

УДК 621.791.037(204.01)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ГЕОМЕТРИИ ГОРЕЛКИ С
ВОДЯНОЙ ЗАВЕСОЙ СОПЛА
НА ПРОЦЕСС ПОДВОДНОЙ
СВАРКИ***

*Д. В. Rogozin, И. В. Maslov, Д. А.
Koronchik*

Донской государственный
технический университет, г.
Ростов-на-Дону, Российская
Федерация
deagls666@mail.ru

Аннотация. Исследованы гидродинамические процессы подводной дуговой сварки с водяной завесой сопла методом численного моделирования, представлена последовательность и методика конечно-элементного расчета в нестационарной постановке. Проведен сравнительный анализ влияния угла подачи воды к свариваемой детали.

Ключевые слова: сварка с

UDC 621.791.037(204.01)

**STUDY OF GEOMETRY BURNER
WATER CURTAIN NOZZLE
ONTO PROCESS UNDERWATER
WELDING**

*D. V. Rogozin, I. V. Maslov, D. A.
Koronchik*

Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation
deagls666@mail.ru

Abstract. Studied the hydrodynamic processes of underwater arc welding with a water curtain nozzle numerical simulation method, shows the sequence and method of finite element calculation in the unsteady formulation. A comparative analysis of the impact of the water supply to the corner of the workpiece.

Keywords: water curtain welding,

* Работа выполнена по гранту РФФИ №16-38-60055 мол_а_дк (<https://kias.rfbr.ru/Application.aspx?id=14677513>)

водяной завесой, локальная
защита, подводная сварка,
вычислительная гидродинамика

local cavity, underwater welding,
computational fluid dynamics

Введение. Интенсивное развитие добычи нефти и газа в шельфовой зоне морей и океанов обуславливает необходимость строительства морских буровых платформ. Их монтаж и ремонт связан с необходимостью сварки под водой. В настоящее время проведение подводно-технических сварочных работ осуществляется преимущественно ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, что сопряжено со значительными проблемами, к которым относится повышенное разбрызгивание, выделение аэрозолей, затруднение визуального контроля за процессом плавления металла и формированием шва, повышенная трудоемкость при манипулировании электродом и его замене. Уменьшение трудоемкости и улучшение качества сварных соединений может быть достигнуто за счет применения механизированной подводной сварки [1]. Современное отечественное автоматическое и механизированное оборудование и порошковые проволоки для подводной сварки отсутствуют. Одним из перспективных направлений развития подводной сварки является механизированная сварка сплошной проволокой в защитном газе с использованием горелки (Рис. 1), которая обеспечивает локальную защиту зоны сварки при помощи водяной завесы сопла. Она оборудована двумя концентрически расположенными соплами, из внешнего подается вода под углом к свариваемой детали, а из внутреннего защитный газ в зону сварки. На выходе из сопла высокоскоростной поток воды образует водяную завесу, которая обеспечивает безводную среду в зоне сварки. Проектирование и определение оптимальных режимов работы данной горелки на различных глубинах и в различных пространственных положениях затруднительно из-за большого количества одновременно протекающих физических процессов, а для натуральных экспериментов требуется сложное лабораторное оборудование.

