

Промышленное применение взрывных технологий

А. Л. МИХАЙЛОВ, И. В. ЗАНЕГИН, Н. В. НЕВМЕРЖИЦКИЙ, И. В. ШИБЕРИН,
О. Б. ДРЕННОВ, Ю. М. САМАРОКОВ, М. А. СЫРУНИН

Отделение 03, а позднее Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва (ИФВ), со своего основания и по сей день является основным подразделением ВНИИЭФ, в котором проводится газодинамическая отработка изделий отрасли, выполняются исследования конструкционных материалов при интенсивных динамических нагрузках. С 1990-х гг. и начала 2000-х гг. все больше наработок по применению специальных взрывных технологий и сведений об особенностях поведения конструкционных материалов находили свое промышленное приложение: технологии использованиякумулятивных зарядов для фрагментации конструкций и дистанционной разборки боеприпасов, сварка взрывом, динамическое дробление деталей из твердых сплавов, взрывное компактирование ультрадисперсных алмазов, использование взрывных генераторов давления для промышленности, взрывная гравировка и т. п. Описание и основные сведения о большей части таких технологий и устройств на их основе публиковались в разных выпусках журнала «Атом». В этой статье хотелось бы рассказать о части наработок ИФВ в данной сфере за последние пять лет.

1. Последние десятилетия в России наиболее динамично развиваются отрасли, связанные с добычей и производством энергии и энергетических материалов. В нефтегазовой, химической и атомной промышленности имеется множество различных продуктопроводов. Вследствие усталостных напряжений, коррозии, нарушений технологических режимов, культуры производства, террористических актов может произойти аварийная разгерметизация этих продуктопроводов. Особенно опасным является процесс протяженного разрушения магистральных трубопроводов высокого давления ($P_{\text{газ}} \sim 15$ МПа), носящий, как пра-

вило, взрывной характер. Во ВНИИЭФ разработан относительно дешевый и эффективный расчетно-экспериментальный метод исследования конструкционной прочности труб большого диаметра с применением техники взрывного эксперимента.

Суть метода заключается в том, что для получения необходимого уровня деформации трубы динамические и квазистатические нагрузки заданной амплитуды и длительности создаются при помощи взрыва внутри нее заряда взрывчатого вещества (ВВ). Процесс деформирования и разрушения трубы моделируется математическими программными кодами с использованием полученных экспериментальных данных.

На рис. 1 представлены фотографии с испытания образца трубы по договору с ОАО «Газпром». Образец длиной ~4 м вырезался из электросварной прямошовной трубы $\varnothing 1220 \times 17,8$ мм, изготовленной из стали класса прочности К60. Заряд ВВ устанавливался на оси вращения трубы.

На рис. 2 показан экспериментальный и расчетный вид зоны разрушения, на рис. 3 – расчетное распределение интенсивности деформации на поверхности трубы на различные моменты времени.

Полученные результаты демонстрируют возможности применения техники взрывного экс-

