



ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ

В. А. ТИТОВ, канд. техн. наук, Ю. И. ФАДЕЕНКО, канд. физ.-мат. наук, В. Г. ПЕТУШКОВ, д-р техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований влияния обработки сварных соединений взрывом удлинённых зарядов на распределение остаточных напряжений. Получены формулы, которые связывают параметры полей остаточных напряжений в обработанных взрывом сварных соединений с параметрами, характеризующими режим обработки взрывом.

Ключевые слова: сварные соединения, обработка взрывом, остаточные напряжения, расчет параметров, заряд, взрывчатые вещества

Обработка взрывом (ОВ) благодаря своей мобильности и низкой себестоимости является одним из наиболее перспективных способов повышения сопротивления усталости стальных деталей и сварных металлоконструкций [1–4]. Физической основой указанного вида обработки, осуществляемого с целью повышения сопротивления различным видам разрушений, является образование напряженно-деформированного следа (НДС) при локальном высокоскоростном деформировании металла в момент прохождения в нем ударной волны [5–7]. Для металла в зоне НДС характерны повышенная, в сравнении с основным металлом, твердость (взрывное упрочнение или наклеп) и наличие в поверхностном слое металла двухосных остаточных напряжений (ОН) сжатия, препятствующих распространению трещин, которые обычно зарождаются на поверхности изделий. Структура, интенсивность и размеры НДС зависят от типа взрывчатого вещества (ВВ) и его геометрических особенностей, а также от прочностных характеристик обрабатываемого металла [7, 8]. Разнообразие ВВ, выпускаемых промышленностью, позволило авторам работ [1, 2, 4, 9–11] исследовать влияние ОВ на циклическую прочность сварных соединений различных типов, изменяя в широких пределах интенсивность и геометрию взрывного нагружения. При этом получены как положительные, так и отрицательные результаты. Однако на их базе до сих пор не создана общая теория, объясняющая механизм повышения сопротивления усталости сварных соединений ОВ. Одна из причин этого — недостаточная изученность зависимости структуры и параметров НДС от прочностных свойств металла и характеристик заряда ВВ. В свою очередь, малоизученность этого вопроса объясняется громоздкостью аналитических методов исследования даже простейших задач формирования НДС [12] и значительными трудозатратами, необходимыми для выявления искомых экспериментальных закономерностей. Последнее можно

объяснить исходя из изложенных ниже соображений.

Рассмотрим случай обработки бесконечно протяженной металлической пластины через инертную прокладку удлинённым цилиндрическим зарядом радиусом r_0 и охарактеризуем режим обработки следующими параметрами: плотность ВВ ρ_0 , прокладки ρ_1 и металла пластины ρ_2 , скорость D и давление p детонации, скорость звука в продуктах детонации c_0 , прокладке c_1 и пластине c_2 , толщина заряда δ_0 , прокладки δ_1 и пластины δ_2 , предел текучести металла σ_T и модуль его деформационного упрочнения M . Пусть x и z — координаты элемента пластины, в котором требуется определить компоненты поля ОН $F_{1,2}$. Тогда, исходя из теории подобия и размерностей, искомые зависимости должны иметь следующий вид:

$$F_{1,2}(x, z) = f_{1,2}(x/\delta_2; z/\delta_2; p/\rho_0 D^2; \rho_0 c_0/\rho_1 c_2; \rho_1 c_1/\rho_2 c_2; \delta_0/\delta_1; \delta_1/\delta_2; p/\sigma_T; M/\sigma_T). \quad (1)$$

