

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Габдрахманов А.Т.

**Исследование устройства и принципа работы
плазмотрона прямого действия BEST PLASMA 60
HF**

**Учебно-методическое пособие к лабораторным работам и
практическим занятиям по дисциплинам
«Концентрированные потоки энергии и физические основы
их генерации», «Электрические разряды в газах», «Основы
физических процессов в плазме и плазменных установках»**

Набережные Челны

2018

УДК 533.9

*Рекомендовано учебно-методической комиссией кафедры
высокоэнергетических процессов и агрегатов
Набережночелнинского института КФУ.*

Габдрахманов А.Т.

**Исследование устройства и принципа работы
плазмотрона прямого действия BEST PLASMA 60 HF:**
учебно-методическое пособие / Габдрахманов А.Т., Галиакбаров
А.Т. – Набережные Челны: НЧИ (ф) КФУ, 2018. – 20 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для использования при проведении лабораторных работ и практических занятий по дисциплинам: «Концентрированные потоки энергии и физические основы их генерации», «Электрические разряды в газах», «Основы физических процессов в плазме и плазменных установках» для студентов направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Рецензент: к.т.н., доцент, доцент кафедры физики НЧИ
КФУ Тазмеев Х.К.

@ НЧИ (ф) КФУ

2018 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ПЛАЗМОТРОНА ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ BEST PLASMA 60 HF

Целью работы является изучение устройства, назначение, область применения, характеристик и принципа работы плазмотрона прямого действия BEST PLASMA 60 HF.

Введение

В современном обществе интенсификация промышленного производства во многом определяется новыми высокоэффективными электротехнологиями. К их числу относятся плазменные процессы в химической, металлургической, машиностроительной и других областях производства. Источниками высокотемпературных потоков в силу простоты оборудования и возможности автоматизации технологических процессов являются электродуговые нагреватели газов (плазмотроны). Плазмотроны во многих случаях являются наиболее ответственными узлами электротехнологических установок. Часто именно от них зависит не только эффективность использования электроэнергии, но и производительность установок в целом, и качество конечных продуктов. Спектр применения плазмотронов достаточно широк: нанесение износостойких, антикоррозионных и иных покрытий, резка и сварка металлов, переработка токсичных отходов и т.д. В последнее десятилетие началось использование плазмотронов для плазменного розжига и подсветки пылеугольных котлов ТЭС.

Конструкции плазмотронов

Нагрев газа в плазмотроне происходит в результате его взаимодействия с дугой, поэтому эффективность нагрева существенно

зависит от того, каким образом организовано это взаимодействие, т.е. рабочий процесс.

Оптимальный рабочий процесс должен удовлетворять двум требованиям. Во-первых, очевидно, что для получения максимальной среднемассовой температуры большая часть нагреваемого газа должна взаимодействовать с дугowym разрядом. Во-вторых, необходимо обеспечить такие тепловые режимы всех узлов плазмотрона, при которых ресурс его работы был бы достаточно велик. Для плазмотронов большой мощности это требование сводится, в первую очередь, к обеспечению стойкости электродов.

Рассмотрим процесс нагрева газа дугой. Здесь могут встретиться два случая. В первом случае весь нагреваемый газ проходит через дугу. Например, если представить себе дугу, горящую в узком цилиндрическом канале и занимающую практически все его поперечное сечение, то каждая порция газа на время ее прохождения по каналу становится частью столба дуги и на выходе из канала имеет среднюю температуру, равную средней температуре дуги. Таким образом, в этом случае реализуется максимально возможный нагрев газа. Плазмотроны, в основу которых положен такой рабочий процесс, получили условное название высокотемпературных.