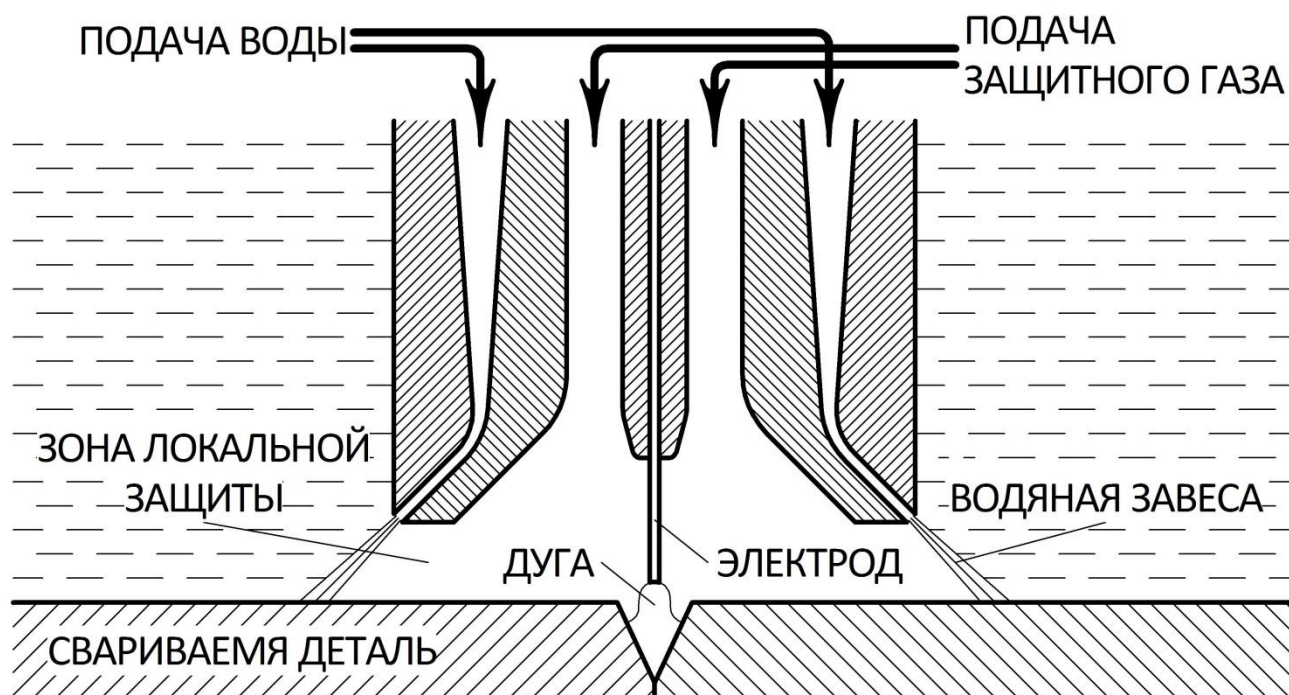


Рис. 1. Схема горелки с водяной завесой сопла

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование гидродинамических процессов подводной дуговой сварки с водяной завесой сопла при разных углах подачи воды к свариваемой детали методом численного моделирования.

Теоретическая часть. Основными геометрическими параметрами, влияющими на работу горелки с водяной завесой сопла, являются форма внутреннего и внешнего сопел, их диаметры и толщина канала на выходе из внешнего сопла. Также на процесс сварки влияют настраиваемые параметры, это скорость подачи воды, газа и зазор между наконечником сопла и свариваемой деталью. Важнейшим геометрическим параметром является угол подачи воды к свариваемой детали, он формирует форму зоны локальной защиты, влияет на возможность попадания воды в зону сварки, также от этого параметра зависит необходимая скорость подачи воды. Данный параметр может быть исследован с помощью плоского макета разреза горелки [2], но в связи с тем, что в поперечном разрезе горелка имеет форму окружности, расчет с использованием секторной части геометрии будет наиболее приближен к реальным условиям. В качестве расчетной области использовалась CAD-модель секторной части с углом 6° . Для CFD-расчета

CAD-модель расчетной области должна быть представлена сеткой контрольных объемов. Разбиение геометрической модели сеткой выполняется в сеткогенераторе. Конечно-элементная сетка представлена на рисунке 2. Количество узлов в расчетной сетке ~91600, количество элементов ~456100.

