

УДК 541.8 002+661

Соболев В.В. д.т.н., проф., Ищенко Б.С., аспирант, Куливар В.В. аспирант, Романова А.С., аспирант.

Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепр, Украина

СПОСОБ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПЛОСКИХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН В ТОНКОСЛОЙНЫХ ЗАРЯДАХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Воздействие ударных волн на материалы сопровождается большим разнообразием явлений, вызывающих интерес, как с практической, так и с теоретической точки зрения. В частности, энергия взрыва может быть использована для изменения таких параметров вещества, как твердость, предел текучести, прочность. Кроме того, информация об изменении микроструктуры и механических свойств материалов, обработанных взрывом, используется для построения теоретических моделей сплошной среды, в которых можно рассматривать ударные волны с учётом прочности [1,2]. Многочисленные исследования использования энергии взрыва взрывчатых веществ (ВВ) в обработке материалов позволили разработать и внедрить в промышленность эффективные методы упрочнения металлов, повышения износостойкости деталей, роста статической прочности сварных соединений и др.

В производственных условиях, как правило, упрочнение осуществляют скользящей детонационной волной контактных зарядов, а также используя косые соударения металлических поверхностей. Преимущественное использование косых ударных волн обусловлено более простой их реализацией по сравнению с плосковолновым нагружением, для которого необходимо применение специальных генераторов плоских ударных волн. Принцип работы таких генераторов заключается в применении дополнительного заряда ВВ точечное взрывчатое превращение в котором (подрыв электродетонатора) вырождается в плоскую ударную волну, инициирующую основной заряд. Главным недостатком этого метода нагружения являются дополнительная масса ВВ, часто превышающая массу основного заряда, что не позволяет обеспечить обработку поверхностей деталей на больших площадях ($\geq 0,01\text{м}^2$), кроме этого, получение плоскопараллельного фронта детонационной волны затруднено в связи с влиянием различных технологических факторов изготовления и эксплуатации генератора. С другой стороны, упрочнение материалов плоскими ударными волнами упрощает поиск необходимых для упрочнения нагрузок, а также интерпретацию микроструктурных преобразований в материале. Поэтому исследования, направленные на усовершенствование конструкций плосковолновых генераторов или поиск принципиально новых способов получения плоских ударных волн, являются актуальными.

Настоящая работа посвящена изучению возможностей применения лазерного метода инициирование ВВ для решения задач упрочнения металлов

плоскими ударными волнами. Безкапсюльный метод получения профилированных детонационных волн, развитый в работе [3], заключается в том, что на обрабатываемую поверхность или на основной заряд наносится в виде покрытия высокочувствительный к лазерному импульсу взрывчатый состав (ВС), который затем облучается лазерным пучком с плотностью энергии, превышающей критическое значение плотности энергии зажигания ВС. При этом профиль волны задается путем инициирования части поверхности ВС, открытой для лазерного излучения (остальная поверхность закрывается экраном). Например, для получения кольцевой сходящейся волны достаточно закрыть центральную часть покрытия из ВС и облучить его лазерным пучком, диаметр которого больше диаметра покрытия. Взрывчатое превращение, инициированное по периферии ВС, распространяется в виде кольцевой сходящейся детонационной волны. Таким образом, можно формировать разнообразные профили детонационных волн без применения дополнительных зарядов. Для получения плоской детонационной волны достаточно облучить лазерным импульсом всю поверхность ВС. Следует отметить, что управление геометрией лазерного пучка (расширение, сужение, отклонение) являются простым и может быть легко автоматизировано. Во всех случаях подрыв ВВ осуществляется дистанционно, причем в производственных условиях нет принципиальных ограничений на величину расстояния, с которого производится инициирование.

Для решения поставленной задачи использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис.1.

