

В.Я.Самойлов, В.В.Борисевич, В.В.Хоменко

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
"Харьковский авиационный институт", Украина*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ СХОДЯЩИМИСЯ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ ВЗРЫВА

Рассмотрены вопросы теоретического и экспериментального исследования упрочнения металлов сходящимися ударными волнами взрыва. Приведены параметры на границе раздела «ВВ – среда», характеристики сходящихся ударных волн, дан анализ напряженно-деформированного состояния цилиндрического образца. Рассмотрена картина образования, перемещения и отражения сходящихся волн.

образец, взрывчатое вещество, сходящаяся ударная волна, упрочнение, граница раздела.

Одним из направлений производства высокопрочных металлов и сплавов является упрочнение готовых деталей различными термическими, механическими и термомеханическими методами. Наряду с этими способами используется метод упрочнения металлов взрывом.

Существует несколько схем упрочнения взрывом. По способу создания ударных волн схемы упрочнения можно разделить на схемы упрочнения накладными зарядами и на схемы упрочнения метанием пластины.

При упрочнении метанием упрочняемый образец устанавливается на массивное основание, на определенном расстоянии от образца располагается метаемая пластина под некоторым начальным углом. Сверху пластины помещается плоский заряд взрывчатого вещества после инициирования которого пластина приобретает скорость, направленную к образцу. Угол соударения пластины и образца больше начального угла установки пластины и область соударения передвигается вдоль поверхности образца с конечной скоростью. Схемы упрочнения накладными зарядами распространены более шире, чем схемы упрочнения метанием [1]. Они основаны на непосредственном установлении заряда взрывчатого вещества на уп-

рочняемой поверхности образца. В зависимости от конфигурации заряда и места его инициирования генерируется «косая» (бегущая) детонационная волна, распространяющаяся по длине образца или «плоская», воздействующая одновременно на значительную поверхность образца.

При «косой» ударной волне пик давления имеет величину в $1,5 \div 2$ раза меньшую, чем в случае плоской ударной волны, но глубина распространения упрочнения «косой» ударной волной в 2 – 3 раза больше.

Недостатком схем упрочнения плоскими ударными волнами является высокая вероятность разрушения обрабатываемого изделия.

Основным недостатком существующих схем упрочнения является то, что они пригодны для упрочнения только плоских образцов, в то время как основная масса деталей современного машиностроения это детали типа тел вращения, детали с криволинейной поверхностью.

Предлагаемый нами способ упрочнения металлов сходящимися ударными волнами пригоден для упрочнения образцов и деталей практически любой конфигурации и заключается в применении полого заряда, форма которого соответствует форме упрочняемого изделия. При инициировании заряда образуется сходящийся фронт ударной волны, перемещающийся по передающей среде к образцу, установленному в фокусе схождения.

Максимальный эффект упрочнения наблюдается при симметричном нагружении сходящейся ударной волной упрочняемого образца. Это имеет место только тогда, когда профили заряда, сходящегося фронта и образца строго идентичны. Симметричность и точное подобие сходящегося фронта упрочняемой поверхности возможны при обеспечении одновременного инициирования взрывчатого вещества по всей поверхности заряда. Выполнение этого требования для полого заряда сложной формы представляет значительные трудности. Поэтому нами использовалась схема инициирования заряда «бегущей» детонационной волной, которая перемещаясь вдоль заряда, обеспечивает постепенное симметричное нагружение поверхности образца.

Все вопросы, связанные с исследованием нового способа упрочнения взрывом, можно разделить на две группы: вопросы касающиеся определения параметров взрыва, механизма передачи энергии взрывчатого веществ-

ва сходящейся ударной волной упрочняемому образцу, реакции образца на приложенную нагрузку и вопросы, связанные с применением нового способа упрочнения в конкретных технологических процессах, включая внедрения их в производство.

Поэтому, были поставлены следующие задачи исследования:

1. Разработать основы технологии упрочнения металлов сходящимися ударными волнами взрыва.
2. Провести необходимые экспериментальные исследования по сравнительному анализу разработанных схем упрочнения.
3. Теоретически проанализировать параметры сходящихся ударных волн для выяснения физики внешней нагрузки.
4. Провести теоретический анализ напряженно-деформируемого состояния упрочняемого образца.
5. Обосновать область применения нового способа упрочнения и разработать рекомендации по внедрению процесса в производство.

Упрочнение металлов сходящимися ударными волнами исследовалась на образцах, изготовленных из стали Ст3, меди М1, алюминиевых сплавов Д16Т, АК6, АК8, АД1, латуни ЛС59-1 и находящихся в состоянии поставки.

В экспериментах применялись цилиндрические образцы, изготовленные из пруткового проката различного диаметра. В качестве взрывчатого вещества использовались насыпные заряды тэна и аммонита 6ЖВ, детонирующий шнур на основе тэна. Насыпные ВВ помещались в бумажные оболочки различной формы, которая соответствовала форме заряда.

Упрочняемый образец устанавливался на песчаную подушку, назначения которой – уменьшение влияния на образец отраженной от дна камеры ударной волны. Концентрично с образцом устанавливался заряд определенной формы. Полые цилиндрические заряды оканчиваются обычно конусом, предназначенным для создания в цилиндре плоского детонационного фронта сходящейся ударной волны. Конус имел угол, равный 120° и изготавливался из двух ВВ: в середине – аммонит 6ЖВ, а по боковой поверхности – тонкий слой тэна.