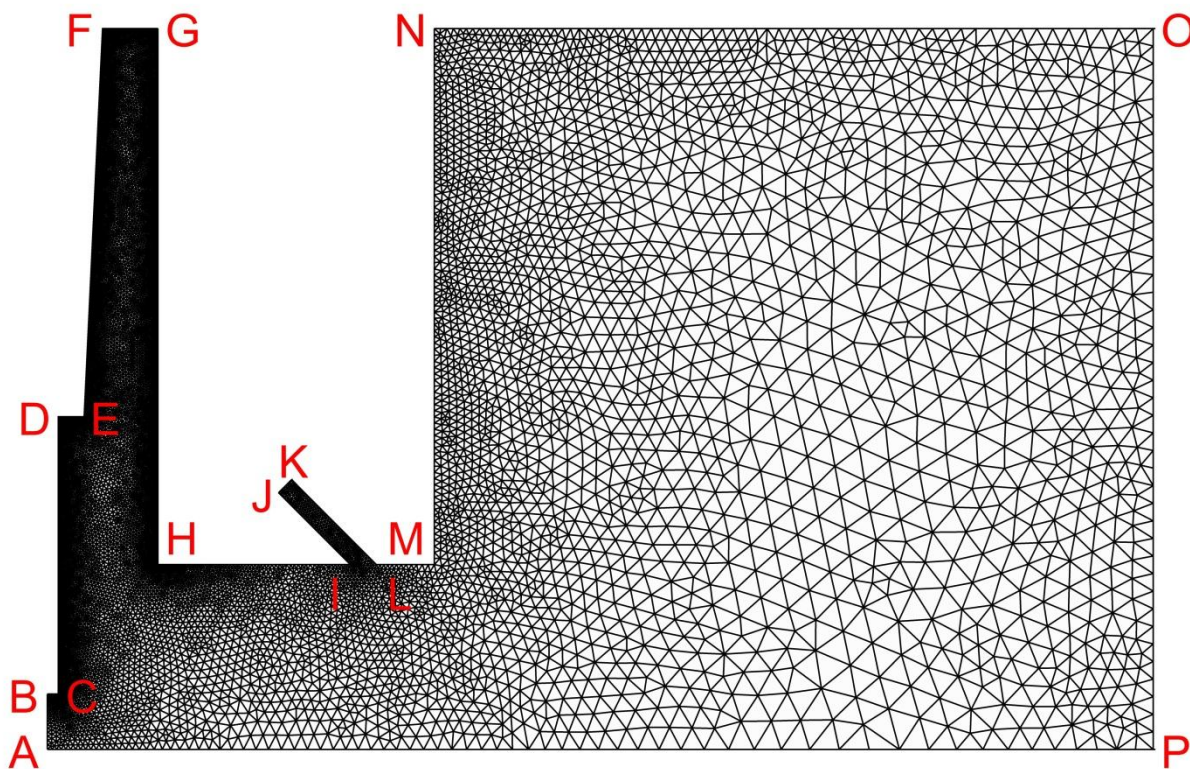


Рис. 2. Конечно-элементная сетка

Из сеточной была создана расчетная модель путем наложения граничных условий, параметров моделируемых процессов и задания настроек решателя. В первую очередь, это набор уравнений, которые требуется решать и начальные параметры [3]. Расчет произведен с параметрами глубины 10 м, подача CO_2 60 л/мин, подача воды 60 л/мин для углов 30, 45 и 60 градусов. С учетом повышения давления на глубине и сжимаемости газа, подача воды и CO_2 был заданы через массовый расход для сопоставления с нормальными условиями. Условия на элементы и основные значения граничных условий представлены в таблице 1. Так как расчет производился с использованием секторной части геометрии на боковых поверхностях задано условие симметрии. Для расчета была применена нестационарная постановка задачи, т.к. используя стационарную неявно делается естественное, на первый взгляд, предположение о том, что при использовании

стационарных краевых условий течение должно довольно быстро перейти в стационарный режим. В большинстве случаев, как показали численные и натурные эксперименты, это действительно так. Однако стационарная модель может быть применена не к любой задаче о течении вязкой несжимаемой жидкости. Во-первых, нет строгих теорем, которые бы гарантировали установление течения для любых значений чисел Рейнольдса. Во-вторых, существуют известные парадоксы симметрии вязких течений и численные расчеты некоторых нестационарных задач, которые демонстрируют отсутствие стационарного режима течения при стационарных краевых условиях [4].

Таблица 1

Условия на элементы и основные значения граничных условий

Условия на элементы	
<i>Поверхность</i>	<i>Условие</i>
B-F, G-J, K-N, PA	WALL
FG	INLET CO ₂
JK	INLET WATER
N-P	OPENING
Остальные поверхности	SYMMETRY
Основные значения граничных условий	
<i>Условие</i>	<i>Значение</i>
Давление в расчетной среде	2 атм
Гравитация по оси Y	-9.81 м/с ²
Модель турбулентности	k-ε
Коэффициент поверхностного натяжения воды	0.072 Н/м
Массовый расход CO ₂	0.032946 г/с
Массовый расход воды	16.666666 г/с
Общее время	0.6 с
Шаг по времени	0.001 с

На рисунке 3 представлены результаты численного моделирования $t=0.5$ с, на рисунке 4 $t=0.6$ с. Можно заметить, что на данном промежутке времени (0.1 с) течения не переходят в стационарный режим. Существенное влияние на его возникновение или отсутствие оказывает геометрия области решения и разница физических свойств воды и углекислого газа, что влечет за собой образование

газовых пузырей, а их отрыв является периодическим. Следовательно, данный процесс не может переходить в стационарный режим и имеет периодический характер.

