

воздуховоду 11 удаляется в атмосферу. Оработанная вода по трубопроводу 12 периодически сливается в перекачиваемые сточные воды на дальнейшую обработку.

Предлагаемая технология очистки и обезвреживания канализационных выбросов представляется своевременной, актуальной, обладающей научной новизной и технико-экономическими преимуществами. По предварительным оценкам, затраты на обработку 1000 м³ воздуха по данной технологии могут составить порядка 3...5 ВУН. Однако, не смотря на то, что технико-экономические показатели отдельных элементов технологической схемы (озонаторы, струйные аппараты и т.п.) известны, предстоит выполнить необходимые НИР и ОКР с целью разработки метода, выполнения расчетов, общего моделирования и оптимизации с целью внедрения на объектах ЖКХ и в других отраслях народного хозяйства для решения современных проблем защиты окружающей среды.

Список использованных источников:

1. Свинко С.В. и др. Очистные сооружения как источник неприятного запаха: причины, характеристики и методы борьбы // Водоснабжение и санитарная техника, РФ – 2016, № 7, с. 24-32.
2. Зигуненко С. Адский сценарий с участием бактерий // Инженер, РФ – 2004, № 6, с. 23-24.
3. Богомолов М.В. и др. Методы удаления запахов в системах транспортировки и очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, РФ – 2016, № 7, с. 33-42.

**Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Томашев И.Г.,
Романович А.Л.**

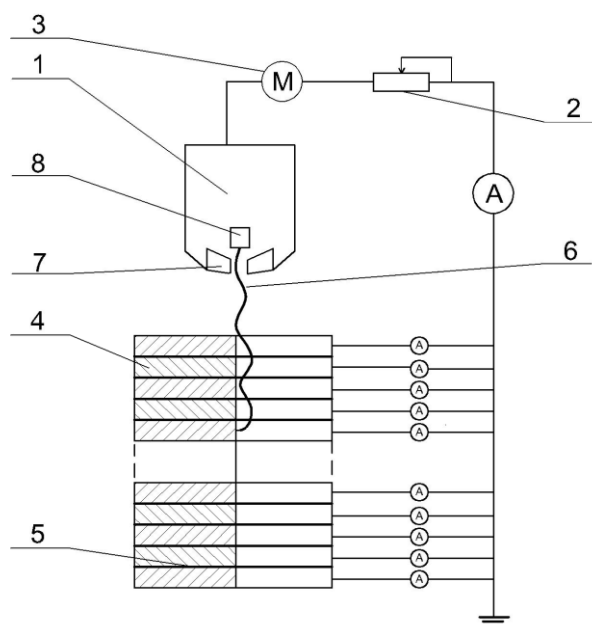
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКЕ

Брестский государственный технический университет, кафедра прикладной механики

Плазменная резка широко используется в различных областях производства [0], благодаря чему в настоящее время накоплен определенный опыт ее практического применения. Вместе с тем в существующей литературе ограничены работы по изучению тепловых процессов, происходящих при резке металлов, т. к. при резке плазменной дугой возникает сразу несколько источников тепла: подвижное пятно дуги, столб дуги и струя плазмы, причем каждый из них вносит свою долю тепла по всей высоте реза.

Разработанная экспериментальная установка состоит из плазмотрона, систем питания электроэнергией, рабочим газом – воздухом и охлаждающей водой, секционированной модели реза и систем измерения распределения тепловых потерь и токов плазменной дуги вдоль полущели, моделирующей рез в листовом металле (рисунок 1). Для проведения эксперимента использовался плазмотрон со сменными соплами с внутренним диаметром 3,5; 4,0; 5,0 мм. Расход воздуха через плазмотрон изменялся в пределах 1,0 – 4,0 г/с. Воздух подавался в дуговую камеру с закруткой с целью стабилизации дуги в дуговой камере на оси плазмотрона. Эксперименты проводились при прямой и обратной полярности подключения плазмотрона к источнику электропитания, когда внутренний электрод плазмотрона служил катодом или анодом.

