ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ APM WINMACHINE ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

В.Н. Харитонов, В.И. Шепелев, Е.В. Грюков, Р.В. Нежельской, А.В. Лосева, А.В. Романов
Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

Проектирование химического оборудования является самостоятельной отраслью инженерного труда. Такая специализация явилась следствием значительного увеличения объема проектных работ. Современные условия требуют использования при проектировании химического оборудования ЭВМ, потому что при этом значительно сокращается время расчета, появляется возможность получить гораздо больший объем информации при наличии эффекта визуализации результатов, позволяет добиться сокращения расходов при проектировании за счет оптимизации конструкции деталей, а, следовательно, снижения их стоимости, уменьшения сложности расчетов и уменьшения количества ошибок. Анализ программного обеспечения, представленном на рынке, показал, что в наибольшей степени решению таких проблем соответствует российский программный комплекс APM WinMachine.

CAD/CAE система APM WinMachine разработана и создана в Научно-техническом центре «Автоматизированное проектирование машин» (НТЦ АПМ). APM WinMachine – это наукоемкий программный продукт, созданный на базе современных инженерных методик проектирования, численных методов механики, математики и моделирования, гармонично сочетающий опыт поколений конструкторов, инженеров-механиков и других специалистов с возможностями компьютерной техники и технологии. Эта система включает следующие модули: а) параметрический чертежно-графический редактор; б) препроцессор создания моделей для конечно-элементного анализа, автоматизированного проектирования привода вращательного движения, расчета и проектирования механических передач вращения, валов и осей, подшипниковых узлов качения, соединений элементов машин, упругих элементов машин, кулачковых механизмов, плоских механизмов, подшипников скольжения, неидеальных винтовых передач, балочных элементов конструкций, расчета напряженно-деформированного состояния, устойчивости, собственных и вынужденных колебаний деталей и конструкций методом конечных элементов, кинематического анализа рычажных механизмов; в) библиотеку материалов, графической информации по стандартным деталям. Все это в конечном итоге позволяет выполнить весь комплекс необходимых вычислений и в полном объеме подготовить конструкторскую документацию.

Целью данной работы является изучение возможности использования среды САПР APM WinMachine для прочностного расчета элементов химического оборудования. Для реализации этой задачи была создана 3D модель в

САПР Компас, далее она была импортирована в модуль APM Studio, где были проставлены силы и места закрепления. Там же проведено разбиение модели на конечно-элементную сетку. Число конечных элементов для разбиения твердотельной конструкции, а, следовательно, длительность времени расчета устанавливается в соответствии с желаемой точностью получаемых результатов и рядом других соображений. В нашем случае дискретность разбиения сетки принята 5 мм, а число элементов разбиения составило около 65 тысяч. После чего расчет деталей отправлен в модуль APM Structure 3D. Он позволяет получить следующую информацию: нагрузки на концах элементов конструкции, карту распределения напряжений в конструкции, деформацию произвольной точки, карту распределения напряжений в произвольном сечении стержня, эпюры изгибающих и крутящих моментов, поперечных и осевых сил и т.д. для отдельного стержня и для конструкции в целом, а также результаты проверки конструктивных элементов на несущую способность, коэффициент запаса устойчивости конструкции по Эйлеру, напряженно-деформированное состояние конструкции при больших перемещениях, частоты и формы собственных колебаний конструкции, изменение напряженно-деформированного состояния конструкции под действием произвольно меняющихся во времени нагрузок. Некоторые результаты расчета напряженно-деформированного состояния элементов оборудования представлены на рис.1.

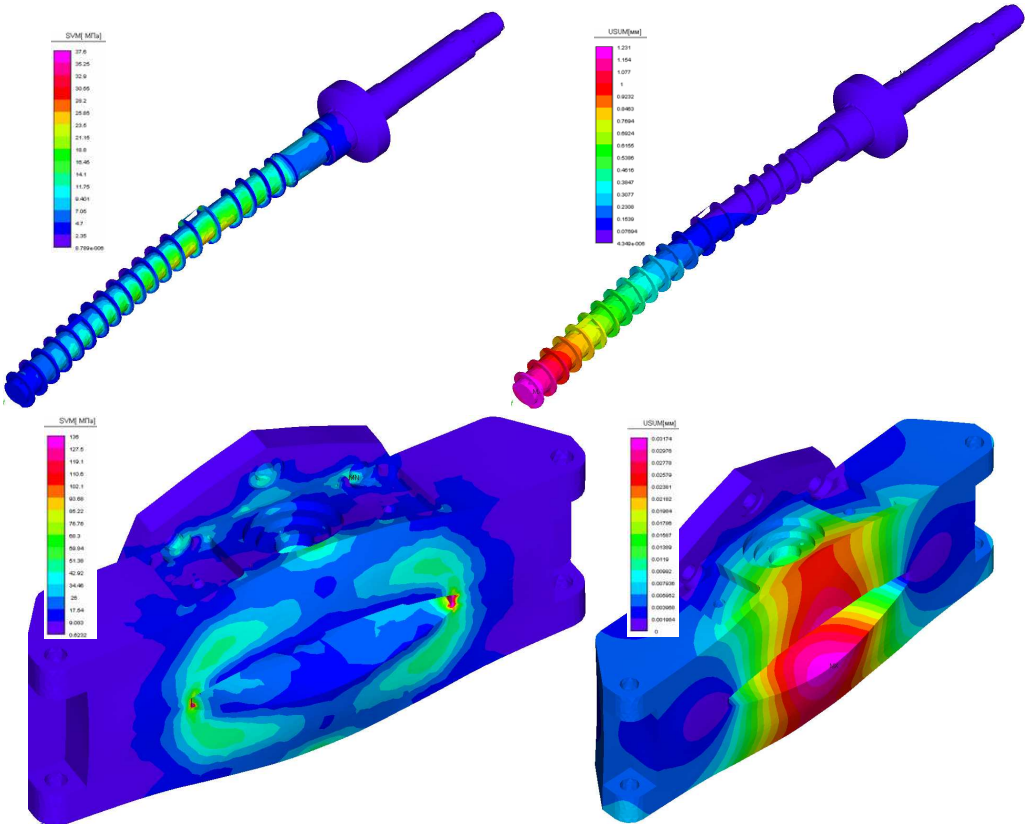


Рис.1. Карта распределения эквивалентных напряжений и суммарных перемещений в червяке и щелевой головке

