектируются с таким сочетанием элементов, при которых неизбежно возникновение бухтин выше допустимого уровня. Основным способом снижения деформаций таких конструкций является правка [2].

В судостроении наибольшее распространение получила правка бухтин местным нагревом с динамическим воздействием, что связано с применением тяжелого физического труда, высоким уровнем шума (120...140 дБ) и вибрацией конструкций. Учитывая, что правка в основном осуществляется на завершающей стадии сварочных

работ на стапеле, когда на монтаже и достройке занято большое количество производственного персонала, это создает тяжелые условия труда, приводит к удлинению цикла достройки, а в отдельных случаях к недопустимым повреждениям обрабатываемой поверхности.

Применение тепловой правки исключает шум и вибрацию, но связано с негативным термическим воздействием на производственный персонал, значительным перерасходом теплообразующих газовых смесей при теплоотводе в окружающую среду, технологическую оснастку. Кроме того, использование тепла при правке конструкций из алюминиевых сплавов в ряде случаев недостаточно эффективно из-за их высокой теплопроводности. Приведенные недостатки присущи и для тепловой правки «холостыми» валиками с использованием нагрева сварочной дугой.

Применение перечисленных методов правки сопряжено с достаточно заметными повреждениями поверхности сварных конструкций, обусловленными динамическим воздействием механического инструмента, а также термомеханическими циклами вследствие сварочного нагрева.

Использование холодной правки с растяжными стендами для устранения бухтин ограничено как геометрическими особенностями данного вида

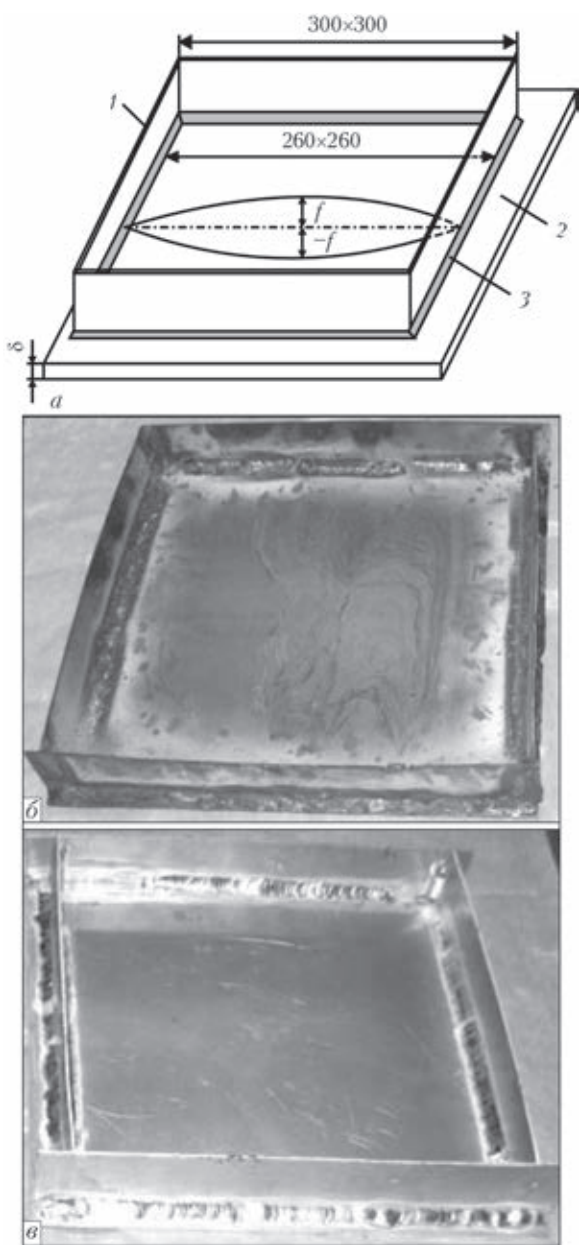


Рис. 1. Схема образцов сварных соединений с деформацией типа бухтина (а) (1 — ребро; 2 — пластина; 3 — угловой шов) и внешний вид образцов соответственно из стали Ст3 (б) и сплава АМг6 (в)

формоизменений, к которым относятся их локализация, значительные габариты конструкций, так и высокой стоимостью оборудования.

Поэтому разработка новых прогрессивных методов правки бухтин, основанных на минимальном энергопотреблении и обеспечивающих минимальную повреждаемость обрабатываемой поверхности, является достаточно актуальной. К ним относится обработка конструкций импульсными электрическими и магнитными полями [3–6], разновидностью которой является электродинамическая обработка (ЭДО).