Значительно чаще в плазмотронах реализуется другой рабочий процесс, при котором дуга как бы обтекается потоком газа (вдоль или поперек). При этом нагрев газа осуществляется за счет теплообмена (который обычно имеет турбулентный характер) периферийной относительно низкотемпературной зоны дуги с обтекающим газом. Усиленный теплоотвод от дуги приводит к сокращению поперечного размера ее проводящей зоны, при этом увеличиваются плотность тока и джоулева диссипация (величину тока дуги считаем постоянной) и растет температура дуги. Описанный процесс является отражением общего принципа, согласно которому для повышения температуры дуги необходимо увеличивать интенсивность

охлаждения ее периферийной зоны или ограничить поперечный размер дуги стенкой канала. Следует обратить внимание на то, что повышение температуры дуги не ведет автоматически к росту среднemasсовой температуры нагреваемого газа. Поэтому рабочий процесс в плазмотроне должен быть организован таким образом, чтобы расход охлаждающего дугу газа был минимально возможным.

Тот факт, что с ростом плотности тока i температура дуги возрастает, можно проиллюстрировать следующим рассуждением.

Джоулева диссипация в единице объема газа равна $q = i^2/\sigma$, где σ - удельная электропроводность газа, являющаяся монотонной возрастающей функцией температуры. Пусть при прочих равных условиях плотность тока возросла, например, за счет увеличения силы тока I . Очевидно, что температура газа в дуге T не может при этом уменьшиться. Предположим, что значения T и, следовательно, σ в первый момент остались неизменными. Тогда первоначальный рост q будет пропорционален i^2 , что приведет к росту температуры газа. Рост T прекратится тогда, когда джоулева диссипация газа q будет скомпенсирована отводом энергии за счет конвекции и излучения (теплопроводностью обычно можно пренебречь). Таким образом, чем интенсивнее отводится энергия от дуги, тем при более высокой температуре будет достигнуто равновесное состояние.

По типу рабочего процесса все многочисленные схемы плазмотронов можно объединить в 3 класса: 1) плазмотроны с вихревой стабилизацией дуги; 2) плазмотроны с магнитной стабилизацией дуги и 3) плазмотроны со стабилизацией дуги стенками канала.

Поясним смысл термина "стабилизация дуги". Киносъемка дуги, горящей между торцевыми электродами в большом объеме без протока газа, показала, что в результате возникновения свободной конвекции форма дуги непрерывно меняется, а места привязки дуги к электродам хаотически перемещаются по их поверхностям. В плазмотронах рабочий процесс

организуют таким образом, чтобы положение дуги было стабильным в пространстве или чтобы движение дуги происходило упорядоченно. В этом смысле говорят о стабилизации дуги.

Дуговые плазмотроны можно разделить на плазмотроны прямого и косвенного действия, а по составу плазмообразующего газа — на плазмотроны, работающие в инертных нейтральных и кислородсодержащих газах. По способу подачи плазмообразующего газа различают плазмотроны с тангенциальной и аксиальной подачей. В зависимости от условий эксплуатации дуговые плазмотроны могут работать на переменном и постоянном токе, причем в последнем случае применяются режимы прямой (минус источника питания на электроде плазмотрона) и обратной (плюс источника на электроде плазмотрона) полярности.

В плазмотроне прямого действия электрическая дуга горит между электродом и обрабатываемым изделием, а в плазмотроне косвенного действия — между электродом и соплом.

Дуговые плазмотроны косвенного действия нашли применение при обработке неэлектропроводных материалов для их напыления и сфероидизации, а также в качестве высокотемпературных нагревателей газа.

Принцип работы плазмотрона

Плазма - это газ, который при очень высоких температурах нагревается и ионизируется настолько, что становится проводником.

Этот способ резки использует плазму для передачи электрической световой дуги на металлическую деталь, которая из-за сильного нагревания плавится.

Аппарат работает при подаче сжатого воздуха, который подается вместе с плазмой.

Началом цикла является образование высоковольтной высокочастотной (HF) дуги, которая возникает при коротком замыкании между подвижным электродом («-») и соплом горелки («+»).