Проведя анализ карт результатов расчета можно определить пути, позволяющие сделать элементы более технологичными. Полученные значения коэффициента запаса по пределу текучести для большинства сечений являются существенно завышенными, а это показывает, что металлоемкость конструкции рассматриваемых деталей может быть значительно снижена без потери их прочности и жесткости. Следовательно, использование программного комплекса APM WinMachine при проектировании позволяет добиться, чтобы химическое оборудование наряду с высокой надежностью имело конкурентоспособную цену.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ОКОЛОШОВНОЙ ЗОНЫ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ СТАЛИ С АЛЮМИНИЕМ

И.В. Джус, А. П. Пеев
Волгоградский государственный технический университет

Современный уровень развития энергоёмких отраслей производства, таких как химия, цветная и чёрная металлургии и другие предъявляет повышенные требования к показателю затрачиваемой электроэнергии на выпуск единицы продукции.

Практическая значимость сталеалюмниевого композита достаточно велика, т.к одной из перспективных областей применения сталеалюминиевого композита является электрометаллургия. Применение материала делает возможным обеспечение идеального электрического контакта. Эффект достигается за счет устранения возможности образования гальванической пары, вызывающей электрохимическую коррозию. Долговечность контакта высокая, потери на нагрев сведены к минимуму. Следует отметить, что в образовании соединения именно пластические деформации металла околошовной зоны играют решающую роль.

В связи с вышеизложенным целью данного исследования является разработка научно обоснованного технологического процесса изготовления неразъемного соединения алюминий+сталь.

В данном исследовании использовались следующие материалы: технический алюминий А5, конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества ВСт3 сп.

Для решения поставленных в данном исследовании задач была разработана оригинальная методика оценки максимальных и критических сдвигов металла околошовной зоны сваренных взрывом соединений, базирующаяся на компьютерной обработке полей деформаций продольных и поперечных относительно вектора скорости точки контакта многослойных моделей из рулонированной фольги толщиной 0,15 мм, слои которой находятся в плотном механическом контакте. С целью снижения трудоемкости математической обработки экспериментальных данных (число измерений и вычислений в одном опыте

достигает нескольких сотен) и для повышения точности определения g_{max} был разработан специальный пакет программ *«EWD 1.0»* на базе языка *«MS Visual Basic»*, функционирующий в среде *«MS Windows»*. Основной функциональный экран *"EWD 1.0"*

Испытание образцов на прочность соединения производилось в специальном приспособлении, которое устанавливается на стол разрывной машины.

Новым научным положением работы является установление функциональных взаимосвязей между кинематическими и энергетическими параметрами исследуемого процесса, характером и интенсивностью развития процессов деформирования металла ОШЗ в условиях высокоскоростного соударения разнородных металлических пластин. В результате обобщения результатов экспериментов установлено, что как и для случая сварки взрывом однородных металлов, существенное влияние на величину остаточных сдвиговых деформаций по сечению модельных пластин оказывает скорость соударения V_c, увеличение которой при постоянной скорости контакта V_k приводит к вовлечению в пластическое деформирование более глубоко расположенных слоёв металла и росту реализуемых в непосредственной близости от линии соединения сдвиговых деформаций g_{max} как в метаемой, так и неподвижной пластинах. С увеличением V_k при $V_c=const$ сдвиговая пластическая деформация локализуется в узкой ОШЗ. При этом во всём диапазоне режимов соударения градиент изменения по толщине образцов максимальных сдвигов dg_{max}/dy в более прочном материале значительно больше, чем в менее прочном.

Был разработан технологический процесс изготовления с помощью сварки взрывом биметаллических соединений сталь+алюминий, реализующего в них высокую прочность на отрыв слоев и сплошность сцепления слоев металлов на уровне 1-го класса по ГОСТ 10885, при отсутствии в зоне соединения большого количества оплавов, что способствует высокой надежности работы данного биметалла в готовых изделиях. Также было исследовано влияние параметров режимов сварки взрывом на механические свойства сталеалюминиевого композита. Определены основные параметры процесса сварки взрывом биметаллических заготовок алюминий+сталь, обеспечивающие их максимальные прочностные свойства

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ТРУБ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИКОВ

В. Н. Тышкевич, В. Б. Светличная
Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

Основное достоинство композитов, армированных непрерывными волокнами – более высокие, по сравнению с металлами, удельные прочность и жесткость. Особое место трубопроводы из армированных пластиков (АП) занимают в конструкциях авиационной и ракетно-космической техники. Это связано с тем, что к ним предъявляют повышенные требования по прочностной надежно-

сти при жестких ограничениях по массе и габаритам. Плотная компоновка отсеков ЛА, в свою очередь, определяет сложную пространственную разводку трубопроводов. Реальный трубопровод – это сложная пространственная оболочечно-стержневая конструкция, криволинейные участки которой имеют различные радиусы и углы гибов. Например, масса металлических трубопроводов, заменённых стеклопластиковыми в конструкции аэробуса Ил-86, составила около 3 тонн, диаметр труб - от 30 до 320 мм, длина - от 0,4 до 6 метров, толщина стенки от 0,4 до 1,2 мм [1].