В качестве модели полости реза использовался набор из охлаждаемых водой медных секций. Каждая секция диаметром 100 мм и толщиной 9,5 мм имела щель от центра секции по радиусу. Ширина щели была выбрана равной 8 мм, характерной при резке металлов большой толщины. Секции с помощью болтов соединялись так, что их щели образовали единую полость, моделирующую рез в листовом металле. Для тепло- и электроизоляции между секциями модели устанавливались стекловолоконные прокладки толщиной 0,2 мм, покрытые термостойким лаком. Высота секционированной модели в проведенных экспериментах составляла 107 мм. Модель устанавливалась на стойке под плазмотроном так, что образующая сопла плазмотрона проецировалась на оси полуокружности щели и секции.



1 – плазмотрон; 2 – балластное сопротивление; 3 – источник электропитания постоянного тока; 4 – секция модели полости реза; 5 – изолятор; 6 – электрическая дуга, 7 – сопло; 8 – электрод

Рисунок 1 - Схема электропитания плазмотрона и системы измерений

Для изучения распределения тока дуги вдоль реза была применена специальная электрическая схема измерений. Каждая секция модели электрически соединялась с положительным или отрицательным полюсом источника электропитания через амперметр типа Ц – 4311 класса точности 0,5. Для исследования распределения и тепловых потоков вдоль полости реза каждая секция модели отдельно охлаждалась водой. Индивидуальный подвод воды к секциям модели позволил провести измерение тепловых потерь от плазменной дуги в секции. Разность температур охлаждающей воды, протекающей через каждую секцию, измерялась дифференциальными транзисторными термодатчиками, которые погружались в воду в линиях подвода и отвода воды для каждой секции. Каждая пара транзисторов включалась в мостовую схему измерений, которая подключалась к информационно-измерительной системе типа К–200/4. Напряжения, соответствующие разности температур охлаждающей воды, протекающей через каждую секцию, последовательно подавались на специальное устройство для последующей обработки данных. Следует отметить, что предложенная модель полости реза в некоторой степени отличается от реального реза в листовом металле, производимого при помощи плазмотрона. Основное отличие заключается в том, что при резке в области взаимодействия плазменной дуги с металлом происходит его расплавление и испарение, а также вынос расплавленного металла потоком плазмы из полости реза.

Условия горения дуги, установление ее средней длины при резке металла могут отличаться от условий горения в полости разработанной модели. Для выявления этих особенностей были проведены исследования вольт-амперных характеристик дуги при

использовании секционированной модели. Результаты экспериментов сравнивались с вольт-амперными характеристиками (ВАХ) дуги, полученными непосредственно при резке металла. Сравнение ВАХ в исследованных диапазонах тока дуги и расхода рабочего газа показало, что их вид и величины напряжений при соответствующих токах отличаются незначительно. Это положение позволяет заключить, что условия горения дуги в секционированной модели приблизительно те же, что и условия горения дуги при резке металла. Тем не менее необходимы дальнейшие детальные исследования газодинамики и процессов установления длины дуги в полости реза с целью изыскания способов увеличения прорезающей способности плазменной дуги.

На рисунке 2 приведено типичное распределение тепловых потерь, приходящих на единицу длины вдоль оси модели полости реза при расходе воздуха $G = 2,5$ г/с, токе дуги $I = 140$ А, диаметре сопла $d_c = 4$ мм и расстоянии от среза сопла до модели $l = 12$ мм. На рисунке координаты сечения отнесены к их среднему сечению. Как видно из рисунка, максимальный тепловой поток приходится на первые две секции, далее вниз по потоку он экспоненциально уменьшается. Установлено, что изменение расхода в пределах 1,0-3,0 г/с рабочего газа через плазмотрон позволяет незначительно перераспределить характер теплообмена плазменной дугой и металлом полости реза.