Ранее нами проведены исследования влияния ЭДО на регулирование остаточного продольного и поперечного коробления стыковых сварных со-

единений из алюминиевых сплавов и конструкционных сталей [7]. Результаты работ подтвердили перспективность применения ЭДО для снижения таких видов коробления.

Целью настоящей работы является изучение влияния ЭДО на снижение местных деформаций типа бухтина в сварных соединениях из алюминиевых сплавов и низкоуглеродистых сталей, применяемых в судостроении.

Для исследования нами использованы образцы с тавровыми сварными соединениями из алюминиевого сплава АМг6 и низкоуглеродистой стали Ст3, на которых моделировали образование бухтины с прогибом  $f$  (рис. 1). Они представляли собой пластину, к которой угловыми швами приваривали четыре ребра. Размеры пластин и ребер представлены на рис. 1, а. Исследовали формоизменения образцов из сплава АМг6 с равной толщиной  $\delta$  пластины и ребер двух типоразмеров, соответствующих  $\delta = 2,0$  и  $4,0$  мм, и одного типоразмера стали Ст3 ( $\delta = 2,0$  мм). При этом прогиб пластины  $f$  в направлении к ребрам принимали со знаком «+», а в направлении от ребер — со знаком «-». В образцах из сплава АМг6 ( $\delta = 4,0$  мм) прогиб задавали как в направлении к ребрам, так и от ребер, а в образцах из сплава АМг6 и стали Ст3 ( $\delta = 2,0$  мм) — лишь в направлении к ребрам.

На основании [8], где приведены параметрические характеристики импульсов давления при электродинамических воздействиях, а также данных [9], где показано, что металл на внешней поверхности контакта с электродом подвержен сжатию в радиальном направлении в плоскости листа, можно заключить, что применение ЭДО целесообразно в зонах максимальной кривизны бухтины, а направление приложения электродинамического воздействия следует выбирать в сторону уменьшения  $f$ .

Угловые швы образцов из сплава АМг6 выполняли способом ручной сварки ТИГ в среде аргона при токе 130 А и скорости 1,3 мм/с с использованием присадочного прутка марки СвАМг6 диаметром 3,0 мм. С помощью различных сочетаний наложения валиков обеспечивали геометрические характеристики формообразования бухтины, соответствующие различным знакам  $f$ . Соединения образцов из стали Ст3 выполняли ручной сваркой покрытым электродом марки «Монолит РЦ» диаметром 3,0 мм при токе 120 А и скорости 1,5 мм/с.

ЭДО (рис. 2) выполняли с помощью плоского индуктора, укомплектованного электродом из меди марки М1, с полусферическим рабочим торцом, а в качестве генератора импульсов использовали емкостной накопитель энергии [6]. Режим ЭДО соответствовал запасенной энергии емкостного накопителя  $E_{к1}$ , необходимой для реализации оди-

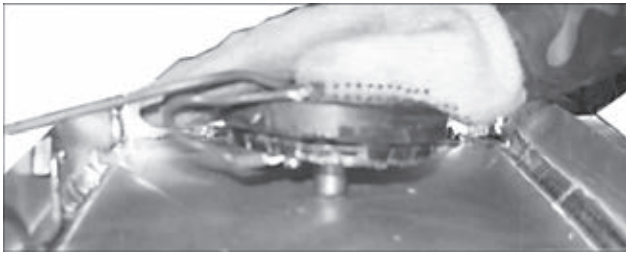


Рис. 2. ЭДО образцов с бухтиной из сплава АМг6 ( $\delta = 2,0$  мм) ночного электродинамического воздействия ( $n = 1$ ), не превышающей 800 Дж. Значение запасенной энергии  $E_{\text{эдо}}$ , необходимое для реализации серии из  $n$  электродинамических воздействий, рассчитывали из выражения

$$E_{\text{эдо}} = E_{\text{к1}} \cdot n. \quad (1)$$

Расстояние между зонами электродинамических воздействий изменяли от 10 (для стали Ст3) до 30 мм (для сплава АМг6), что обеспечивало стабильные результаты правки по длине обрабатываемого участка поверхности образца.

Исследовали влияние различных схем распределения электродинамических воздействий по поверхности образцов на формоизменение бухтин. Прогибы  $f$  в поперечном сечении образцов контролировали по стандартной методике с использованием строганой линейки и штангенциркуля. На образцах из сплава АМг6 толщиной 4,0 мм исследовали три схемы ЭДО поверхности образцов: точечную, круговую и спиральную в направлении от центра к краям.

