УДК 621.7044.2

Н.П.МИХАЙЛОВ

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф.Устинова, г.Санкт-Петербург

ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

Представлены результаты численного моделирования столкновения косых ударных волн в материалах с фазовым переходом. Рассмотрено влияние фазового перехода $\alpha \to \varepsilon$ в железе на картины волнового взаимодействия в образцах призматической формы.

In article results of numerical modelling of collision of slanting shock waves in material with phase transition are submitted. Influence of phase transition $\alpha \to \varepsilon$ in iron on pictures of wave interaction in samplts prismatie forms is considered.

В настоящее время в России и странах СНГ скопились миллионы тонн металла, законсервированных в физически изношенном и морально устаревшем оборудовании, сооружениях и военной технике. Подлежат утилизации сотни подводных и надводных кораблей, тысячи единиц бронированной техники, сотни стартовых пусковых установок, десятки тысяч километров нефте- и газопроводов. Значительная часть металла, подлежащего утилизации, толщиной в несколько десятков и сотен миллиметров содержит высокотоксичные антикоррозионные и теплоизоляционные покрытия, остатки нефтепродуктов и других легковоспламеняющихся материалов, что не позволяет для их разделки на местах сосредоточения использовать известные методы термической и механической резки. Кроме того, проводимая в рамках конверсии утилизация боеприпасов может дать тысячи тонн взрывчатых веществ (ВВ), стоимость которых на порядок ниже стоимости промышленных ВВ. В университете разработан и запатентован ударно-волновой метод высокоскоростной резки металла, использующий процесс трещинообразования, локализованного в области столкновения ударных волн, возбуждаемых контактным взрывом. В этом случае энергоемкость разрушения в 2-5 раз меньше, чем при кумулятивной резке. Несмотря на отмеченные преимущества, промышленное применение ударно-волновой резки ограничено вредным воздействием взрыва на окружающую среду. Поэтому основной задачей совершенствования метода является дальнейшее снижение энергоемкости резки на основе результатов исследований физики ударно-волнового взаимодействия и оптимизации параметров зарядов.

При расчете ударных волн использована система уравнений баланса массы, импульса и энергии для двумерного течения сжимаемой невязкой жидкости*, которая замыкается уравнением состояния

$$P(\rho, T) = P_x + \rho\,\Gamma(\rho) C_V T\,,$$

где P, ρ и T – давление, плотность и температура вещества соответственно; P_x – функция холодного сжатия; C_V – удельная теплоемкость вещества (фазы); $\Gamma(\rho)$ – коэффициент Грюнайзена для гармонических колебаний.

Коэффициент $\Gamma(\rho)$ аппроксимируется линейной функцией

$$\Gamma(\rho) = \gamma_0 - \gamma_1 \frac{\rho}{\rho_0}\,,$$

* Физика взрыва / Под ред. Л.П.Орленко. М.: Физматлит, 2002. Т.1.

где γ_0 и γ – численные параметры; ρ_0 – начальная плотность вещества.

Зависимость давления фазового перехода от температуры и уравнения состояния $P_x = P(\rho)$ для α и ε фаз использовались в виде, представленном в работе Р.Н.Нигматулина*.

Для моделирования нарушений сплошности материала использован мгновенный критерий разрушения, предполагающий образование трещины при превышении растягивающими напряжениями критического значения $P_к$, за которое была принята откольная прочность металла при адекватных скоростях нагружения.

Численная модель ударно-волнового нагружения железных и стальных преград реализована в программе с помощью эффективного алгоритма расчета, основанного на численной схеме с ограниченной вариацией повышенного порядка точности и методе конечных объемов в приложении к подвижной (лагранжевой) неструктурированной адаптивной расчетной сетке. Разработанный алгоритм позволяет получить детальную структуру гидродинамических полей в образце материала любой формы при различных способах ударного и взрывного нагружения.

* *Нигматулин Р.Н.* Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987.

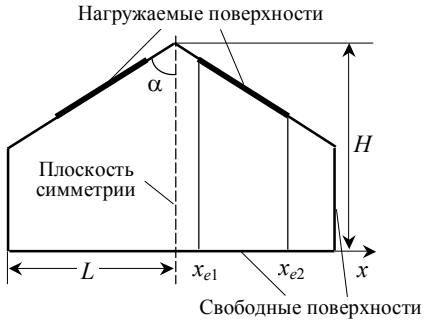


Рис.1. Поперечное сечение образца

Исследовалась двумерная задача взаимодействия двух взрывных волн в железном образце призматической формы, длина которого намного превосходит поперечные размеры (рис.1). На верхней поверхности образца инициировался синхронный взрыв двух накладных зарядов ВВ. В качестве расчетной области принята одна из симметричных частей образца. Плоскость симметрии рассматривалась как абсолютно жесткая поверхность, а ненагруженные части наружной площади – как свободные поверхности.