Причем в этом простейшем случае еще не учтены наличие оболочки у шнурового заряда, обычное для практики применение заряда, составленного из нескольких отрезков детонирующих шнуров, и условия контакта обрабатываемой пластины с массивной опорой. Определение распределения ОН по толщине пластины производится, например, с использованием метода Н. Н. Давиденкова путем пологого сравнения металла, в процессе которого ОН изменяются. Затем полученные данные подвергаются пересчету по специальной программе. Из отмеченного выше ясно, что экспериментальные измерения полного поля ОН являются процедурой весьма трудоемкой, малоприменимой для систематического использования в рутинной практике оптимизации технологических режимов взрывной обработки. Поэтому практическую методику оптимизации приходится строить на упрощенных приемах. В частности, исходя из опыта, при обработке экспериментальных данных пренебрегают некоторыми из безразмерных параметров правой части (1) и характеризуют удлинённый сосредоточенный заряд только погонной массой ВВ μ , удельной калорийностью (теплотой взрыва) Q или погонной энергией взрыва $E = \mu Q$. Но

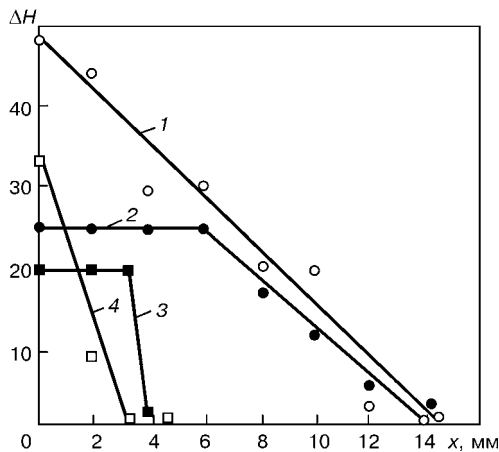


Рис. 1. Распределение приращений твердости ΔH в НДС в поперечном относительно оси заряда направлении на глубине 0,5 мм после ОВ шнуровым зарядом: 1, 2 — высокопрочная ($\sigma_T = 1000$ МПа); 3, 4 — низколегированная сталь 09Г2С ($\sigma_T = 360$ МПа); светлые значки — контактный заряд; темные — с использованием демфирующей прокладки

наиболее эффективным из упрощающих приемов является использование определенного сходства полей ОН и полей приращения твердости (взрывного наклепа).

Конечно, в общем случае между этими двумя полями нет точного соответствия, так как наклеп определяется полной пластической деформацией и давлением, при котором она осуществлялась. Причем поле наклепа, в отличие от поля ОН, не выходит за пределы зоны заметных остаточных пластических деформаций. В то же время структура поля ОН определяется градиентами остаточных (а не полных) пластических деформаций. Это поле может простираться далеко за пределы области упругих деформаций. Но, как показала многолетняя практика, в большинстве случаев два главных параметра поля ОН — толщина поверхностного слоя сжимающих напряжений и амплитуда ОН в нем — изменяются при варьировании режима обработки аналогично толщине наклепанного слоя и амплитуде поля наклепа. Таким образом, трудоемкая процедура измерения эпюр ОН на первом

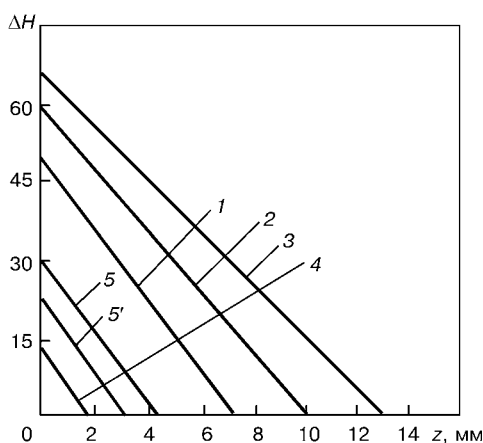


Рис. 2. Распределение приращений твердости ΔH по толщине образца из стали 09Г2С после ОВ по различным схемам: 1 — один контактный шнуровой заряд; 2 — то же с «забивкой» плотностью 3,7 г/см³; 3 — с использованием кумулятивного эффекта; 4 — с воздушной прослойкой; 5, 5' — с прокладками разной толщины

этапе оптимизации технологии может быть заменена простым и быстрым измерением распределения твердости в зоне наклепа. В связи с этим возникает практически важная задача установления общих закономерностей, связывающих параметры поля наклепа с параметрами режима ОВ, что и является целью настоящего исследования.