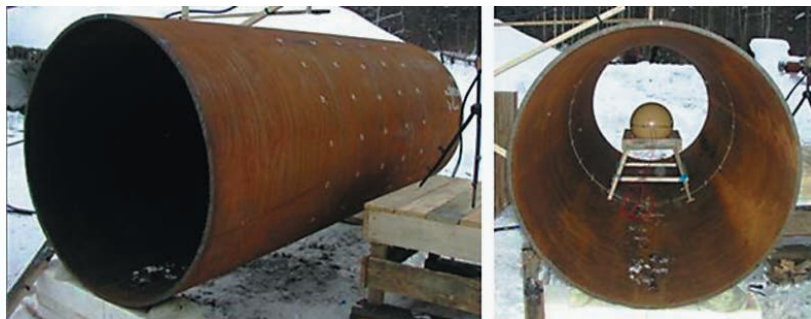


Рис. 1. Фотографии образца трубы, подготовленного к взрывному испытанию



Рис. 2. Состояние трубы после испытания

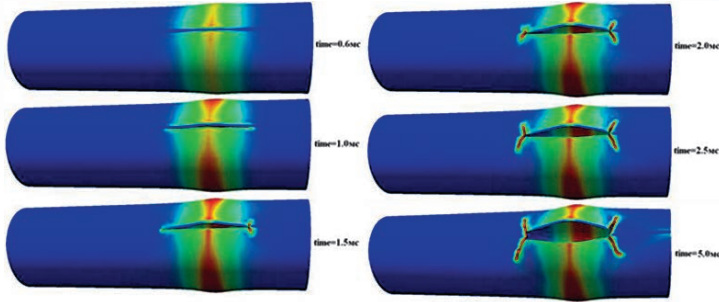


Рис. 3. Расчетное распределение интенсивности деформации на поверхности трубы на различные моменты времени

перимента и расчетного моделирования для исследования конструкционной прочности и разрушения газовых труб большого диаметра.

2. Проблема утилизации списанных с боевого дежурства атомных подводных лодок (АПЛ) различного класса возникла еще в 1990-х гг. К тому времени на морских базах и отстойниках скопилось множество АПЛ, отслуживших свой срок и выведенных из эксплуатации.

Правительство России и зарубежных стран тратит огромные средства на утилизацию и переработку корпусов АПЛ. До настоящего времени основным и, пожалуй, единственным способом демонтажа является газорезка – процесс трудоемкий, сложный и опасный для здоровья, учитывая габариты корпусов и необходимость проведения работ в полузакрытых помещениях.

По заказу ГК «Росатом» на экспериментальной базе ИФВ, в рамках инвестиционного проекта, разработана технология взрывной резки корпусов и межкорпусных элементов АПЛ. Для демонтажа толстостенных (от ~20 мм) корпусных элементов, выполняемых из легированных взрывостойких сталей семейства АК, был разработан и прошел успешные испытания двухэтапный метод взрывной резки крупногабаритных металлических конструкций. Данный метод адаптирован под использование промышленных составов взрывчатых веществ

и средств инициирования. Массогабаритные характеристики зарядов подобраны так, чтобы обеспечить минимизацию влияния поражающих факторов взрыва на окружающую инфраструктуру.

В 2016 г. на участке карьера, расположенного в непосредственной близости от территории Центра по обращению с РАО (Сайда-Губа) Мурманской области, проведена успешная пока-



Рис. 4. Место проведения работ и объект взрывной резки



а



б

Рис. 5. Этапы резки «прочного» корпуса (сталь АК-29, 40 мм): а – первый этап, б – второй этап ($m_{ВВ} = 2$ кг на погонный метр)



а



б

Рис. 6. Результаты резки «прочного» корпуса: а – со стороны реза, б – с тыльной стороны

зательная взрывная резка крупногабаритного фрагмента корпуса АПЛ (рис. 4). В серии подрывов продемонстрировано применение взрывной технологии для демонтажа основных узлов отсеков АПЛ («прочный» – рис. 5, 6 и «легкий» корпуса – рис. 7).

3. В промышленности достаточно широко известно и успешно применяется изготовление методом сварки взрывом биметаллических, а в случае необходимости и многослойных листовых заготовок (рис. 8), из которых затем тра-

диционными технологиями трубопрокатного производства могут изготавливаться биметаллические (или многослойные) трубы. Основное достоинство этой технологии – возможность удешевления продукции, когда сравнительно тонкий слой дорогостоящего металла, обладающего нужными свойствами (прочность, износ-, коррозионно-, жаропрочность, электропроводность, теплопроводность и т. п.), наносится на основу из более дешевого металла (обычная конструкционная сталь).