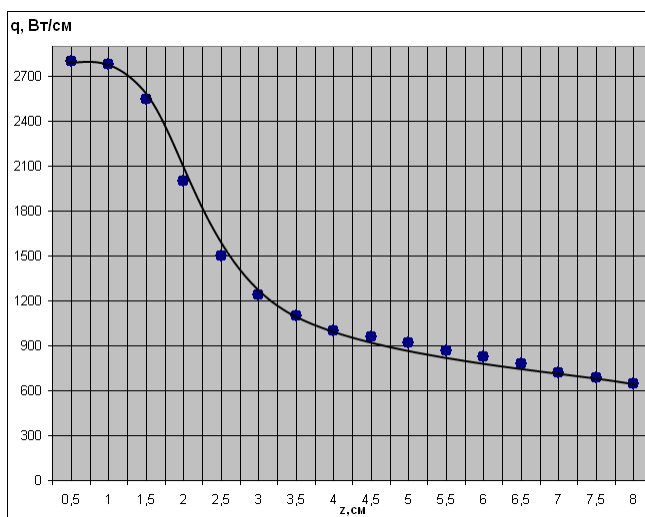


Рисунок 2 – Типичное распределение тепловых потерь вдоль реза при расходе воздуха $G = 2,5$ г/с, $I = 140$ А, $d_c = 4$ мм, $l = 12$ мм

Установлено также, что увеличение тока дуги от 60 до 160 А и ее мощности приводит к увеличению в 2 раза тепловых потоков в стенку реза и соответственно прорезающей способности плазмотрона.

Изучение распределения тепловых потерь вдоль полости реза при различных диаметрах сопла и расстояния плазмотрона до модели показали, что при изменении диаметра сопла от 3,5 мм до 5 мм и расстояния l плазмотрона до модели от 12 мм до 20 мм тепловые потоки вдоль полости реза изменяются незначительно. Однако следует отметить, что уменьшение диаметра сопла и расстояния l приводит к слабому возрастанию тепловых потерь во всех сечениях реза и, следовательно, к улучшению прорезающей способности плазмотрона.

Для изучения поведения дуги при прямой 1 и обратной 2 полярностях в полости реза были проведены измерения распределения тока дуги вдоль реза. На рисунке 3 приведены типичные усредненные на единицу длины токи в сечении в зависимости от расстояния вдоль полости реза при токе дуги 90 А, диаметре сопла 5 мм, расстоянии плазмотрона от металла 12 мм и расходе воздуха 2 г/с. Из полученных результатов следует, что распределение тока дуги вдоль реза существенно зависит от

полярности подключения дуги. Из сравнения зависимостей 1 и 2 можно сделать вывод, что при малых толщинах разрезаемого листа металла для увеличения скорости резки следует применять прямую полярность подключения плазмотрона, а при резке металла большей толщины – обратную полярность.

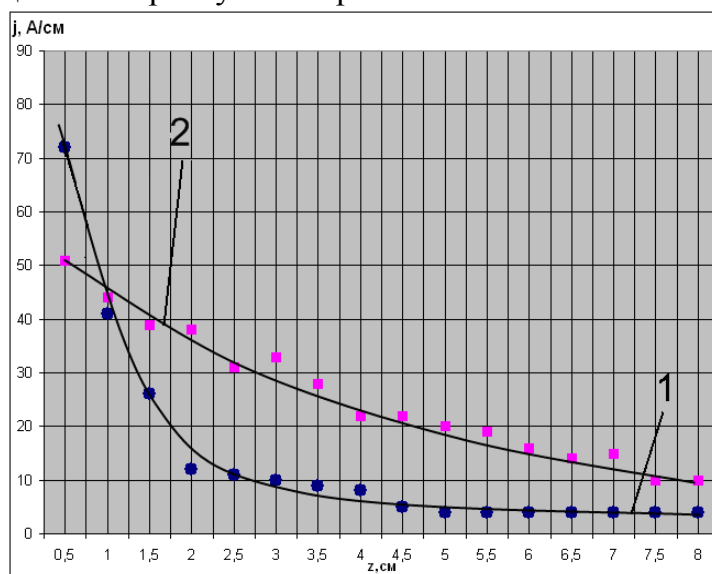


Рисунок 3 - Распределение усредненной плотности тока дуги вдоль реза при прямой 1 и обратной 2 полярностях $G = 2,0$ г/с, $d_c = 4$ мм, $l = 12$ мм, $I = 90$ А

Результаты исследования распределений тепловых потерь и тока дуги вдоль реза позволяют построить следующую газодинамическую модель потока газа и формирования дуги в полости реза.