Методика проведения исследований. Для исследований были выбраны стали с низкой ($\sigma_T = 250$ МПа; $\sigma_B = 420$ МПа), повышенной ($\sigma_T = 350$ МПа; $\sigma_B = 500$ МПа) и высокой ($\sigma_T = 1000$ МПа; $\sigma_T = 1100$ МПа) прочностью.

Анализ характера деформирования металла при ОВ проводили путем замеров твердости в составных образцах по методике, изложенной в [13]. Измерение ОН проводили при помощи магнитоупругой тензометрии по методике, подробно изложенной в работе [14].

Пластичность металла исследовали при помощи испытаний на критическое раскрытие трещины δ_c на разрывной машине 2054-Р5 на образцах с вращенными усталостными трещинами длиной 3 мм.

Исследования оценки выносливости сварных соединений проводили на динамическом пульсаторе ЦДМ-200 ПУ с частотой испытаний 7 Гц. В качестве ВВ были использованы стандартные шнуровые и тонкие пластичные полосовые заряды ВВ на основе гексогена.

Обработка шнуровыми зарядами. Установка заряда ВВ непосредственно на металл приводит к образованию зоны наклепа, имеющей ярко выраженную максимальную твердость под осью заряда (рис. 1). При удалении от этой зоны по ее ширине и глубине наблюдается резкое снижение упрочнения до исходного состояния (рис. 1, 2). При этом абсолютные размеры деформированной зоны определяются прочностными свойствами стали, в частности, отношением предела прочности к пределу текучести $k = \sigma_B / \sigma_T$ и погонной массой заряда m . Компонент ОН в поверхностном слое стали толщиной около 1 мм в поперечном отношении оси заряда направлении x ($\sigma_{ОН}$) является сжимающим. При этом размеры поверхностной зоны сжимающих ОН близки к размерам наклепанной зоны (рис. 3 и 4). Во всех случаях на обрабатываемой поверхности стального образца наблюдались остаточные вмятины, покрытые сеткой царапин. Достижимое в этом случае упрочнение металла является следствием увеличения плотности дислокаций и двойников. Конкретные данные о соотношении вкладов этих двух механизмов деформирования и упрочнения известны только для низкопрочных сталей. Согласно данным [15], в интересующем нас технологическом диапазоне максимальных значений давлений нагружения 1...14 ГПа стали 20 по мере увеличения давления скольжение дислокаций постепенно сменяется двойникованием.

При этом приращение предела текучести выражается через плотность дислокаций N и двойников β соотношением типа

$$\Delta\sigma_T = a_1\beta^{1/2} + a_2N^{1/2}, \quad (2)$$

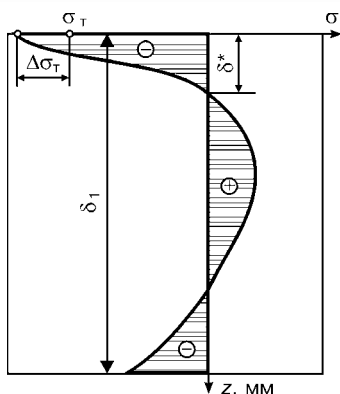


Рис. 3. Схема распределения ОН в НДС по толщине металла: δ^* — толщина поверхностного слоя сжимающих напряжений

где a_1, a_2 — некоторые постоянные величины, а приращение предела текучести пропорционально максимальному давлению нагружения (поле наклепа практически совпадает с полем максимальных давлений нагружения).

С учетом того, что обрабатываемые взрывом сварные конструкции эксплуатируются при различных климатических температурах, было исследовано влияние взрывного наклепа при рассматриваемой схеме взрывного нагружения на пластические свойства стали. Для этого выбрали сталь повышенной прочности, для которой характерно большое скачкообразное уменьшение сопротивления разрушению при переходе от вязкого разрушения к хрупкому.