Точечную ЭДО реализовывали посредством приложения серии из пяти электродинамических воздействий ( $n = 5$ ) в центре пластины, где начальная бухтина имела характерную форму прогиба с максимальным начальным значением  $f_{\text{max}} = -5$  мм (рис. 3, кривая 1) в направлении от ребер. Формоизменения бухтины в образце представлены на рис. 3, где зона ЭДО соответствует координате  $x = 110$  мм на оси абсцисс. Как видим, максимальная эффективность ЭДО имеет место при  $n = 1$ , что соответствует  $f = -4,0$  мм (рис. 3, кривая 2), и монотонно понижается до  $f = -2,0$  мм при  $n = 5$  (рис. 3, кривые 3–5). При  $n = 3 \dots 5$  имеет место изменение характерной формы прогиба, что сопровождается снижением значений  $f$  в зоне обработки и их повышением за зоной, на участках, соответствующих координатам  $x = 75$  и  $125$  мм. Это можно объяснить на основании теории нормального контакта неупругих тел [9] для случая взаимодействия полусферического индентора (в нашем случае — электрода) с упругопластической средой, где показано, что при контактных взаимодействиях деформируемый материал вытесняется индентором на свободную поверхность за зоной контакта. При этом имеет место пластическое течение вытесненного материала по краям

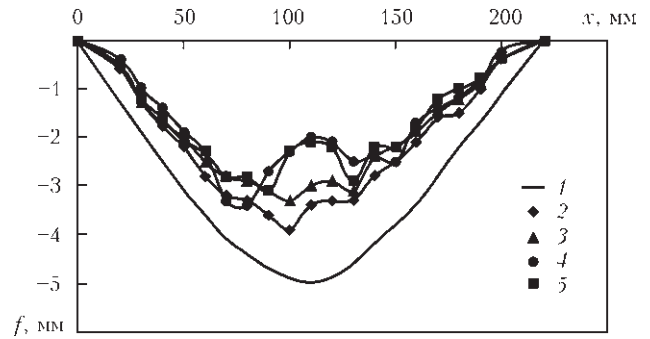


Рис. 3. Формоизменения бухтины  $f$  в образце из сплава АМг6 ( $\delta = 4,0$  мм) после ЭДО центра пластины: 1 — начальные значения  $f_{\text{max}}$ ; 2 —  $f$  после ЭДО при  $n = 1$ ; 3 —  $f$  при  $n = 2$ ; 4 —  $f$  при  $n = 3$ ; 5 —  $f$  при  $n = 4$  и 5

индентора. В цикле ЭДО, соответствующем  $n > 3$ , имеет место данный механизм, что характеризуется вытеснением металла за зону обработки и локальным искривлением поверхности бухтины на участках, соответствующих координатам  $x = 75$  и  $125$  мм (рис. 3). Повторное пластическое течение в зоне контакта электрода, наблюдаемое при  $n = 4 \dots 5$ , происходит в условиях стесненной деформации и его влияние на профиль поверхности незначительное, что видно из подобия кривых 4, 5 на рис. 3. Кроме того, в [10] показано, что при ЭДО сплава АМг6 имеет место существенное увеличение значения  $\sigma_{0,2}$ , и взаимодействие бухтины с электродом при циклах обработки, соответствующих  $n > 3$ , переходит в упругую стадию без существенных остаточных формоизменений. Таким образом, схема локального многократного приложения электродинамических воздействий на фиксированном участке поверхности образца позволяет снижать исходные значения  $f$  не более чем на 60 %. Это не является эффективной схемой ЭДО, так как согласно нормам на местные деформации, например ОСТ 5.9079–72, допускаемые значения  $f$  должны соответствовать условию

$$f = a/80, \quad (2)$$

где  $a$  — размер шпации (расстояние между ребрами).

Для рассматриваемых в работе образцов допускаемое значение  $f$  не должно превышать 3,75 мм, что является близким к кривой 5 на рис. 3 и предельно возможным для точечной ЭДО. Преимуществом данной схемы является минимальное (по сравнению с другими схемами) количество запасенной энергии  $E_{\text{эдо}}$  емкостного накопителя, необходимое для осуществления формоизменения, показанного на рис. 3, которое согласно (1) при  $n = 5$  не превышает 4000 Дж.