Для уменьшения влияния на распределение твердости волн разгрузки по верхнему торцу образца устанавливалась «инертная» прокладка из пе-

нопласта.

Сравнение различных схем нагружения и определение влияния параметров заряда проводилась контролем упрочнения, который осуществлялся измерением твердости методом Роквелла.

Для упрочнения металлов данным методом могут применяться плоские, конические, цилиндрические и сферические сходящиеся ударные волны. Передающая среда – воздушная или водяная.

Было установлено, что при нагружении цилиндрической сходящейся волной (заряд без генератора плоская волна) характер изменения твердости зависит от материала образца. У стальных образцов максимальное упрочнение наблюдается со стороны инициирования. Кривая изменения твердости дуралевых образцов выпуклая – твердость на краях меньше, чем в центре. Латунные образцы упрочняются по боковой поверхности, а в центре – разупрочняются.

При упрочнении конической УВ в водяной передающей среде было получено увеличение поверхностной твердости стального образца в 1,44, медного в 1,41 и образца из Д16Т в 1,27 раза. При использовании воздушной передающей среды это увеличение составило соответственно 1,3; 1,29 и 1,25 раза. Кроме того было установлено, что для каждого материала имеется свой «критический» угол конуса, при котором наблюдается максимальное упрочнение.

Кривая распределения твердости по диаметру образца, упрочненного цилиндрической сходящейся ударной волной (заряд с генератором плоской ударной волны) является вогнутой – твердость в центре меньше, чем на краях, что объясняется влиянием температуры на фронте сходящейся ударной волны.

Для изучения картины образования, перемещения и отражения сходящихся волн использовался комплекс аппаратуры, состоящий из теневого прибора ИАБ–451 и скоростной фоторегистрирующей установки СФР–2М. Сходящийся ударный фронт создавался взрывом высокоомной проволоочки (никелин, $d = 0,01$ мм). Исследовали взрыв проволоочек различных конфигураций, расположенных по контуру отверстий, выполненных в гетинаксовых пластинах.

Взрыв проволоочки осуществлялся пропуском через нее высоко-

вольтного импульса тока. Временное расстояние между кадрами кинограммы зависило от скорости вращения зеркала фоторегистратора и равнялось 8 и 6 микросекунд. Расшифровка кинограмм производилась с помощью инструментального микроскопа ТИ.

В ходе экспериментов было установлено, что имеет место удовлетворительная симметричность схождения фронта.

После окончания фазы схождения образуется расходящийся фронт, который распространяется вдоль линии фокуса или образца в виде «песта». Установлено, что скорость перемещения фронта волны вдоль поверхности образца зависит от диаметра и качества поверхности образца. С уменьшением диаметра и повышением качества поверхности образца скорость увеличивается.

Было также установлено, что нарушение симметрии движения незначительное – в основном волны круговые, довольно симметричные.

Для выяснения возможности применения способа для упрочнения готовых деталей был проведен анализ согласно методике, изложенной в работе [2]. Анализ проводился для цилиндрического образца, на боковую поверхность которого действует осесимметричная нагрузка $P(t)$.

Использовались основные уравнения механики сплошных сред. Из решения уравнений движения при учете особенностей динамического нагружения было получено выражение, позволяющее определить закон изменения радиуса и скорости его изменения.

Было определено давление на границе раздела, скорость движения границы раздела и скорость ударной волны при взрыве аммонита БЖВ в воздухе, в воде и на поверхности ряда металлов (сталь, медь, дуралюмин).

Было установлено, что с увеличением радиуса и высоты цилиндрического образца степень пластической деформации уменьшается, а с ростом длительности импульса нагрузки увеличивается.

Выводы

1. Разработан и исследован новый способ упрочнения металлов сходящимися ударными волнами взрыва, основными преимуществами которого являются:

-
- а) возможность упрочнения деталей с криволинейной поверхностью;
 - б) существование на фронте сходящейся ударной волны значительных давлений, что позволяет производить упрочнение деталей изготовленных из высокопрочных металлов и сплавов;
 - в) малая вероятность разрушения упрочняемого объекта благодаря использованию неконтактного заряда ВВ и уменьшению процесса интерференции волн сжатия и разгрузки.
2. Установлено, что наибольшее распространение получать плоские сходящиеся волны для упрочнения плоских образцов, цилиндрические и конические волны для упрочнения объектов цилиндрической формы.
 3. Наиболее рациональной схемой упрочнения деталей значительной длины является схема упрочнения по поясам, реализуемая с применением заряда в форме логарифмической спирали, в фокусе которой устанавливается образец.
 4. Проверено влияние основных технологических параметров образца (материала, диаметра, высоты, исходной твердости, качества поверхности) и заряда (вида ВВ, толщины, передающей среды) на степень упрочнения.

Литература

1. Атрощенко Е.С., Пашков П.О., Рядинская И.М. Упрочнение металлов при взрывном нагружении // Физика металлов и материаловедения. . – 1965. – Т. 19, № 4. – С. 59-67.
2. Алексеев Ю.Н. Вопросы пластического течения металлов. – Х.: ХГУ, 1958. – 234 с.

Поступило в редакцию 1.02.2007

Рецензент: д-р. техн. наук, проф. С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.