Результаты исследований, представленные на рис. 5, свидетельствуют об отрицательном влиянии взрывного наклепа на пластичность стали в широком диапазоне температур испытаний. Подтверждением этому служат данные работы [9], в которой сообщается, что при усталостных испытаниях сварных соединений крестового типа из аналогичной стали наблюдалось снижение долговечности после обработки взрывом по рассматриваемой схеме. Отрицательное влияние на сопротивление усталости сварных соединений оказывает также наличие сетки царапин на обрабатываемой поверхности, особенно в случае сварных соединений из сталей с повышенной чувствительностью к концентрации напряжений.

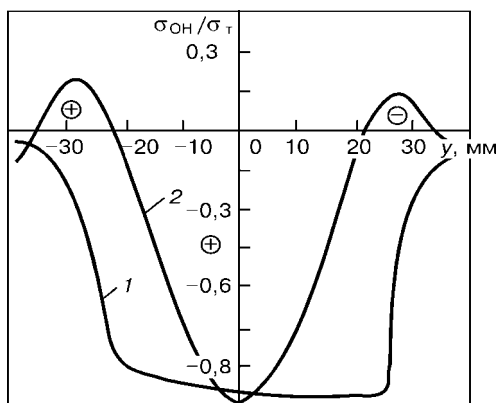


Рис. 4. Распределение ОН в поверхностном слое металла толщиной около 0,5 мм после ОВ вдоль (1) и поперек (2) шва: y — расстояние от оси шва

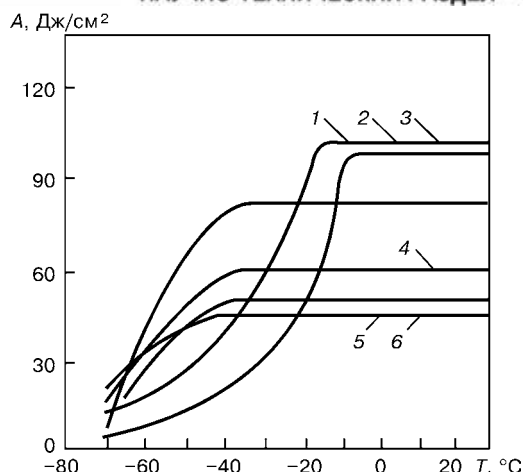


Рис. 5. Работа разрушения образцов А с острым надрезом: 1 — исходное состояние; 2-6 — модификации ОВ

Разрушение сварных конструкций, испытывающих переменные нагрузки, носит локальный характер. Оно практически всегда происходит в зоне перехода от шва к основному металлу — в месте наибольшей концентрации напряжений от внешней нагрузки. Размер этой зоны определяется радиусом перехода от шва к основному металлу и находится в диапазоне от 0,01 (стыковые соединения) до 0,10 мм (приварка к основному металлу различных конструктивных элементов). Учитывая большие значения градиентов твердости и ОН в НДС по его ширине (см. рис. 1 и 4), а также то, что вследствие геометрических особенностей сварных соединений ось шнурового заряда практически невозможно совместить с зоной предполагаемого разрушения, ОВ по рассмотренной схеме не может быть воспроизводимой в достаточной степени.