Рис. 7. Резка внешнего «легкого» корпуса шнуровым кумулятивным зарядом ($m_{ВВ} = 0,5$ кг на погонный метр)



Рис. 8. Пример многослойной сварки взрывом слоев разных металлов

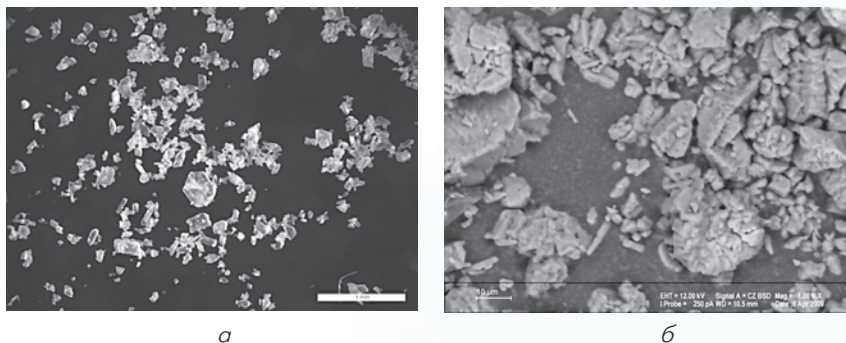


Рис. 9. Микроструктура прецизионных ВВ: а – кристаллы бикарбоната натрия, б – кристаллы ВДТ

Технологическая основа сварки взрывом – скользящее соударение свариваемых металлических слоев (листов) под некоторым углом с дозвуковой фазовой скоростью перемещения точки (линии) соударения. Это требует применения для метания планирующего слоя взрывчатых

веществ со скоростью детонации, меньшей скорости звука в свариваемых металлах, $D < C_0$ (как правило, $D \leq 3$ км/с), где D – скорость детонации ВВ, C_0 – объемная скорость звука в металле. Такого рода ВВ, обычно насыпные промышленные суррогатного типа, способны к детонации лишь в толстых слоях, что накладывает ограничения снизу на толщину привариваемого слоя и сопровождается сильными пластическими деформациями свариваемых заготовок.

В ИФВ разработан ряд прецизионных ВВ с малой скоростью стационарной детонации (2–4 км/с) на основе смесей широко известных бризантных ВВ субмикронной дисперсности (рис. 9).

Применение таких ВВ позволяет осуществлять сварку взрывом субмиллиметровых пластин из различных металлов, например, наносить жаростойкое покрытие из фехралья (сплав ПХ20Ю6) на теплопроводящую медную основу и наоборот (рис. 10).

Михайлов Анатолий Леонидович – директор ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор техн. наук, лауреат Государственной премии (1998) и премий Правительства РФ (2003, 2015), заслуженный деятель науки РФ (2014)

Занегин Игорь Владимирович – начальник отдела ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат техн. наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2003)

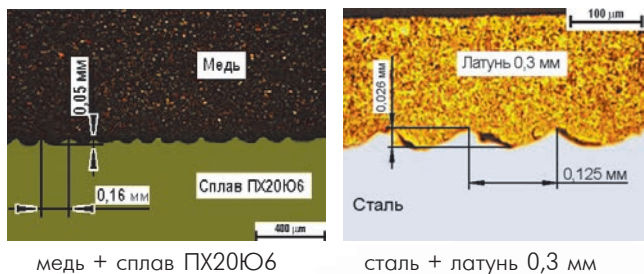
Невмержицкий Николай Васильевич – начальник лаборатории ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор физ.-мат. наук

Шиберин Игорь Владимирович – начальник лаборатории ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ

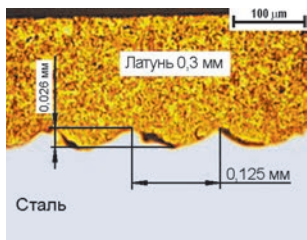
Дреннов Олег Борисович – главный научный сотрудник отдела ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор физ.-мат. наук

Самарокوف Юрий Михайлович – ведущий инженер по испытаниям отдела ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ

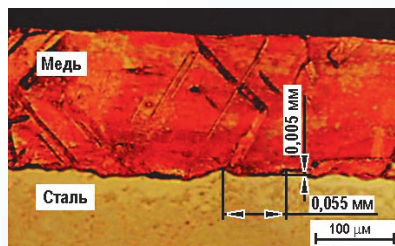
Сырунин Михаил Анатольевич – начальник лаборатории ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат физ.-мат. наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2016)



медь + сплав ПХ20Ю6



сталь + латунь 0,3 мм



сталь + медь 0,2 мм

Рис. 10. Биметаллические соединения с толщиной плакирующего слоя от 1 мм до 200 мкм