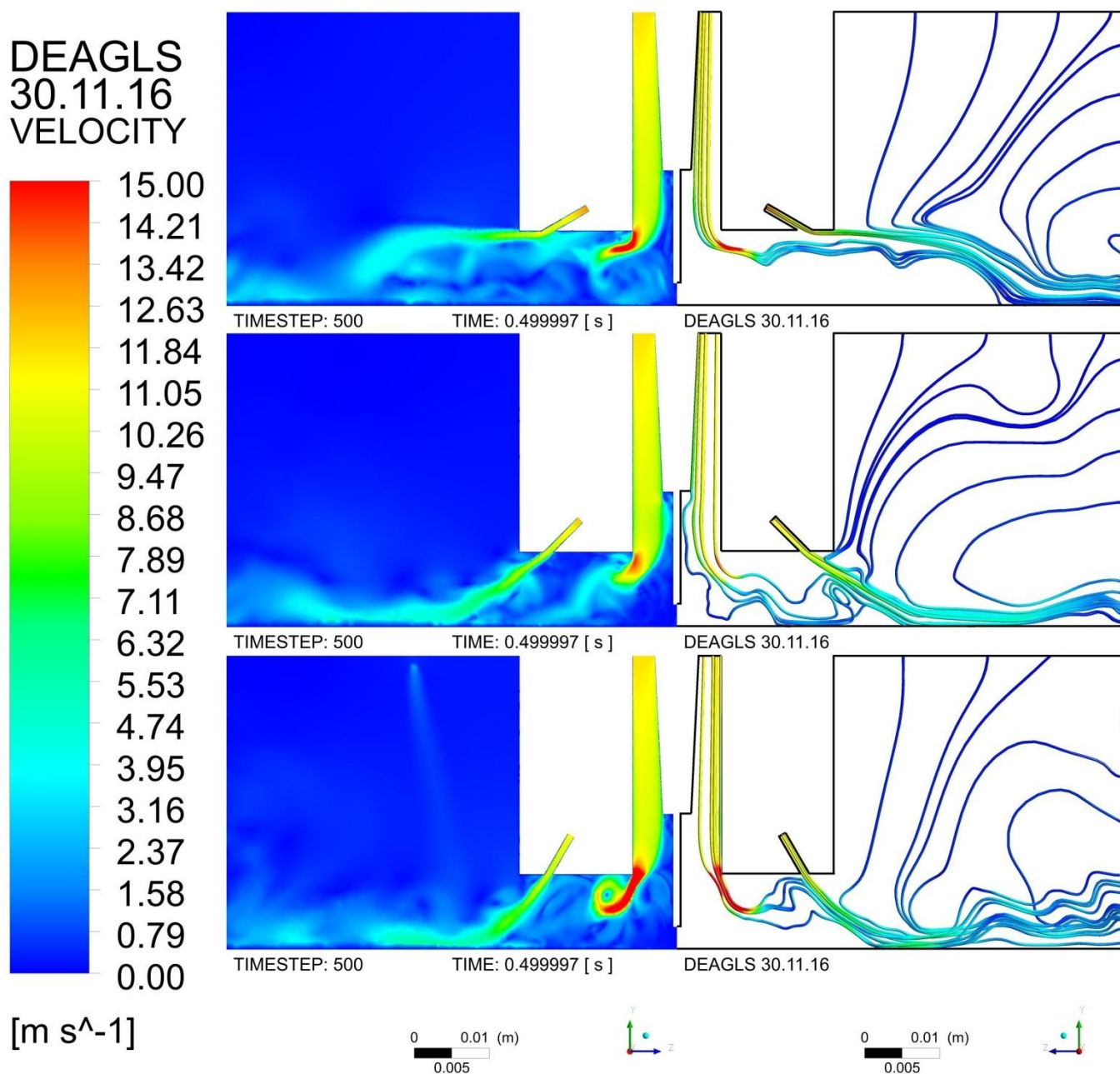


Рис. 3. Поля скоростей и линии тока, $t=0.5$ с

Также анализируя результаты моделирования видно, что с углом подачи воды 30 градусов водяная завеса имеет больший диаметр на поверхности свариваемой детали, т.к. срывается потоком защитного газа. Это способствует увеличению диаметра зоны локальной защиты, что снижает вероятность появления закалочных структур, но имеет больший угол и меньшую скорость потоков завесы вблизи поверхности свариваемых деталей. Следовательно, с уменьшением угла подачи

воды для обеспечения надежности газовой защиты зоны сварки требуется увеличение скорости потоков водяной завесы.