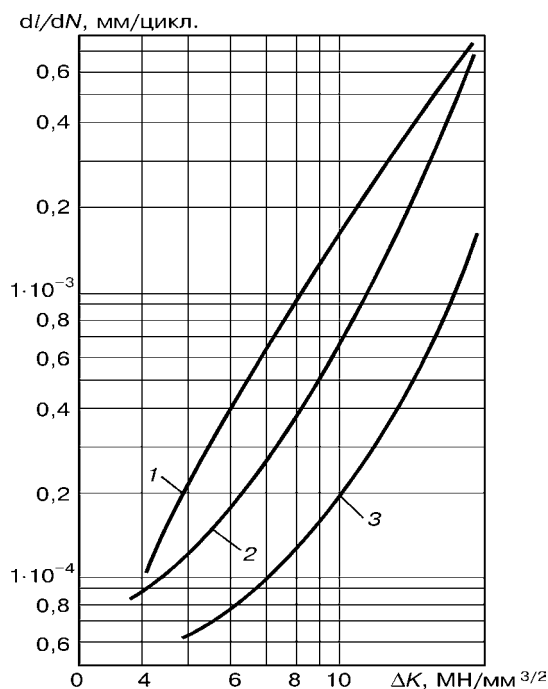


Рис. 6. Зависимость скорости усталостной трещины dl/dN от размаха коэффициента интенсивности напряжений ΔK для образцов с острым надрезом: 1 — в исходном состоянии; 2 — после односторонней ОВ полосовым зарядом ВВ; 3 — то же полуторакратным зарядом; l — длина усталостной трещины; N — количество циклов нагружения

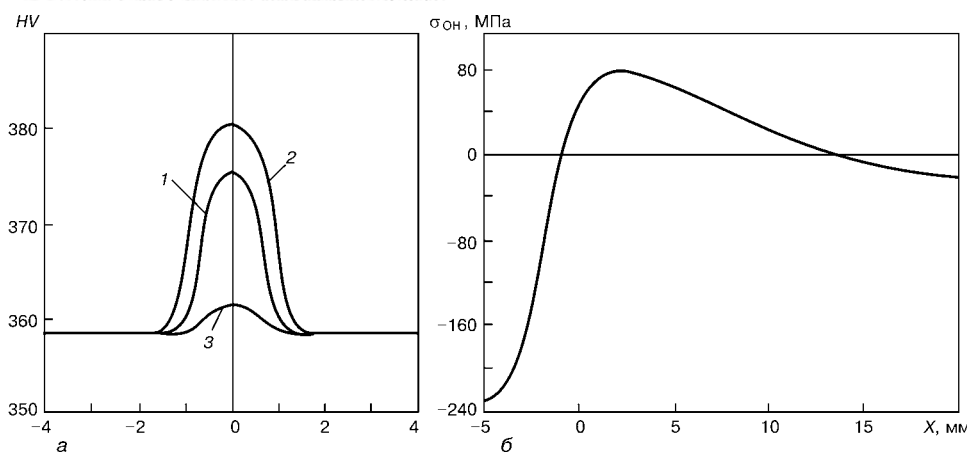


Рис. 7. Распределение твердости (а) и ОН (б) в поверхностных слоях образцов из высокопрочной стали после ОВ плоского линейного заряда высокобризантного ВВ толщиной 1,5 мм и шириной 10 мм на глубине 2,5 (1), 1,0 (2), 3,5 мм (3): X — расстояние от края заряда

Учитывая отмеченные недостатки различных схем ОВ, при которых происходит непосредственный контакт ВВ и металла, в серии экспериментов между обрабатываемой поверхностью сварного соединения и шнуровым зарядом ВВ устанавливали демпфирующие прокладки из инертного материала. При наличии прокладки характер упрочнения меняется, эпюры твердости (см. рис. 1) принимают П-образную форму с широким плато максимальных значений, что обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов ОВ при возможном смещении оси заряда от предполагаемой зоны разрушения. Эпюры ОН в поверхностном слое практически повторяют эпюры распределения твердости (см. рис. 1 и 4). Это совпадение, неоднократно наблюдавшееся и при других вариантах ОВ, является основанием для использования описанного выше способа предварительного подбора оптимальных режимов обработки.

На рис. 1, 2 показано изменение эпюры твердости в стали повышенной прочности после ОВ в зависимости от толщины демпфирующей прокладки. Пластические свойства стали при таких схемах ОВ остаются приемлемыми для решаемых задач (см. рис. 5). На рис. 6 приведены результаты усталостных испытаний образцов больших размеров из низколегированной стали 15ХСНД толщиной 16 мм после ОВ по специальной схеме. Во всех случаях были получены положительные результаты, при этом долговечность сварных соединений на стадии развития трещины повышалась в 5...10 и более раз, а пределы выносливости — примерно вдвое по сравнению с исходным состоянием.