Круговую схему ЭДО реализовывали посредством приложения трех серий электродинамических воздействий в форме концентрических окружностей с различным радиусом  $R$  на поверхности образца (рис. 4, а) с начальной бухтиной,

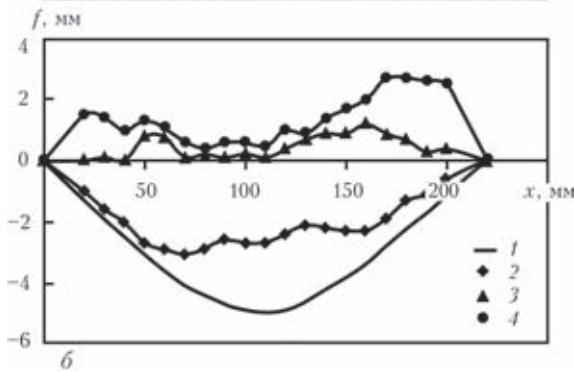
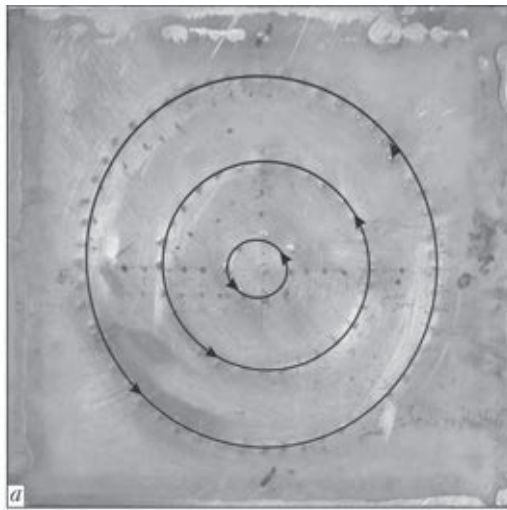


Рис. 4. Внешний вид (а) и формоизменения бухтины  $f$  (б) в образце из сплава АМг6 ( $\delta = 4,0$  мм) после круговой ЭДО при изменении радиуса  $R$ : 1 — начальные значения  $f_{\max}$ ; 2 —  $f$  после ЭДО при  $R = 15$  мм; 3 —  $f$  при  $R = 50$  мм; 4 —  $f$  при  $R = 90$  мм

форма и значение  $f_{\max}$  (рис. 4, б, кривая 1) которой были аналогичны рассмотренной на рис. 3. Значения  $R$  были равны 15, 50 и 90 мм, а значения  $n$  и  $E_{\text{эдо}}$  (согласно (1)) для ЭДО заданных окружностей составляли соответственно 8; 30; 55 и  $6,4 \cdot 10^2$ ;  $2,4 \cdot 10^4$ ;  $4,4 \cdot 10^4$  Дж.

Как видно из рис. 4, б, значения  $f$  монотонно понижаются с увеличением  $R$ , что сопровождается изменением знака прогиба и постепенным изменением его формы от характерной до волнообразной. При  $R = 15$  мм значения  $f$  (рис. 4, б, кривая 2) и формоизменения бухтины близки показанным на рис. 3 для точечной ЭДО при  $n = 1 \dots 3$ , что объясняется малым значением  $R$ . При увеличении  $R$  до 50 мм (рис. 4, б, кривая 3), что соответствует центральной области пластины, форма прогиба близка волнообразной при изменении знака, а значение  $f$  достигает 1 мм. ЭДО при  $R = 90$  мм (рис. 4, б, кривая 4) проводили для изучения возможности устранения бухтин, значения  $f_{\max}$  которых превышают показанные на рис. 4, б. Использование схемы концентрических окружностей при дискретном возрастании значения  $R$  практически полностью позволяет устранить

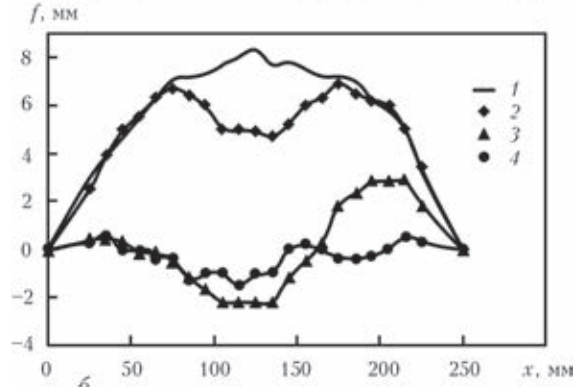
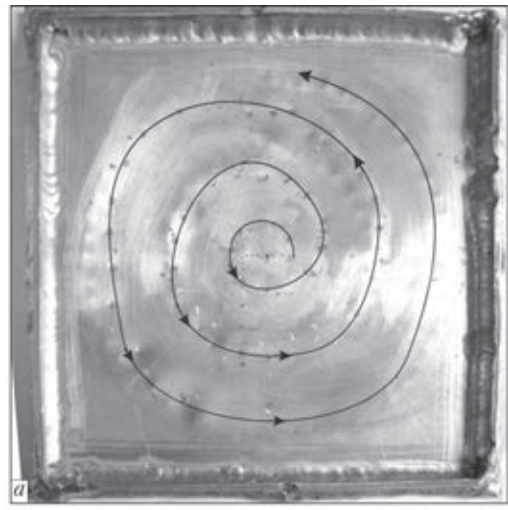