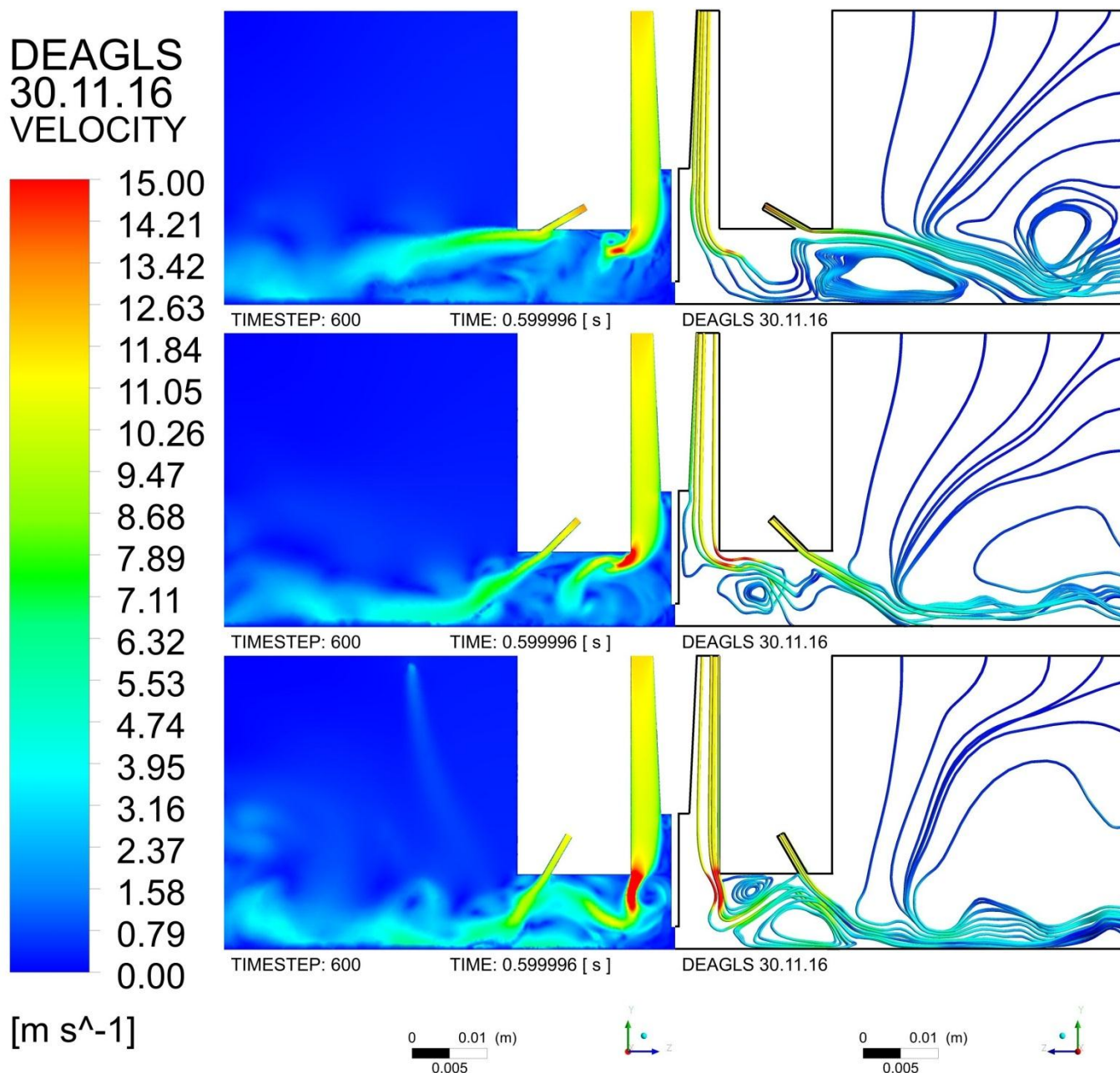


Рис. 3. Поля скоростей и линии тока, $t=0.6$ с

При подаче воды под углом 45 и 60 градусов водяная завеса имеет меньший диаметр, но большую скорость вблизи поверхности свариваемой детали, соответственно под данными углами требуется меньшая скорость подачи воды. Угол 45 градусов обеспечивает более равномерное течение воды по поверхности свариваемой детали, т.к. является более острым и потери кинетической энергии от взаимодействия с деталью значительно меньше, чем при подаче под углом 60 градусов. Это способствует высвобождению газовых пузырей на большем

расстоянии от зоны сварки и увеличению диаметра газовой прослойки под завесой, что снижает вероятность попадания воды в зону локальной защиты. При данных условиях угол подачи воды не оказывает значительного воздействия на скорость потоков защитного газа вблизи дуги. На выходе из сопла его скорость достигает 15 м/с, но вблизи дуги течения практически отсутствуют. Это очень важный параметр для данного способа сварки, т.к. расход защитного газа достигает 120 л/мин [5], его струя может сжимать дугу. Это приводит к увеличению силы действия струи защитного газа на каплю электродного металла, частоты переноса капель электродного металла в сварочную ванну и интенсивности протекания металлургических процессов на поверхности капли. Значительное изменение динамики защитного газа влечет за собой изменение процессов, протекающих в зоне сварки [6]. Таким образом, 45 градусов является наиболее оптимальным углом подачи воды к свариваемой детали.