По данным статистики [2] до 90% всех отказов и неисправностей трубопроводных систем ЛА связаны с разгерметизацией соединений и разрывами труб, обычно в местах гибов и креплений. Криволинейные участки, обеспечивающие необходимую технологическую компоновку и компенсацию механических и температурных деформаций, являются наиболее напряженными элементами трубопроводов в силу особенностей их поведения при нагружении (эффект Кармана, манометрический эффект). Таким образом, расчет криволинейных труб на прочность и жёсткость является одним из наиболее важных этапов проектирования трубопроводных систем и конструкции в целом.

Обзор существующих методов изготовления и расчета трубопроводов из АП приведен в [3], там же представлены методики определения оптимальных углов армирования и расчета криволинейных труб из АП на прочность и жесткость. Напряжённо-деформированное состояние и методика расчёта криволинейных труб из АП существенно зависят от способа изготовления и геометрических параметров труб, в основном, параметров длины и кривизны.

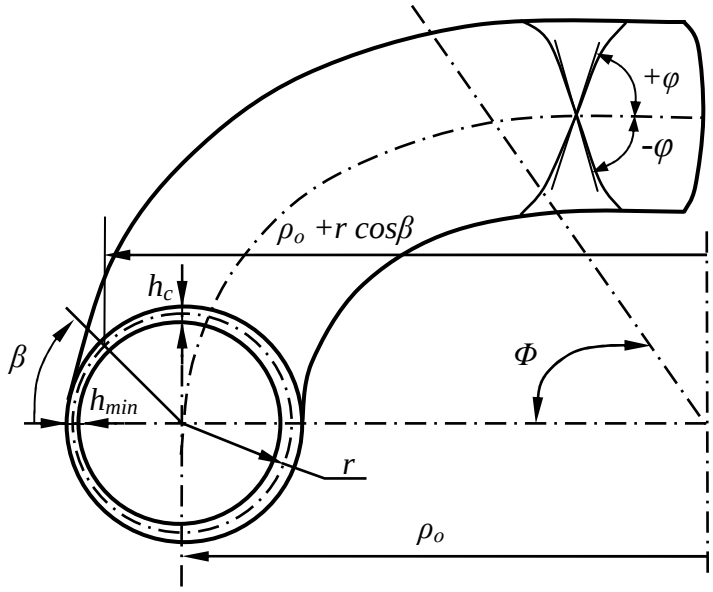


Рис.1. Расчетная схема и геометрические параметры криволинейной трубы

В параметрах кривизны μ и длины L для труб из ортотропных материалов учитываются и упругие характеристики материала вдоль и поперек оси трубы [3]:

$$\mu = \frac{r^2}{\rho_o h_c} C_v; \quad C_v = \sqrt{\frac{12}{V}\left(1 - \upsilon_{\alpha\beta}\upsilon_{\beta\alpha}\right)}; \quad L = \frac{\Phi^2 r}{h_c}\left(\frac{8C_v^2}{\mu^2} + 1\right),$$

где $V = E_\beta / E_\alpha$ отношение модулей нормальной упругости материала в попереч-

ном (β) и продольном (α) направлении трубы, соответственно; $\upsilon_{\alpha\beta}, \upsilon_{\beta\alpha}$ – коэффициенты Пуассона; h_c – средняя толщина стенки трубы. При $L \geq 100$ трубы относятся к длинным, и при расчете можно не учитывать закрепления концов. Для труб малой кривизны при $\mu > 10$ решение существенно упрощается за счет того, что в тригонометрических рядах разложений перемещений достаточно удерживать один член разложения [3].

Наиболее совершенным процессом изготовления высокопрочных армированных труб является процесс непрерывной намотки нитей, жгутов, лент или тканей на оправки соответствующих форм [3]. В зависимости от технологической схемы намотки и способа укладки слоев (с нахлестом и без нахлеста) формируется структура с неоднородными упругими и прочностными свойствами. При определении оптимальных углов армирования труб необходимо учитывать технологические ограничения величины углов намотки.

На рис. 1 показана расчетная схема криволинейной трубы и схема ее армирования. Многослойная криволинейная труба рассматривается как участок торообразной оболочки, плавно сопряженной с прямолинейными участками. Структура материала стенки формируется в результате перекрестно-спиральной намотки *2k* монослоев и зависит от технологической схемы. Процесс намотки цилиндрического и торообразного участка считается непрерывным. Обозначим φ_m – угол армирования на экваторе $(\beta = \pm \pi/2)$.

Угол армирования на прямолинейных участках принимается постоянным $\varphi = \varphi_m = const$. На криволинейных участках функциональная зависимость углов армирования φ от угла β (см. рис. 1) определяется схемой намотки [4].

При намотке по геодезическим линиям углы армирования определяются на основании уравнения Клеро: $\cos\varphi = \dfrac{\rho_o + r\cos\beta}{\rho_o}\cos\varphi_m$. При непрерывной намотке величина угла армирования на экваторе тора ограничена условием: $\varphi_m \geq \arccos\ \{\rho_o / (\rho_o + r)\}$.

При намотке с постоянным углом армирования: $\varphi = \varphi_m = const$.