Рис. 5. Внешний вид (а) и формоизменения бухтины  $f$  (б) в образце из сплава АМг6 ( $\delta = 4,0$  мм) после спиральной ЭДО при изменении радиуса  $R$ : 1 — начальные значения  $f_{\max}$ ; 2 —  $f$  после ЭДО при  $R = 15$  мм; 3 —  $f$  при  $R = 50$  мм; 4 —  $f$  при  $R = 90$  мм

местную деформацию, а также использовать данную схему при увеличенных  $f_{\max}$ .

Проанализировав данные рис. 4, б, можно заключить, что наиболее эффективной представляется ЭДО центральной части пластины при  $R = 50$  мм по сравнению с  $R = 15$  и 90 мм. В то же время, учитывая данные рис. 3, можно заключить, что использование ЭДО в широком диапазоне значений  $R$  может повысить эффективность электродинамических воздействий при увеличенных начальных значениях  $f$  и площади обрабатываемой поверхности.

Развитием двух предыдущих схем является спиральная ЭДО, реализуемая посредством приложения электродинамических воздействий к обрабатываемой поверхности в форме спирали с переменным радиусом  $R$ , которая расходится от центра к краям образца (рис. 5, а). При этом параболическую форму начальной бухтины задавали в направлении к ребрам, а значение  $f_{\max}$  (рис. 5, б, кривая 1) достигало 8 мм. Изменения  $f$  регистрировали при  $R = 15, 50$  и 90 мм для сравнения с кольцевой ЭДО, показанной на рис. 4. Значения  $n$  и  $E_{\text{эдо}}$  (1) для ЭДО при  $R = 15, 50$  и 90 мм состав-



ляли соответственно 8; 30; 22 и  $6,4 \cdot 10^2$ ;  $2,4 \cdot 10^4$ ;  $1,7 \cdot 10^4$  Дж.

Как видно из рис. 5, б, характер изменения формы и значений  $f$  близок к круговой схеме ЭДО без учета знака прогиба. При достижении  $R = 15$  мм значения  $f$  (см. рис. 5, б, кривая 2) понижаются в центральной зоне бухтины с 8 до 5 мм при сохранении знака прогиба. При ЭДО средней части бухтины, соответствующей увеличению  $R$  до 50 мм (см. рис. 5, б, кривая 3), формоизменение изменяет характер от параболического к синусоидальному, что сопровождается монотонным нарастанием значений отрицательной полуволны амплитуды  $f$  от 0 до  $-2$ , положительной — от 0,5 до 3,0 мм. Несимметричность формоизменения, представленная на рис. 5, б, кривая 3, устраняется при ЭДО в условиях нарастания  $R$  до 90 мм (кривая 4), при котором синусоида становится симметричной с размахом до 2,0 мм, а ее положительная полуволна не превышает 0,5 мм. Это согласно выражению (1) значительно ниже допускаемых значений  $f$  при используемой шпации  $a = 300$  мм.

Наиболее эффективной с точки зрения понижения  $f$ , как и для варианта круговой схемы, является ЭДО центральной части пластины при нарастании  $R$  до 50 мм (см. рис. 5, б, кривая 3) по сравнению с  $R = 15$  мм (см. рис. 5, б, кривая 2) и  $R = 90$  мм (см. рис. 5, б, кривая 4). Следует отметить, что применение ЭДО в зоне напряжений сжатия у ребер ( $R = 90$  мм) может вносить корректирующее воздействие, направленное на локальное выравнивание участков поверхности бухтины.

При сравнении схем ЭДО, приведенных на рис. 3–5, можно заключить, что наименее эффективной и энергоемкой является точечная схема, а круговая и спиральная сопоставимы по эффективности, но последняя для своей реализации требует меньшее значение  $E_k$ . Таким образом, наиболее целесообразной для правки местных деформаций бухтиноватости представляется спиральная схема ЭДО.