Упрочнение полосовыми зарядами. Результаты, полученные при использовании полосовых зарядов, отличаются от шнуровых. Упрочнение сталей низкой и повышенной прочности полосовыми зарядами ВВ, в отличие от шнуровых, приводит к образованию в металле равномерно наклепанных под всей площадью заряда зон, размеры которых определяются прочностью стали. На обрабатываемой поверхности наблюдаются остаточные деформации. При ОВ высокопрочных сталей, у которых отношение $k = \sigma_b / \sigma_T$ приближается к единице, геометрия упрочненной зоны принципиально изменяется. Упрочнение при этом происходит только на краях заряда (рис. 7), где поле пластических

смещений в металле подобно полю массовых скоростей при взрыве полосового накладного заряда на поверхности жидкости или грунта (см., например, [16]). Для объяснения причин аномального распределения наклепа можно выдвинуть два предположения. Во-первых, на краях плоского заряда возникают заметные остаточные деформации, которые отсутствуют под центральной частью заряда. Возможно, это происходит из-за того, что степень наклепа каким-то образом связана с остаточными деформациями. Во-вторых, что более вероятно, это явление объясняется зависимостью механизмов размножения двойников и дислокаций от гидростатического давления (увеличение относительной роли дислокационного деформирования по сравнению с двойникованием в зоне пониженного давления у свободной поверхности, а именно, в краевой зоне).

Результаты усталостных испытаний сварных соединений из сталей низкой и повышенной прочности свидетельствуют об эффективности применения полосовых зарядов для повышения их сопротивления усталостному разрушению. При этом, как и в случае шнуровых зарядов, целесообразно использование демпфирующих прокладок, предотвращающих охрупчивание наклепанного металла. При ОВ сварных соединений из высокопрочных сталей со значением k , близким к единице, установка полосовых зарядов, устанавливаемых таким образом, чтобы зона предполагаемого разрушения находилась под серединой, неэффективна. Можно предположить, что положительный результат в этом случае будет получен, если полосовой заряд расположить так, чтобы его край находился строго над линией сплавления. Тем самым обеспечивается остаточное деформирование металла в этом месте.

Закономерности формирования зоны наклепа.

Конфигурация ударно-волновых течений в нагруженном взрывом твердом теле весьма сложная. Об этом можно судить по рис. 8 [18], где показана структура ударных волн в металле, нагруженном по схеме, анализируемой в настоящей работе. Полученные результаты показали, что при отработке на оптимальных технологических режимах первую, наиболее трудоемкую, часть экспериментов можно выполнять, не измеряя наводимые обработкой ОН, а ограничиваясь лишь измерением твердости. Даль-



Рис. 8. Структура ударных волн в твердом теле, нагруженном узким полосовым зарядом ВВ

нейшего упрощения можно добиться, установив закономерности, связывающие размеры зоны наклепа с параметрами режима обработки. Действительно, в процессе отработки на оптимальных режимах достаточно знать два параметра поля наклепа — ширину полосы постоянной твердости $l_{п.т}$ и глубину наклепанной зоны l на этой площадке. Первая из этих величин определяется непосредственными измерениями твердости на обработанной поверхности. Для измерения второй требуется значительное время, расходуемое на изготовление образцов. В настоящей работе изучались феноменологические зависимости, связывающие приращение предела текучести в поверхностном слое обрабатываемой стали (однозначно связанное с приращением твердости) и значений $l_{п.т}$ и l с параметрами шнурового заряда и демпфирующей прокладки, что позволяет значительно ускорить поиск оптимальных режимов обработки.

Для выявления этих зависимостей была проведена серия испытаний, в каждой из которых варьировался только один из параметров, характеризующих свойства шнурового заряда и прокладки, все другие параметры оставались неизменными. Обработка полученных результатов позволила установить общий вид зависимостей, которые связывают искомые параметры — $l_{п.т}$ и максимальное приращение предела текучести (или твердости) на поверхности металла — с безразмерными параметрами, характеризующими режим обработки:

$$l = A_1 \left(\frac{E}{\sigma_d} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

$$l_{п.т} = l \left[1 + A_2 \left(\frac{\delta_1}{\delta_0} \right) \right]^{-1}, \quad (4)$$

$$\Delta\sigma = A_3 k \mu^{1/2}, \quad (5)$$

где E — погонная энергия заряда ВВ; σ_d — динамический предел текучести стали, существенно отличающийся от статического [17]; A_1 – A_3 — коэффициенты, зависящие от выбора ВВ и материала прокладки; значения отношения $k = \sigma_B / \sigma_T$ характеризуют класс стали.