На рис.2 представлены результаты расчетов нагружения образца с безразмерными параметрами $L = 0{,}23$ и $H = 1$ при $\alpha = 55°$ (масштаб длины $H_0 = 0{,}06$ м, масштаб времени $t_0 = 12{,}7$ мкс). Взрывом нагружалась часть поверхности $x_{e1} < x < x_{e2}$ (здесь

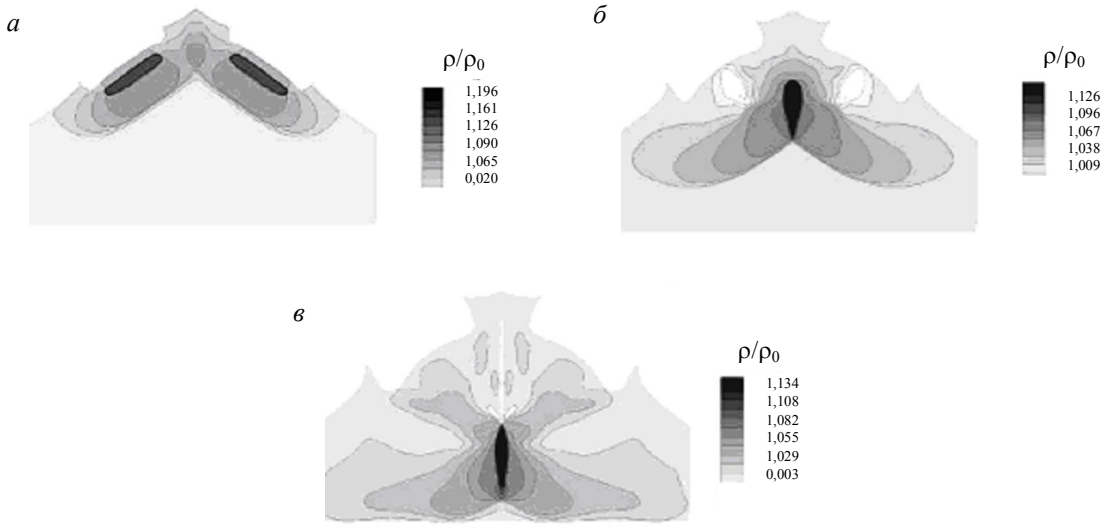


Рис.2. Изолинии плотности при взаимодействии двух взрывных волн в железе:
а, *б* и *в* – при τ, равном 0,22; 0,43 и 0,67 соответственно

$x_{e1} = 0{,}2L$; $x_{e2} = 0{,}65L$). Величина и длительность нагрузки соответственно 24 ГПа и $0{,}3t_0$. Зависимость давления от времени принята линейной.

С помощью расчетной программы исследованы волновые картины в образцах железа различной толщины с углом при вершине $20° \le \alpha \le 90°$ при интенсивности нагружения 4-60 ГПа.

ВЫВОДЫ

1. Маховский режим волнового взаимодействия в железе реализуется в широком диапазоне углов столкновения волн и существенно зависит от интенсивности нагружения.

2. При нерегулярном столкновении волн интенсивностью P под углом, близким к критическому, давление на фронте Маха может достигать $3{,}5P$ и более.

3. Возможны режимы нагружения, при которых давление на фронте Маха, как возрастает, так и убывает с глубиной, что позволяет управлять процессом нагружения.

4. Разрушение образца в плоскости симметрии происходит под действием растягивающих напряжений в результате взаимодействия волн разгрузки.

5. Существенный вклад в снижение энергоемкости разрушения преграды вносят множественные тыльные отколы, вызванные отражением волны Маха от свободной поверхности.

Результаты численного моделирования после подробного анализа, экспериментальной апробации и обобщения будут использованы для оптимизации параметров ударно-волновых зарядов, предназначенных для резки металлоконструкций.

Программа численного моделирования введена в учебный процесс при изучении курса «Физика взрыва и удара».