При равновесной схеме намотки: $tg^2\varphi = \dfrac{2\rho_o + r\cos\beta}{\rho_o + r\cos\beta}$. Если $\beta = \pm \pi/2$, то $tg^2\varphi_m = 2$. Это значит, что $\varphi_m = 54^o44'$.

При пропорциональной схеме намотки $tg\,\varphi = \dfrac{\rho_o}{\rho_o + r\cos\beta} tg\,\varphi_m$.

Для всех технологических схем намотки имеется следующее ограничение для угла намотки при $\beta = \pi$: $\dfrac{\pi}{2} - \sqrt{\dfrac{\rho_o - r}{\rho_o}} \leq \varphi \leq \dfrac{\pi}{2}$.

В [3,4] получены зависимости толщины стенки $h = h(\beta)$ в зависимости от технологической схемы намотки. При укладке с нахлестом толщина стенки будет минимальной при $\beta = 0^o$, а при $\beta = 180^o$ - максимальной (см. рис. 1). Зави-

симость $h = h(\beta)$ находится из условия постоянства коэффициента армирования: $h = h_m \dfrac{\rho_o \sin\varphi_m}{(\rho_o + r\cos\beta)\sin\varphi}$, где $h_m = h_c$ - средняя толщина стенки на экваторе тора, равная толщине цилиндрической оболочки, сопряженной с криволинейным участком.

При намотке с постоянным углом армирования $\varphi = \varphi_m = const$ формула упростится: $h = h_m \dfrac{1}{1 + S\cos\beta}$, где $S = r/\rho_o$.

В методике расчета, представленной в [3], где для определения напряженно-деформированного состояния криволинейной трубы используются тригонометрические ряды, эта зависимость представляется в виде разложения в тригонометрический ряд:

$$h = h_m \frac{1}{1 + S\cos\beta} = h_m\left(1 - S\cos\beta + S^2\cos^2\beta - S^3\cos^3\beta + \ldots\right)$$

На основании численного анализа МКЭ [4] сделан вывод: технологические схемы армирования и способы укладки слоев не оказывают заметного влияния на параметры напряженно-деформированного состояния криволинейных труб из АП при чистом изгибе. Расхождение результатов в зависимости от траектории намотки не превышает 2%, от способа укладки – 8%. Эти выводы позволяют при решении задачи определения напряженно-деформированного состояния в криволинейных трубах [3] приближенно принимать $\varphi = \varphi_m = const$, а переменность толщины учитывать, оставляя первых три слагаемых в разложении (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянин, П. Н. Производство широкофюзеляжных самолетов/ П. Н. Белянин. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

2. Изготовление трубопроводов гидрогазовых систем летательных аппаратов/ Б. Н. Марьин, В. М. Сапожников, Ю. Л. Иванов и др.- М.: Машиностроение, 1998. – 400 с.

3. Багмутов, В. П. Расчет и рациональное проектирование криволинейных труб из армированных пластиков: монография/ В. П. Багмутов, В. Н. Тышкевич, В. Б. Светличная; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград, 2008. - 158 с.

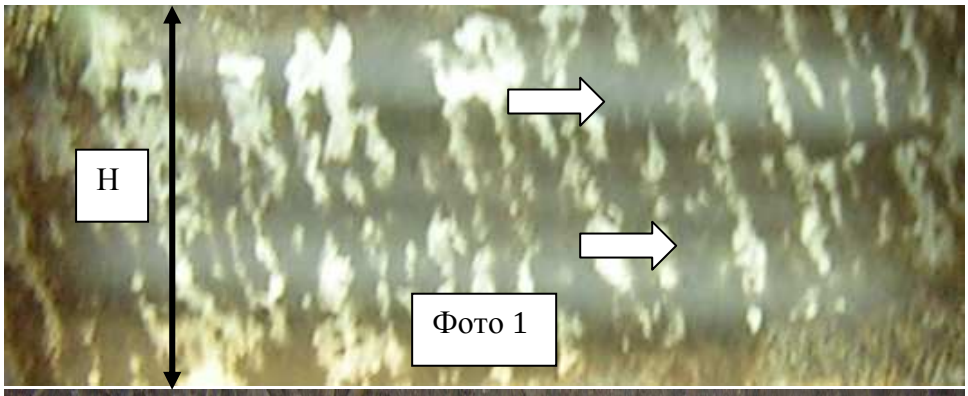
4. Куликов, Ю. А. Механика трубопроводов из армированных пластиков: Монография/ Ю. А. Куликов, Ю. В. Лоскутов.– Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 156 с.

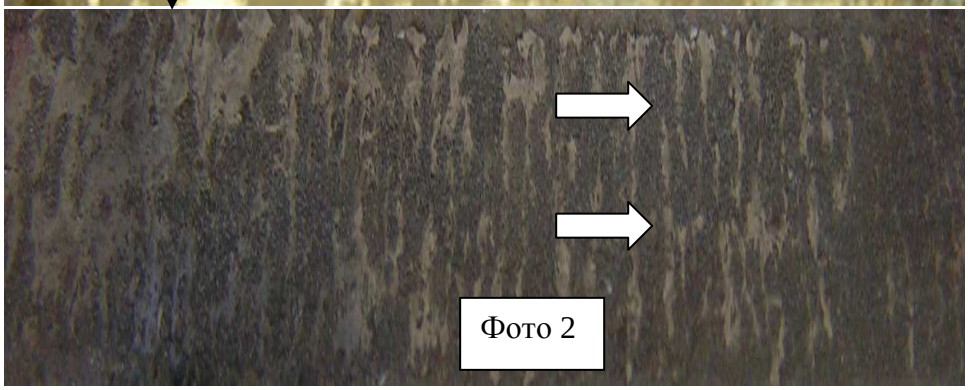
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТРАТ ПРИ МИЛЛИСЕКУНДНОМ ВЗРЫВЕ ПЛОСКОЙ ФОЛЬГИ

А.Л. Суркаев, М.М. Кумыш, С.О. Зубович, В.И.Усачев
Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

Электрический взрыв металлических проводников (ЭВП) [1-3], представляющее собой уникальное физическое явление, сопровождается порождением страт – чередующихся слоёв с различным значением плотности вещества. На сегодняшний день не существует единой точки зрения, объясняющей данный феномен. Возникновение страт также наблюдается при электрическом взрыве фольг (ЭВФ) [4].