При истечении газа из сопла плазмотрона в затопленное пространство плазменную струю можно представить состоящей из трех участков: начального, переходного и основного [2]. В области потенциального начального участка протяженностью 7–9 калибров скорость течения и температура газа приблизительно постоянна. За пределами потенциального ядра формируется турбулентный пограничный слой. Распределение скорости и температуры газа в основном участке исследованы достаточно подробно и могут быть рассчитаны с удовлетворительной точностью по методике [2, 3].

При резке металлов, когда электрический столб дуги горит на оси плазменной струи и дуга замыкается на металл в результате процесса шунтирования, течение газа в промежутке между плазмотроном и поверхностью металла и в полости реза определяется рядом сложных явлений. Прежде всего следует отметить, что на выходе сопла плазмотрона в реальных условиях уже имеет место значительная турбулизация потока и по проведенным исследованиям степень турбулентности на начальном участке составляет 11 – 14 %, что определяется условиями подачи газа в плазмотрон [4, 5]. Это приводит к тому, что в потенциальном ядре имеют место значительные пульсации и неравномерное распределение скорости потока. Кроме того, присутствие дуги на оси плазменной струи приводит к значительным градиентам температуры газа на этом начальном участке течения [5].

Результаты проведенных исследований распределения тепловых потерь и тока дуги вдоль реза позволяют построить следующую картину течения газа в процессе плазменной резки. При оптимальном расстоянии плазмотрона до поверхности разрезаемого металла, которое составляет 10 – 14 мм, начальный участок струи входит в полость реза. Это положение основывается на результатах проведения исследований, которые показывают, что полученные распределения тепловых потерь

и тока дуги вдоль реза имеют характерный максимум в зависимости усредненной плотности тока дуги вдоль реза, приходящейся на 1–2 секции. Тогда, как известно [4, 6], зона шунтирования начинается с некоторого сечения начального участка, где возможно возникновение пробоя между дугой и поверхностью полости реза, и простирается в переходном участке до основного участка течения или участка развитого турбулентного течения. Отметим, что при прямой полярности зона шунтирования располагается несколько выше по потоку, чем в случае обратной полярности подключения плазматрона, так как условия пробоя когда дуга является для него катодом, а, следовательно, источником электродов, будут более благоприятны и поэтому требуются меньшие пробивные напряжения.

Таким образом, течение газов в области полости реза рекомендуется разбивать на четыре зоны. Первая зона включает часть начального участка струи от среза сопла до поверхности разрезаемого металла. В этой зоне начинается размывание струи и образование конусообразного турбулентного слоя. Во второй зоне, простирающейся от поверхности разрезаемого металла до сечения, проходящего через конец начального участка пространственная стабильность дуги нарушается и развивается пробой между столбом дуги и поверхностью полости реза. Этот процесс определяет положение начала зоны шунтирования. Отметим, что с верхней кромки реза развивается второй пограничный слой по поверхности вдоль потока плазмы. Этот слой в конце начального участка смыкается, что определяет сечение начала третьей зоны – зоны перемежаемости, которая простирается до 4-й зоны – зоны развитого турбулентного течения. Из приведенных рисунков распределение тепловых потерь и тока дуги вдоль реза можно определить, что зона шунтирования простирается на 4 – 8 см.

Заключение. С целью изучения особенностей теплообмена дуги с поверхностью полости реза разработана и создана плазменная установка, которая позволяет смоделировать технологический процесс разделительной резки металлов. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: для увеличения прорезающей способности плазматрона обратной полярности должна быть снижена степень турбулентности потока на его начальном участке путем улучшения аэродинамического качества плазматрона: в полости реза необходимо перераспределить тепловые потоки вдоль полости реза путем организации дополнительного распределенного по резу вдува воздуха с малым расходом. На основе измерений тепловых потоков и плотности тока в зависимости от расстояния от верхней кромки реза при малых толщинах разрезаемого листа металла для увеличения скорости резки рекомендуется применять прямую полярность подключения плазматрона, а при резке материалов большей толщины для повышения качества реза – обратную полярность.