С использованием спиральной схемы, аналогичной показанной на рис. 5, проводили ЭДО образцов из сплава АМг6 ( $\delta = 2,0$  мм) и стали Ст3 ( $\delta = 2,0$  мм). Для достижения показателей по снижению  $f_{\max}$  до значений, близких представленным



Рис. 6. Микроструктура стали Ст3 после ЭДО с прокладкой из меди М1 толщиной 0,5 мм: а — общий вид «лунки» ( $\times 50$ ); б — центр «лунки» ( $\times 200$ ); в — Ст3 в исходном состоянии ( $\times 200$ )

на рис. 5, потребовалось меньшее значение  $E_k$  для образца из сплава АМг6 по сравнению с  $\delta = 4,0$  мм в отличие от стали Ст3, где значение  $E_k$  существенно выше.

Сравниваемые данные по влиянию ЭДО на величину начального  $f_0$ , остаточного  $f_{\text{эдо}}$  прогибов при различных конфигурационных схемах ЭДО, а также соответствующие схемам значения  $\Sigma E_k$  после полного цикла обработки представлены в таблице. На основании данных  $f_0$  и  $f_{\text{эдо}}$  определены абсолютные значения изменения прогиба  $\Delta f = f_0 - f_{\text{эдо}}$  и удельная энергоэффективность  $\Sigma E_k / \Delta f$  при различных схемах ЭДО. Кроме того, в таблице также указаны значения  $\Sigma E_k$  при тепловой и ударной правке с подогревом площади поверхности конструкции из сплава АМг5  $\delta = 3,0 \dots 5,0$  мм, равной  $0,9 \text{ м}^2$ , что близко к геометрическим характеристикам исследуемых образцов.

Проанализировав данные таблицы, можно заключить, что значения  $\Sigma E_k$  при ЭДО значительно меньше  $\Sigma E_k$ , соответствующих традиционным видам правки (см. позиции № 6, 7) при равной площади обрабатываемой поверхности, что свидетельствует об удовлетворительной энергоэффективности процесса ЭДО. При этом даже наименее эффективная точечная схема ЭДО сплава

Значения прогибов  $f_0, f_{\text{эдо}}$  и энергии  $\Sigma E_k$  при различных видах правки сплавов АМг6 и стали Ст3

Номер позиции	Металл	Толщина $\delta$ , мм	Вид правки ЭДО	$f_0$ , мм	$f_{\text{эдо}}$ , мм	$\Sigma E_k$ , кДж	$\Sigma E_k / \Delta f$ , кДж/мм
1	АМг6	4,0	Точечная	-5,0	-3,0	4,0	2
2	->-	4,0	Круговая	-5,0	1,0	74,4	12
3	->-	4,0	Спиральная	8,0	-1,0	47,4	5,2
4	->-	2,0	->-	8,0	-1,0	31,2	3
5	Ст3	2,0	->-	8,0	-2,0	115	11,5
6	АМг5	3,0...5,0	Ударная с подогревом	Нет свед.		41160	Нет свед.
7	->-	3,0...5,0	Тепловая	->-		15876	->-

Примечание. Значения  $\Sigma E_k$  (позиции № 6, 7) взяты из работы [1].

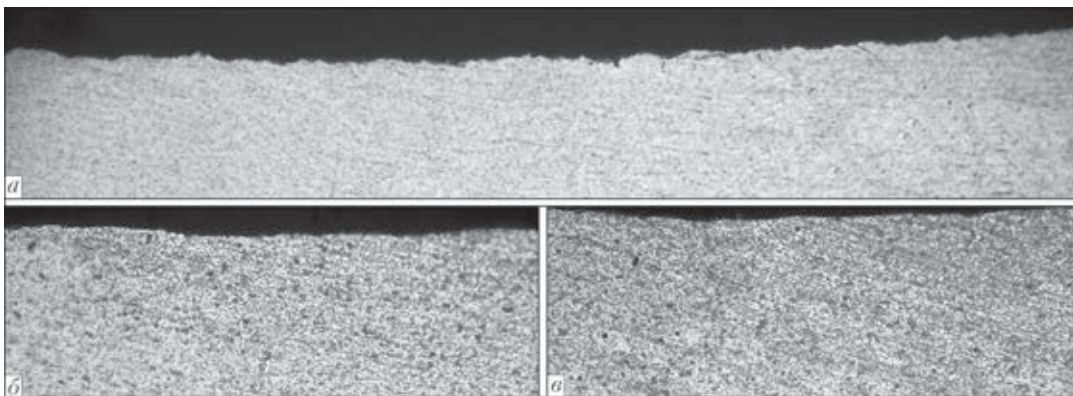


Рис. 7. Микроструктура сплава АМг6 после ЭДО с прокладкой из меди М1 толщиной 0,5 мм: а — общий вид «лунки» ( $\times 25$ ); б — структура в зоне «лунки» ( $\times 500$ ); в — сплав АМг6 ( $\times 500$ ) в исходном состоянии