Соотношения (3)–(5) справедливы лишь в ограниченном диапазоне режимов, применяемых именно для ОВ с целью повышения сопротивля-

емости сварных соединений усталостным разрушениям (в частности, для прокладок толщиной, достаточной для того, чтобы повлиять на значения $l_{п.т}$, но не влияющей при этом на значения l и $\Delta\sigma_T$). Однако знание этих зависимостей имеет и более общую значимость: оно сокращает процедуру поиска оптимальных режимов любых видов ОВ сосредоточенных удлиненных зарядов.

Таким образом, полученные в данной работе результаты позволяют, зная поле исходных ОН в сварном соединении и параметры взрывного нагружения при использовании шнуровых зарядов, приблизительно прогнозировать размеры и интенсивность НДС после обработки и делать разумный выбор режимов обработки для окончательной доводки технологии с измерениями полей наводимых ОН.

В заключение отметим, что существуют и другие возможности использования энергии взрыва для управления параметрами полей ОН, например, способы, основанные на использовании кумулятивного эффекта, увеличения интенсивности волн сжатия при их отражении от акустически жестких экранов, а также массивных инертных «забывок», способных резко увеличить продолжительность фазы действия высоких давлений, в результате чего параметры НДС существенно возрастают.

Выводы

1. Обработка сварных соединений по линиям сплавления шва и основного металла шнуровыми и тонкими полосовыми зарядами ВВ является эффективным средством создания полей сжимающих остаточных напряжений в поверхностных слоях металла и повышения сопротивляемости сварных соединений сталей усталостным разрушениям. Оптимальным решением этих задач следует считать использование шнуровых зарядов ВВ (детонационные шнуры, выпускаемые промышленностью).

2. Названная обработка должна производиться через демпфирующие прокладки, позволяющие изменить параметры генерируемого НДС таким образом, чтобы стабилизировать результаты ОВ и избежать охрупчивания наклепанного металла.

3. На основании проведенных экспериментов выбраны приемы, с помощью которых можно уменьшить трудозатраты при отработке оптимальных режимов ОВ. В частности, обосновано использование на первом этапе работ контроля результатов по измерениям распределения твердостей вместо трудоемких измерений распределения остаточных напряжений. Получены зависимости, связывающие параметры упрочненной зоны с параметрами, которые характеризуют режим ОВ шнуровых зарядов.

1. Труфяков В. И., Михеев П. П., Буштетт Ю. П. Применение импульсивной обработки для повышения выносливости сварных соединений // Автомат. сварка. — 1967. — № 10. — С. 63–64.
2. Труфяков В. И. Усталость сварных соединений. — Киев: Наук. думка, 1973. — 216 с.
3. Повышение сопротивления усталости сварных соединений взрывным нагружением / В. И. Труфяков, П. П. Михеев, В. М. Кудинов и др. // Автомат. сварка. — 1974. — № 9. — С. 29–32.
4. Повышение сопротивления усталости стальных деталей локальной взрывной обработкой / В. И. Труфяков,