Выводы. В результате исследования численным методом было установлено, что процесс подводной дуговой сварки с водяной завесой сопла не может переходить в стационарный режим, и имеет периодический характер, что требует моделирования в нестационарной постановке.

С уменьшением угла подачи воды для обеспечения надежности газовой защиты зоны сварки требуется увеличение скорости потоков водяной завесы.

Увеличение угла подачи воды повышает потери кинетической энергии и снижает качество газовой защиты.

Угол подачи воды 45 градусов является оптимальным, т.к. позволяет наиболее эффективно использовать энергию водяной завесы и имеет лучшие показатели защиты зоны сварки.

Библиографический список.

1. Паршин С.Г., Нестеров Д.М. Погружной механизм подачи проволоки для подводной сварки в водной среде. – Сб. докладов науч.-практ. конф. в рамках Недели науки СПбПУ. – Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч.2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015, с.112- 116.

2. 浜崎, 榊原, "水カーテン式水中炭酸ガスアーク溶接法の研究, 溶

接学会誌, Vol. 42, 1973, No. 9, pp. 55~64

3. Маслов И.В. Численное моделирование потоков защитного газа при подводной дуговой сварке с водяной завесой сопла в программном комплексе ANSYS CFX // Блокнот молодого учёного. Выпуск 1. / ДГТУ. Ростов-на-Дону: ДГТУ. 2016. 1 CD ROM.

4. Захаров Ю.Н., Иванов К.С. О нестационарных решениях в задачах гидродинамики со стационарными краевыми условиями / Ю.Н. Захаров, К.С. Иванов // Вычислительные технологии — 2013. — Т. 18, № 1 . — С. 24–33.

5. 이규복, 황선효, 박영조, 김종열 ; "국부건식(물커튼식)수중용접법에 관한 연구", 大韓溶接學會誌, v.10 no.2, 1992년, pp.51-62

6. Филимоненко А.Г., Готовщик Ю.М., Чинахов Д.А. Моделирование влияния ветра на истечение защитного газа при сварке в полевых условиях // Математика в естественнонаучных исследованиях: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С213-217.

Сведения об авторах

Ф. И. О. (полностью)	Рогозин Дмитрий Викторович
Ученая степень	Кандидат технических наук
Ученое звание	Доцент
Должность	Заведующий кафедрой «Машины и автоматизация сварочного производства»
Место работы, учебы (полное наименование организации)	Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Адрес места работы, учебы (с указанием страны)	РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
Контактный телефон (для иногородних с указанием тел. кода города)	2738591
Адрес электронной почты	dim-1972@ya.ru
Адрес, на который следует выслать авторский экземпляр журнала (с указанием почтового индекса)	РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1, к.118

Ф. И. О. (полностью)	Маслов Иван Васильевич
Ученая степень	-
Ученое звание	-
Должность	-
Место работы, учебы (полное наименование организации)	Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Адрес места работы, учебы (с указанием страны)	РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
Контактный телефон (для иногородних с указанием тел. кода города)	8 918 555 22 84
Адрес электронной почты	deagls666@mail.ru
Адрес, на который следует выслать авторский экземпляр журнала (с указанием почтового индекса)	РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1, к.118

Ф. И. О. (полностью)	Корончик Денис Алексеевич
Ученая степень	Кандидат технических наук
Ученое звание	-
Должность	Младший научный сотрудник, старший препод.
Место работы, учебы (полное наименование организации)	Донской государственный технический университет (ДГТУ)
Адрес места работы, учебы (с указанием страны)	РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1
Контактный телефон (для иногородних с указанием тел. кода города)	89508585142
Адрес электронной почты	koronchic@mail.ru
Адрес, на который следует выслать авторский экземпляр журнала (с указанием почтового индекса)	344015, г. Ростов-на-Дону, ул. Мечникова 77/1 кв. 55