АМг6 ( $\delta = 4,0$  мм) при минимальных энергозатратах  $\Sigma E_k$  (позиция № 1) позволяет обеспечить понижение  $f_0$  до соответствующих требованиям нормативных документов, например ОСТ 5.9079–72. В то же время для сплава АМг6 ( $\delta = 2,0$  мм) значения затрат энергии на 1 мм прогиба  $\Sigma E_k/\Delta f$  при спиральной схеме (позиция № 4) близки к  $\Sigma E_k/\Delta f$  при точечной для  $\delta = 4,0$  мм (позиция № 1). При сравнении  $\Sigma E_k/\Delta f$  круговой (позиция № 2) и спиральной (позиция № 3) ЭДО сплава АМг6 ( $\delta = 4,0$  мм) видно, что последняя требует в два раза меньше затрат при примерно равной производительности процесса.

Наиболее затратной по уровню запасенной энергии является ЭДО стали Ст3 при  $\delta = 2,0$  мм (позиция № 5), где показатели  $\Sigma E_k$  и  $\Sigma E_k/\Delta f$  в четыре раза превышают аналогичные для сплава АМг6 при равной толщине (позиция № 4), а значения  $\Sigma E_k/\Delta f$  сопоставимы с круговой схемой для сплава АМг6 при  $\delta = 4,0$  мм.

На основании данных [6] можно заключить, что электроимпульсные воздействия в целом положительно влияют на структуру конструкционных материалов. В то же время на локализованных участках зоны электродинамических воздействий образуются полусферические лунки глубиной до 0,3 мм, которые в ряде случаев могут влиять на эксплуатационные характеристики судовых корпусов. Исходя из этого оптимизация технологии ЭДО направлена на уменьшение глубины поверхности в зоне контактного взаимодействия.

Исследован метод минимизации глубины лунки, основанный на применении технологических прокладок из меди марки М1, устанавливаемых между электродом и обрабатываемым металлом.

Фрагменты структуры стали Ст3, обработанные при энергии импульса  $E_k = 800$  Дж через медную прокладку толщиной 0,5 мм, представлены на рис. 6. В зоне ЭДО сформировалась лунка (см. рис. 6, а) глубиной 0,1 мм, на поверхности которой структурных изменений металла не выявлено.

Изучение структуры металла в зоне ЭДО в центре лунки (см. рис. 6, б) показало ее идентичность ферритно-перлитной структуре исходного металла (см. рис. 6, в).

После ЭДО алюминиевого сплава АМг6 с использованием прокладок толщиной 0,5 мм на поверхности металла сформировалась лунка (рис. 7, а) глубиной до 0,3 мм, на поверхности которой изменений структуры не обнаружено. Микроструктура металла после ЭДО (рис. 7, б) и в исходном состоянии (рис. 7, в) состоит из твердого  $\alpha$ -раствора, в котором наблюдали включения  $\beta$ -фазы ( $Mg_5Al_8$ ) и фазы  $Mg_2Si$ .

Таким образом, применение медных прокладок, практически полностью устраняющее влияние ЭДО на структуру поверхности обрабатываемых материалов и минимизирующее глубину лунки (рис. 6, 7), может быть рекомендовано для технологий ЭДО, при которых допускается минимальная повреждаемость обрабатываемой поверхности сварных судовых корпусов.

## Выводы

1. Проведены исследования влияния различных схем ЭДО на снижение местных деформаций типа бухтина образцов из сплава АМг6 и стали Ст3, в частности, точечную, круговую и спиральную в направлении от центра к краям. Установлено, что наименее эффективной и энергоемкой является точечная схема, а круговая и спиральная сопоставимы по эффективности, но последняя требует для своей реализации меньших энергетических затрат. Наиболее целесообразной для правки местных деформаций бухтиноватости представляется спиральная ЭДО.

2. На основании данных сравнительного анализа установлено, что энергетические затраты при ЭДО значительно меньше, чем при традиционных методах правки таких, как тепловая и ударная с подогревом.