Список использованных источников:

1. Ширшов, И.Г., Котиков, В.Н. Плазменная резка // М.: Машиностроение, 1987, 162 с.
2. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика // Г.Н. Абрамович. – М: Наука, 1969. – 824 с.
3. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя // Г. Шлихтинг. – М:Наука,1969.–742с.
4. Жуков, М.Ф. Прикладная динамика термической плазмы // М.Ф. Жуков, А.С. Коротаяев, В.А. Урюков. Акад. наук СССР, Ин-т теплофизики Новосибирск: Наука, 1975. – 298 с.
5. Zhukov, M.F., Zasytkin, I.M., Mishne, I.I., Sazonov, M.I. Voltage gradient of an electric arc in fully developed turbulent flow of air // Phenomena in Ionized Gases: the 13-th Int. conf., Berlin Leipzig, Sept. 12-17, 1977. Pt.2. - P.539-540.

6. Жуков М.Ф., Засыпкин И.М., Мишне И.И., Сазонов М.И. Теплообмен в выходном электроде плазмотрона с межэлектродной вставкой // Известия Сибирского отделения Академии наук СССР. Серия технических наук. - 1979. - N 8, вып.2. - С. 61.

Восович С.М.

КРУПНЕЙШАЯ СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ БЕЛАРУСИ

Брестский государственный технический университет, доцент кафедры гуманитарных наук, к.и.н, доцент

В августе 2016 г. телекоммуникационная компания velcom неподалеку от Брагина вблизи деревни Соболи построила крупнейшую в Беларуси солнечную электростанцию. Электростанция занимает площадь около 56 гектаров, т.е. территорию размером с 80 футбольных полей [2]. Под строительство объекта выделили землю земзапаса (на месте старого сада, где произрастал непроходимый кустарник). Арендный срок для компании – 99 лет.

Мощность электростанции составляет рекордные для белорусских гелиоустановок 18,48 МВт. Каждый час её работы позволяет Беларуси отказаться от 7 тыс. кубометров природного газа. Кроме того, солнечная электростанция позволяет свести к минимуму ущерб, наносимый окружающей среде. Мощности электростанции хватает на включение всей вечерней подсветки Минска. Ни один другой объект, работающий в стране от солнца, не обладает такими характеристиками. Парк состоит из 85 тыс. солнечных панелей, которые преобразуют солнечное излучение в электроэнергию постоянного тока. После этого она поступает в 617 инверторов с напряжением 0,4 кВ, которые преобразуют её в переменный ток. С помощью 10 трансформаторных подстанций напряжение повышают до 20 кВ. В свою очередь мощный трансформатор доводит его до 110 кВ — уровня, который необходим для передачи электроэнергии в единую сеть [4].

Чтобы связать между собой все панели и оборудование мобильный оператор проложил около 800 км кабельных линий. Это сопоставимо с расстоянием от Минска до Москвы. Компания также построила высоковольтную линию электропередачи протяженностью 4,5 км с 22 опорами и трансформатором. Это позволило соединить солнечную электростанцию с подстанцией «Брагин» [1].

Солнечную электростанцию в Брагине построили досрочно. Проект реализовали на 4 месяца раньше. Торопились неслучайно: чтобы электростанция «застала» как можно больше солнечных летних дней. Объем инвестиций, вложенных в проект, составил 22 млн. евро. Энергию от станции компания планирует продавать, характеризуя проект как «коммерческий зеленый». Благодаря солнечной энергии velcom надеется покрыть также 50% собственных потребностей [3].

Компания планирует, что солнечная станция окупится через 5 лет при сроке эксплуатации в пятнадцать. Брагинский район для строительства выбрали неслучайно, на его территории наибольшая продолжительность светового дня и количество солнечных дней в году (на юге Беларуси около 2-х тысяч солнечных часов в год – это всего на 10 процентов меньше, чем в Сочи). Также на территориях, пострадавших от взрыва на Чернобыльской АЭС, землю получить не так дорого, как