Целью данной работы является экспериментальное исследование стратообразования при электрическом взрыве плоской алюминиевой фольги в воздухе. Экспериментальная установка представляет собой энергетический накопитель конденсаторного типа с электродной системой, предназначенной для осуществления электрического взрыва плоской фольги [5]. Максимальное напряжение конденсаторов $U_0 = 2$ кВ. Взрывающаяся фольга располагалась между двумя полосками стекла, причем одна поверхность фольги располагалась непосредственно на нижнем стекле, второе же стекло находилось на расстоянии $h = 2$ мм от первого. На фото 1 и 2 представлен образец результата эксперимента, где наблюдается поперечное (показано стрелками) чередование плотности вещества электрического взрыва алюминиевой фольги. На образце ярко выражено наличие поперечных полос в количестве порядка $N \approx 50$ шт. при взрыве алюминиевой полоски фольги толщиной $h = 0.15$ mm длиной $L = 65$ mm. Ширина полосы $H = 10$ mm. В экспериментах использовался запоминающий электронный осциллограф. На фото 3 представлены характерные осциллограммы разрядного тока и напряжения от времени (верхняя кривая – напряжение, нижняя кривая – разрядный ток). Из осциллограмм отчетливо вид-





но существование паузы тока. Первый пик описывает поведение фольги до момента собственно ее взрыва. Дальнейшее поведение кривой описывает электрический разряд по продуктам взрыва фольги. Возникновение страт можно рассматривать как результат развития перегревных МГД-неустойчивостей. В случае, когда удельное сопротивление вещества увеличивается с ростом температуры, развитие перегревных МГД-неустойчивостей приводит к стратообразованию.

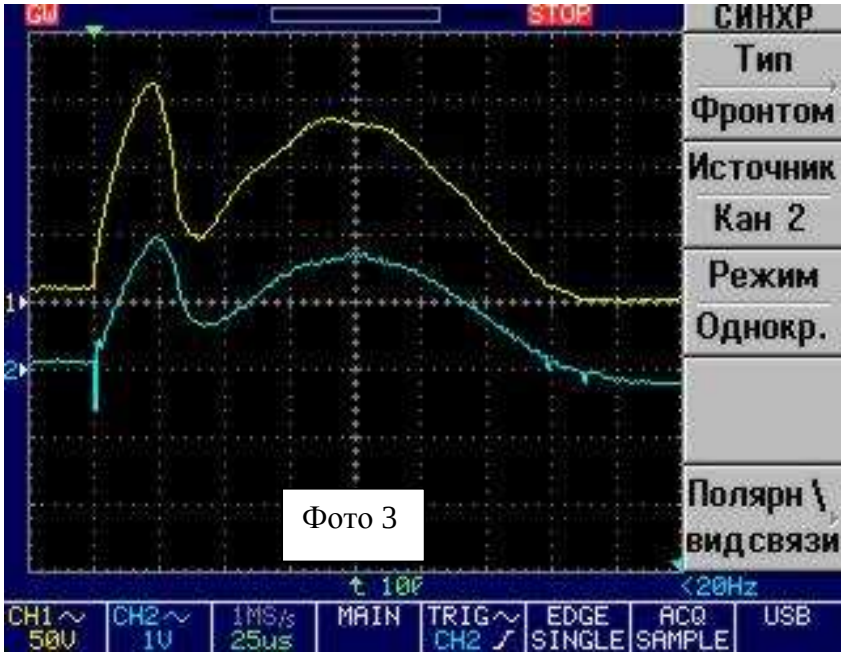


Фото 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывающиеся проволочки. / Под ред. А.А. Рухадзе. М: ИЛ, 1959.

2. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. - Киев: Наукова думка, 1986. – 205 с.

3. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. - М: Энергоиздат, 1990. - 217 с.

4. Белько В.О., Емельянов О.А. Исследование наносекундного электрического взрыва тонких алюминиевых пленок. // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 18. С. 58-64.

5. Суркаев А.Л., Слепцов О.А. Электрогидроимпульсный способ запрессовки труб в труднодоступных местах. - Патент № 2125496 А1. - 1999.

ЭЛЕМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПЛОСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ФОЛЬГИ В КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЕ

А.Л. Суркаев, М.М. Кумыш, С.О. Зубович, В.И. Усачев
Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

Электрический разряд (ЭР) и электрический взрыв металлических проводников (ЭВП) в конденсированных средах находят многостороннее применение и требуют проведение дальнейших исследований для получения достоверной информации, в частности, об амплитуде и форме генерируемых ударных волн [1, 2].