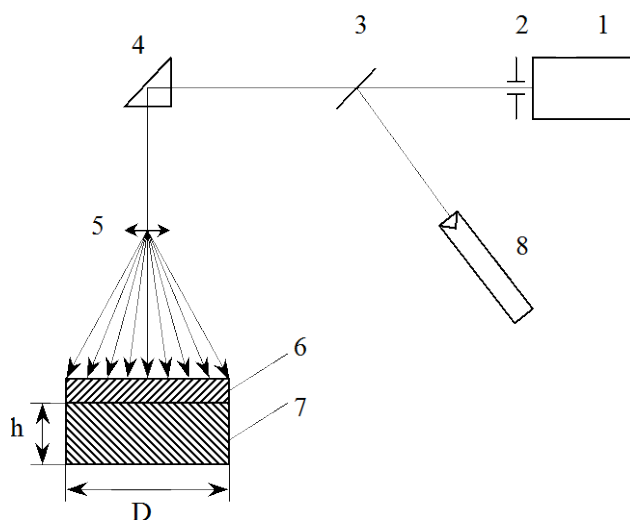


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Взрывчатые составы получены приготовлением вязкой основы, представляющей собой суспензию порошка ВВ в растворе полимера, прозрачного для лазерного излучения. После нанесения вязкой основы на поверхность какого-либо материала (сталь, алюминий, пластмассы и т.д.)

быстролетучий растворитель испаряется, в результате чего образовываемого покрытия, представляющий собой твердую смесь ВВ и полимера.

В качестве источника излучения применялся твердотельный оптический квантовый генератор на неодимовом стекле (1) ГОС-30М, работающий в режиме модуляции добротности резонатора. Длительность лазерного импульса на полувысоте интенсивности равнялась 25 нс, энергия в импульсе 100 мДж, длина волны излучения 1,06 мкм.

Лазерный пучок ограничивался диафрагмой (2) по уровню интенсивности 0,8. Часть излучения отщеплялась стеклянной пластиной (3) для измерения энергии лазерного импульса калориметром (8) ИКТ-1Н. Призма (4) обеспечивала поворот лазерного пучка в направлении исследуемого образца, а рассеивающая линза (5) расширяла пучок так, что его диаметр в плоскости, совпадающей 25 мм. Упрочняемые образцы металлов (7) представляли собой цилиндры высотой $h=5$ мм, диаметром $D=20$ мм.

Для практической реализации данного метода нагружения необходимо было получить высокочувствительные к лазерному воздействию взрывчатые составы и разработать на их основе технологию получения покрытий (пленок) на различных материалах. Поиск высокочувствительных ВВ проводился среди комплексных ВВ, характеризующихся высокой скоростью перехода от горения к детонации.

Отобрано четыре взрывчатых состава, чувствительности которых к действию лазерного моноимпульса соответственно равны: ВС2 – 23 мДж/см², ВС7 – 5 мДж/см², ВС16 – 23 мДж/см², ВС17 – 40 мДж/см². Подобные значения чувствительности считаются аномально высокими, так как они, при сходных условиях эксперимента, превышают на 1,5÷2 порядка чувствительности наиболее восприимчивых к лазерному воздействию взрывчатых веществ – азидов тяжелых металлов. Погрешность определения этих величин не превышала 20%. На рис. 2 показан типичный характер зависимости плотности импульса продуктов взрыва ВС2 от поверхностной плотности массы.

В экспериментах по упрочнению материалов использовался взрывчатый состав ВС2, изготовленный на основе гидразинтетразолортути (II) перхлората. Массовая концентрация полимера равнялась 10%. Средняя плотность лазерной энергии на образце в несколько раз превышала критическое значение плотности энергии инициирования. Следует отметить, что с помощью лабораторного лазера ГОС-1001 можно получать моноимпульсы с энергией порядка > 100 Дж, что позволяет инициировать ВС2 на площади, превышающей 4 м². Кроме того, взрывчатый состав ВС2 можно наносить на другие взрывчатые вещества в виде детонационного превращения. Так, исследованное нами пластическое взрывчатое вещество ПВВ-18 (18% – тэн, 18% – каучук), изготовленное в виде листа толщиной 2 мм,

устойчиво детонировано от нанесенной на него пленки из ВС2 массой плотностью 30 мг/см².