- В. М. Кудинов, П. П. Михеев и др. // Вестн. машиностроения. — 1977. — № 5. — С. 63–65.
5. Петушков В. Г., Фадеев Ю. И. О взрывной обработке сварных соединений // Физика горения и взрывом. — 1980. — № 5. — С. 64–68.
 6. Петушков В. Г. О механизме снижения остаточных напряжений обработкой взрывом // Автомат. сварка. — 1982. — № 4. — С. 1–4.
 7. Петушков В. Г. Формирование остаточных напряжений в сварных соединениях при обработке взрывом // Пробл. прочности. — 1986. — № 12. — С. 37–40.
 8. Распределение остаточных напряжений в поверхностных слоях стали после обработки взрывом / В. А. Титов, П. П. Михеев, Г. Т. Орехов и др. // Автомат. сварка. — 1986. — № 1. — С. 69–70.
 9. Титов В. А. Повышение сопротивления усталости сварных соединений взрывом // I Междунар. конф. молодых ученых в области сварки и смежных технологий: Тез. докл. (Киев, 16–20 мая 1989 г.). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1989. — С. 101.
 10. Применение обработки взрывом для повышения надежности и долговечности сварных соединений большегрузных самосвалов БЕЛАЗ / В. Б. Касперович, Н. В. Наумович, В. А. Титов и др. // VIII Всесоюз. конф. «Сварка, резка и обработка материалов взрывом»: Тез. докл. (Минск, 25–27 сент. 1990 г.). — Минск: Б. м., 1990. — С. 194.
 11. Применение обработки взрывом для повышения сопротивления усталости сварных соединений / В. А. Титов, П. П. Михеев, В. Г. Петушков и др. // Применение энергии взрыва для производства металлических материалов с новыми свойствами: Тр. VII Междунар. симпози. (Готвальдов, ЧССР, 25–27 окт. 1988 г.). — Пардубице, Б. м., 1988. — С. 290–295.
 12. Годунов С. К., Сергеев-Альбов Н. Н. Уравнения линейной теории упругости с точечными максвелловскими источниками релаксации напряжений // Приклад. механика и техн. физика. — 1977. — № 4. — С. 140–152.
 13. Петушков В. Г., Касаткин С. Б. Применение энергии взрыва для повышения сопротивляемости сварных соединений хрупким разрушениям // Использование энергии взрыва для производства металлич. материалов с новыми свойствами: Тр. IV Междунар. симпози. (Готвальдов, ЧССР, 1–5 окт. 1979 г.). — Готвальдов: Б. м., 1979. — С. 324–329.
 14. Оценка напряженного состояния сварных металлоконструкций методом магнитоупругой тензометрии / В. Г. Петушков, А. Г. Брызгалин, В. А. Титов, В. М. Первой // Автомат. сварка. — 1992. — № 5. — С. 16–18.
 15. Влияние ударно-волнового нагружения на структуру и свойства углеродистых сталей / Б. М. Эфрос, Т. П. Заика, Л. В. Лоладзе и др. // Физика и техника высоких давлений. — 2000. — 10, № 2. — С. 43–50.
 16. Лавреитов М. А., Шабат Б. В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. — М.: Наука, 1977. — 408 с.
 17. Петушков В. Г., Кудинов В. М., Фадеев Ю. И. Обработка взрывом сварных соединений металлоконструкций. — М.: Металлургия, 1993. — 160 с.

Results of investigation into the effect of explosion treatment of welded joints using elongated explosive charges on distribution of residual stresses are given. Formulae relating parameters of residual stress fields in the explosion treated welded joints to parameters characterising the explosion treatment conditions are presented.

Поступила в редакцию 10.10.2000

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

ЛАЗЕРНЫЙ ЛЕКСИКОН НА CD (для инженеров, ученых и студентов)

Мультимедийная группа при Фраунгоферовском институте материалов и лучевой техники выпустила на CD актуализированный справочник как вспомогательное средство для ежедневной работы, имеющие следующие преимущества:

- алфавитный выбор понятий;
- возможность применения показана на базе описаний промышленных лазеров;
- обновление за последние 2 года;
- наглядное пояснение более 300 понятий с помощью видео, 3-х мерной анимации;
- научные комментарии экспертов лазерщиков.



Заказы на CD направлять:

Fraunhofer Institut Werkstoff und
Arbeitsgruppe Strahltechnik Multimedia
Winterbergstrasse 28
01277 Dresden
Fax: 49(0)351/2583-300
E-mail: info@fraunhofer.de
www.laserlexikon.de (www.fraunhofer.de)