Целью работы является разработка и апробирование информационно-измерительной системы (ИИС), предназначенной для исследования импульсного гидродинамического давления, возникающего при ЭВП в конденсированной среде. Основным функциональным элементом ИИС, который предопределяет отклик ИИС, является взрываемый проводник, выполненный в виде плоского кольца из алюминиевой фольги. Особенностью данной работы является то, что разрядный ток проходит радиально по кольцевой фольге (КФ) от центра к периферии. Блок-схема ИИС (рис. 1) включает в себя следующие элементы: 1) **накопитель энергии,** состоящий из блока питания, высоковольтного трансформатора, выпрямителя напряжения и конденсаторной батареи; 2) **коммутатор,** обеспечивающий передачу энергии с накопителя на КФ и состоящий из блока запуска (БЗ) и искрового разрядника (Р); 3) **взрывной элемент**, представляющий собой кольцевую алюминиевую фольгу, 4) **датчики** контрольно-измерительной системы, - напряжения U на взрывающемся проводнике, сила разрядного тока I и давление P ударно-акустической волны; 5) **аналого-цифровые преобразователи** (АЦП), предназначенные для визуализации и обработки поступающих электрических сигналов. В качестве АЦП использовались электронно-лучевые осциллографы.

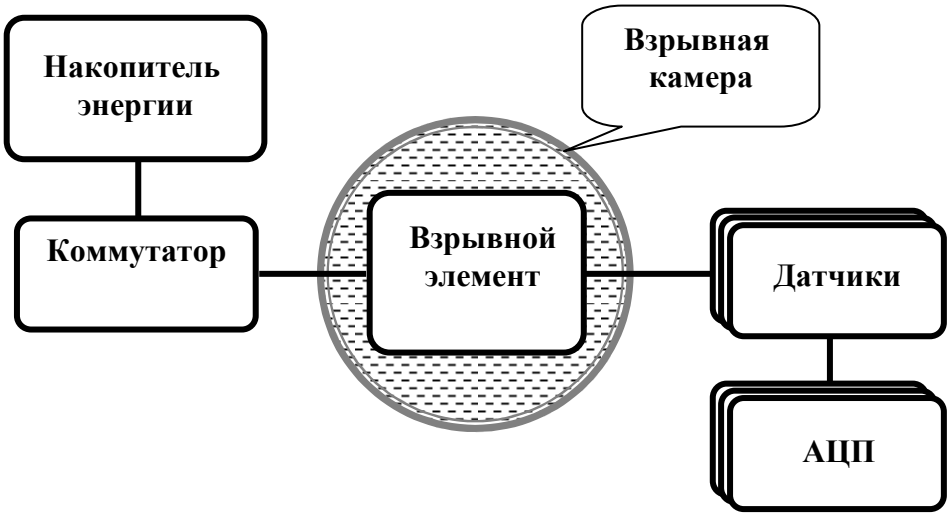


Рис. 1. Блок-схема ИИС

Измерение напряжения между электродами осуществлялось с помощью омического делителя напряжения. Для измерения силы тока использовался пояс Роговского. Для регистрации давления применялись пьезокерамические элементы типа ЦТС-19. Электрические сигналы, вырабатываемые соответствующими преобразователями, поступали на запоминающий двуканальный цифровой осциллограф с последующей передачей на компьютер.

Наиболее проблематичной [3] является задача определения параметров ударно-акустической волны в конденсированной среде, генерируемой при электрическом взрыве плоской металлической кольцевой фольги, этому и посвящена данная работа. С этой целью в рамках допущения квазистационарности процесса была дана оценка давления ударно-акустической волны в конденсированной среде (вода) в зависимости от так называемого «интеграла действия» $S = \int_0^t J^2 dt$, где *J(t)* – сила разрядного тока [4].

Расчет давления был произведен для камеры с недеформируемыми стенками, в виде усеченного конуса (рис. 2). На одном из её торцов меньшего диаметра, выполненного из твердого диэлектрика, располагается взрывающаяся плоская кольцевая фольга. Взрывная волна распространяется в объеме усеченного конуса вдоль его оси. Высота конуса H соответствует расстоянию от взрывающейся фольги до крышки камеры. Радиус меньшего основания усеченного конуса R_1 совпадает с внешним радиусом взрывающейся фольги. Радиус большего основания усеченного конуса R совпадает с внутренним радиусом крышки взрывной камеры. Считаем, что при взрыве плазменное образование имеет форму кольца с внешним радиусом R_1 и внутренним радиусом r_1, толщины h, которое по мере нарастания разрядного тока увеличивается.