3. С помощью металлографического анализа микрошлифов сплава АМг6 и стали Ст3 установлено, что применение технологических прокладок из меди марки М1 при ЭДО практически полностью исключает влияние электродинамических воздействий на структуру обрабатываемого металла.

1. Михайлов В. С. Правка судовых сварных корпусных конструкций. – М.: Судостроение, 1972. – 152 с.
2. Махненко О. В., Мужиченко А. Ф., Зайфферт П. Применение математического моделирования при термической правке судостроительных панелей // Автомат. сварка. – 2009. – № 1. – С. 10–16.
3. Research on residual stress reduction by a low frequency alternating magnetic field / F.Tang, A. L. Lu, J. F. Mei et al. // J. Mat. Proc. Technol. – 1998. – 74. – P. 255–258.
4. Антонов Ю. А., Рогозин Ю. И. Импульсный метод снятия остаточных напряжений // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 3. – С. 91–95.
5. Степанов Г. В., Бабуцкий А. И., Мамеев И. А. Нестационарное напряженно-деформированное состояние в длинном стержне, вызванное импульсами электрического тока высокой плотности // Пробл. прочности. – 2004. – № 4. – С. 60–67.
6. Стрижало В. А., Новогрудский Л. С., Воробьев Е. В. Прочность материалов при криогенных температурах с учетом воздействия электромагнитных полей. – Киев: Ин-т проблем прочности НАНУ, 2008. – 504 с.
7. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Миходуй О. Л. Электродинамическая правка элементов тонколистовых сварных конструкций // Автомат. сварка. – 2013. – № 9. – С. 19–25.
8. Эффективность электродинамической обработки алюминиевого сплава АМг6 и его сварных соединений / Л. М. Лобанов, Н. А. Пащин, О. Л. Миходуй и др. // Там же. – 2012. – № 1. – С. 3–8.
9. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
10. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Миходуй О. Л. Влияние условий нагружения на сопротивление деформированию сплава АМг6 при электродинамической обработке // Пробл. прочности. – 2012. – № 5. – С. 15–26.

Поступила в редакцию 20.06.2014



## VIII Международная научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

20-22 мая 2015

пгт Ворзель, Киевская обл.

*Конференция посвящается памяти  
доктора технических наук Леонида Сергеевича Киреева,  
инициатора проведения научно-технической конференции молодых ученых  
и специалистов «Сварка и родственные технологии»*

Совет научной молодежи ИЭС при поддержке Института электросварки им. Е. О. Патона и Национальной академии наук Украины планируют провести с 20 по 22 мая 2015 года VIII Международную научно-техническую конференцию молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии». Для участия в работе конференции приглашаются молодые ученые до 35 лет (студенты, специалисты, аспиранты, докторанты, инженеры и научные сотрудники).

В рамках конференции запланировано проведение ряда научных школ по тематике конференции, в том числе следующие мероприятия: лекции и доклады ведущих украинских и зарубежных ученых; выступления молодых ученых; конкурс докладов молодых ученых; посещение отделов и лабораторий ИЭС; экскурсии по Киеву.

Участие в конференции бесплатное. Проживание и проезд оплачиваются участниками самостоятельно.

**Место проведения:** Киевская обл., пгт Ворзель, ул. Ленина, 1, кардиологический санаторий «Ворзель» НАН Украины.

### Основные направления конференции:

- ♦ прогрессивные технологии сварки и соединения материалов;
- ♦ прочность, надежность и долговечность сварных конструкций;
- ♦ технологии наплавки, нанесения покрытий и обработки поверхностей;
- ♦ процессы специальной электрометаллургии;
- ♦ новые конструкционные и функциональные материалы;
- ♦ техническая диагностика и неразрушающий контроль;
- ♦ автоматизация процессов сварки и родственных технологий;
- ♦ исследования физико-химических процессов (термодинамика, кинетика, микроструктура, фазовые превращения, коррозия);
- ♦ математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах;
- ♦ технологии термической резки материалов;
- ♦ материаловедение (структура и свойства наноматериалов, композитных материалов, биоматериалов, полимеров, керамики, полупроводников);
- ♦ нанотехнологии в сварке и родственных процессах;
- ♦ оборудование и источники питания для сварки и родственных технологий.

**Контакты:** 03680, Украина, г. Киев, ул. Боженко, 11,  
Совет научной молодежи ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины.  
E-mail: wrtys2015@gmail.com; www: <http://paton.kiev.ua/wrtys2015>  
тел.: +38 (044) 200-47-83; факс: +38 (044) 528-04-86