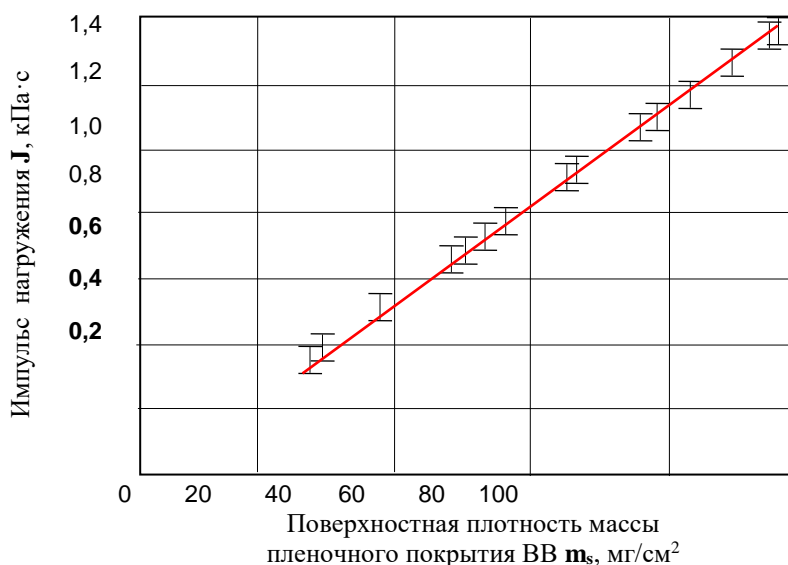


Рис. 2. Зависимость импульса от поверхностной плотности массы (толщины) пленочного заряда ВС2с полимером

Метод упрочнения апробирован на стали Ст.45 с исходной твердостью (по Виккерсу) 3000–3800 МН/м² и нержавеющей стали Х18Н10Т с исходной твердостью 2900–3500 МН/м². На этих материалах были получены зависимости плотности импульса j_s от массовой плотности покрытия из ВС2. Результаты измерений показаны, что эти зависимости в пределах точности эксперимента совпадают. На рис. 2 представлена зависимости $j_s(m_s)$, полученная на образцах из Ст.45. Упрочняемые образцы покрывались слоем взрывчатого состава ВС2 с поверхностной плотностью массы 300 мг/см², при этом значение m_s величина плотности импульса равнялась $j_s = 5$ кПа·с. Давление в детонационной волне, по нашим оценкам, составляло величину ≤ 20 ГН/м².

После нагружения среднее значение твердости для Ст.45 составило 4600 МН/м², для Х18Н10Т – 5200 МН/м². Значение твердости поверхности образца практически не изменилось в пределах круга диаметром 18 мм, толщина упрочненного слоя не превышала 2 мм. Сравнение полученных результатов с известными ранее [1,2] затруднительно в связи с тем, что для упрочнения использовались различающиеся по типу и толщине взрывчатые заряды, кроме того, исходная твердость упрочняемых материалов также не совпадала. Однако можно отметить, что увеличение прочности (в процентном отношении) исследуемых нами металлов коррелирует с результатами [1,2], а размеры упрочненного слоя вещества удовлетворительно согласуются с зависимостями [1] толщины упрочненного материала от величины давления в ударной волне.

В процессе экспериментальных исследований установлено, что изменений концентрации связующего материала (полимера) можно регулировать величину скорости детонации, а, следовательно, и давление в детонационной волне. Так, например, при увеличении концентрации связки от 10 до 40% скорость детонации уменьшается в 2,8 раза. Следует также отметить, что лазерным импульсом удается вызвать детонацию пленок из ВС малой толщины, вплоть до 0,1 мм, т.е. осуществлять очень короткие по длительности (1 мкс, [1]) импульсы нагружения, чего невозможно достичь традиционными методами, использующими энергию взрыва ВВ. Это позволяет упрочнять очень тонкие слои материала, что, несомненно, представляет научный и практический интерес. Таким образом, лазерный метод получения плоских детонационных волн применим для решения задач упрочнения материалов и обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами упрочнения взрывом:

- имеется возможность осуществлять плосковолновое нагружение на больших площадях (> 1 м);
- путем инициирования части покрытия из ВС возможно нагружение профилированных детонационными волнами;
- интенсивность нагружения регулируется концентрацией связующего материала во взрывчатом составе;
- длительность импульса нагружения регулируется толщиной покрытия из взрывчатого состава.

Вывод. Предложен метод упрочнения металлов плоской ударной волной, основанный на лазерном подрыве взрывчатых составов. Суть метода в том, что на обрабатываемую поверхность наносится в виде пленки высокочувствительный к лазерному воздействию взрывчатый состав, вся поверхность которого затем облучается лазерным пучком с плотностью энергии, превышающей критическое значение зажигания. Метод использован упрочнении образцов сталей Ст.45 и X18H10T.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1980. – 221 с.
2. Деформация металлов взрывом / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Н.И. Шефтель и др. – М.: Металлургия, 1976. – 416 с.
3. О методе получения механических импульсов нагружения, основанном на лазерном подрыве покрытий из взрывчатых составов / А.В. Чернай, В.В. Соболев, М.А. Илюшин, Н.Е. Житник // Физика горения и взрыва.–1994.– Т. 30, №2.– С.106–111