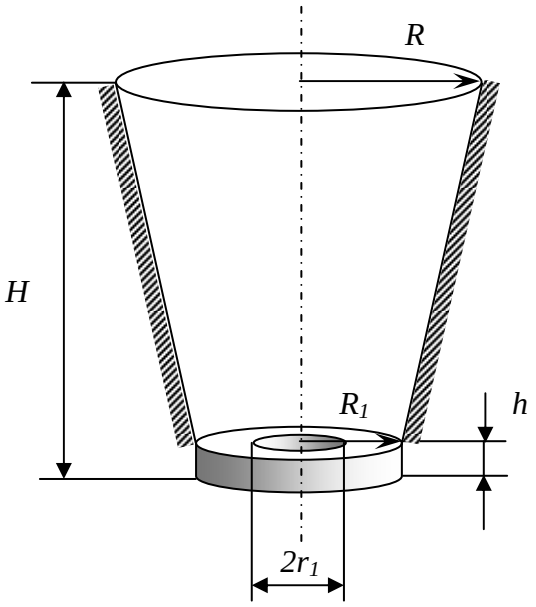


Рис. 2

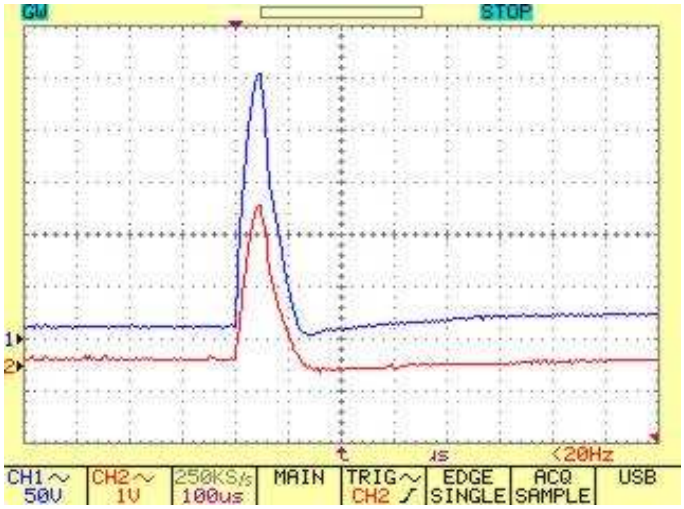
В случае выполнимости условия $h << H$ или что тоже $\frac{h}{H} << 1$, которое обычно реализуется в замкнутой и жесткой взрывной камере, имеем:

$$P \approx \frac{3\alpha A h\left(R_1^2 - r_1^2\right)}{H\left(R^2 + RR_1 + R_1^2\right)}.$$

Дальнейшие расчеты позволяют определить давление $P = P(S)$ в зависимости от интеграла действия *S*.

$$P = 3\cdot\left[\frac{\alpha A}{\pi H\left(R^2 + RR_1 + R_1^2\right)}\right]^{\frac{2}{3}}\cdot\left[\frac{(\gamma-1)\left(R_1^2 - r_1^2\right)\cdot \ell n\left(R_1/r_1\right)}{2\sigma(\gamma+1)}\cdot S\right]^{\frac{1}{3}}.$$

Полученные формулы применимы для оценок в случае электрического разряда, протекающего радиально по кольцевой фольге, установленной в торце замкнутой взрывной камеры, изготовленной в виде усеченного конуса с жесткими стенками.



В экспериментальной установке взрывная камера в отличие от показанной на рис. 2 была перевернута так, что взрывающаяся плоская кольцевая фольга находилась сверху, а пьезокерамический преобразователь находился на ее дне. Камера заполнялась водой. С пьезодатчика напряжение подавалось на вход электронного осциллографа ЭО. При ЭВП происходит генерация ударно-акустической волны в воде вследствие резкого расширения плазменного образования. Через воду ударный импульс передается пьезокерамическому преобразователю, который генерирует электрический сигнал, регистрируемый запоминающим электронным осциллографом.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. - Киев: Наукова думка, 1986. – 205 с.

2. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. - М: Энергоиздат, 1990. - 217 с.

3. Суркаев А.Л., Слепцов О.А. Электрогидроимпульсный способ запрессовки труб в труднодоступных местах. - Патент № 2125496 А1. - 1999.

4. Шнеерсон Г.А. Оценка давления при медленных режимах искрового разряда в цилиндрической камере, заполненной водой. // ЖТФ. 2003. т.73. Вып. 3. С. 100-101.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОГЛАСОВАННОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ПРОВОДНИКОВ

А.Л. Суркаев, С.О. Зубович, М.М. Кумыш, В.И. Усачев
Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ

Задача связана с электрическим взрывом последовательно соединенных металлических проводников цилиндрической формы. Явление электрического

взрыва (ЭВП) проводников находит широкое применение в технике и науке. Исследователей привлекает возможность быстрого изменения свойств проводников и эффективного преобразования первичной электрической или магнитной энергии накопителей в тепловую энергию, излучение образующейся плазмы, энергии ударных волн. Среди прикладных разработок можно отметить: создание импульсных источников электромагнитного излучения, в том числе рентгеновского, оптическую накачку газовых лазеров, обработку материалов ударными волнами, получение высокодисперсных нанопорошков, нанесение нанопокрытий на поверхность объектов, создание быстродействующих электровзрывных размыкателей тока для высоковольтных и сильноточных электрических цепей, разработки электровзрывного оружия [1, 2, 3] и др.

Целью работы является экспериментальное исследование электрического взрыва последовательно соединенных медных проволочек и проведение анализа с результатами исследований при реализации согласованного режима

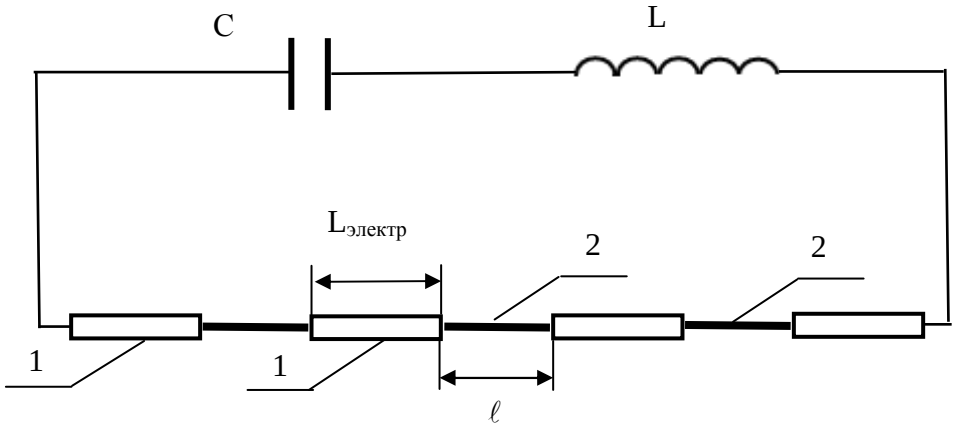


Рис. 1 Схема эксперимента электрического взрыв последовательно соединенных проводников: C – емкость накопителя конденсаторного типа; L – индуктивность разрядного контура; 1 – проводники; 2 – электроды.

электрического взрыва.

На рис.1 представлена схема традиционной экспериментальной установки. В процессе проведения экспериментов использовались медные электроды длиной $L_{электр} = 2$ см, к которым припаивались три взрывающиеся проволочки диаметром $d = 0.4$ mm. Сборка располагалась линейно. Осциллограф подключался параллельно сборке. Длина проволочек изменялась, соответственно, $\ell_1 = 1$ см; $\ell_2 = 2$ см; $\ell_3 = 3$ см.

На рис. 2 представлены осциллограммы тока и напряжения от времени (левый столбец) для сборки и аналогичные осциллограммы для электрического взрыва цельного проводника соответствующей длины. Результаты показывают идентичность протекающих процессов при взрыве как линейного проводника, так и сборки. При этом следует отметить, что генерируемая ударно-

акустическая волна в силу нелинейности взаимодействия [4, 5] отличается от волны, генерируемой линейным цельным проводником.

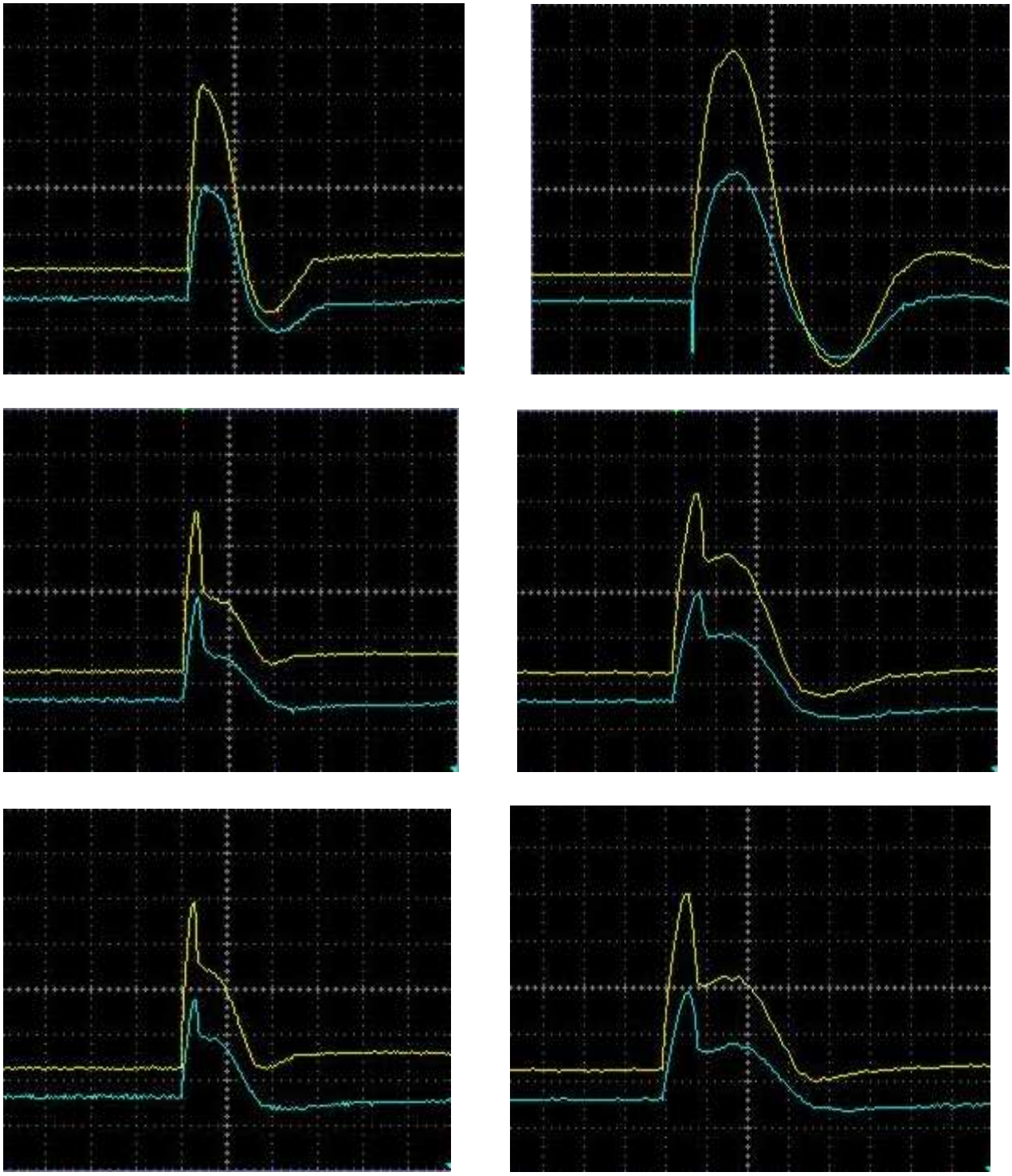


Рис. 2 Осциллограммы тока и напряжения от времени

ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывающиеся проволочки. / Под ред. А.А. Рухадзе. М: ИЛ, 1959.

2. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. Киев: Наукова думка, 1986.– 205 с.

3. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. - М: Энергоиздат, 1990. - 217 с.

4. Исакович М.А. Общая акустика. – Москва: Наука, 1973. - 496 с.

5. А.Л. Суркаев, Ю.П.Муха. Исследование эффекта нелинейности взаимодействующих ударно-акустических волн давления/ ПЖТФ т. 28, № 15, 2002. С. 43-45