При контакте горелки с обрабатываемым материалом (который соединен с плюсом источника тока), между электродом и обрабатываемый материалом образуется пилотная дуга, переходящая в плазменную световую дугу.

Период поддержания пилотной дуги установлен на заводе и составляет 2 сек. Если за это время не происходит образование плазменной дуги, цикл автоматически прерывается и сохраняется только подача охлаждающего воздуха.

Для запуска нового цикла необходимо отпустить кнопку горелки, а затем снова нажать.

Технические характеристики BEST PLASMA 60 HF

Характеристика	BEST PLASMA 60 HF
Напряжение и частота электросети, В/Гц	380/50
Максимальная потребляемая мощность, кВт	7,5
Максимальный потребляемый ток, А	20
Сос ф/ Фаз	0,7/3
Рабочий ток, А	15-60
Рабочий ток при цикле 35%, А	60
Максимальная толщина резки, мм	18
Воздушный поток, л/мин	170
Давление, бар	4-5
Класс защиты	IP23
Габаритные размеры, мм	475x170x340
Предохранители, А	20

Вес, кг	19,4
Гарантийный срок, мес.	12
Срок службы, лет	5

Комплект для плазменной резки

- генератор плазмы
- рабочий кабель 2,5 м
- набор для подключения подачи сжатого воздуха
- кабель массы с зажимом 5 м
- набор плазменной горелки;

Устройство горелки

Это техническое устройство, в котором при протекании электрического тока через разрядный промежуток образуется плазма, используемая для обработки материалов или как источник света и тепла, схема горелки представлена на рис. 1.

Наиболее уязвимым местом в плазмотроне являются электроды, стабильность и ресурс работы которых, в большинстве случаев, определяют стабильность и ресурс всего плазмотрона в целом. Они воспринимают огромные потоки тепла, которые выделяются электрической дугой, на их поверхности протекают сложные химические реакции. Особую опасность представляют собой контракция (образование электродных пятен) тока на электродах, приводящая к сильной концентрации теплового потока, резкому повышению эрозии и выходу электрода из строя. Для стабильной работы плазмотрона следует заменить электрод, если глубина кратера, составляет около 2 мм. (рис. 2).

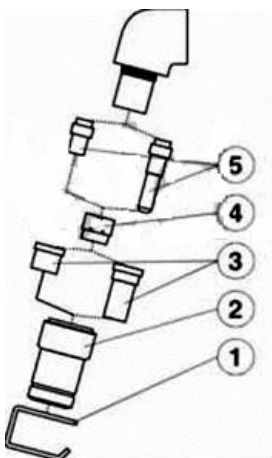


Рис. 1. Плазменная горелка; 1 - насадка, 2 - крепление сопла, 3 - сопло, 4 - воздушное распределительное кольцо, 5 – электрод (катод).

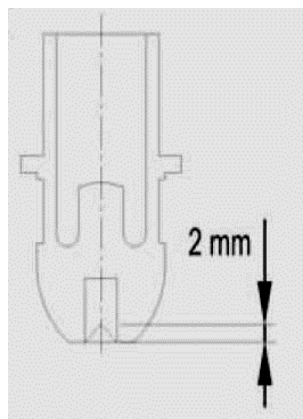


Рис. 2. Катод

Подготовка к работе

1. *Подключение подачи сжатого воздуха.* Подсоедините к аппарату шланг подачи сжатого воздуха (рис. 3). Воздух должен быть осушенным, давлением не менее 5 бар и плотностью потока не менее 170л/мин.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ! Воздух со значительным содержанием паров масла или недостаточно осушенный может стать причиной сильного износа или даже поломки горелки. Если есть какие-либо сомнения в качестве сжатого воздуха, рекомендуется установить осушитель и фильтр очистки от масла.

2. Подсоедините с помощью шланга, подачу сжатого воздуха к аппарату, используя коннектор входного фильтра, подсоединяемый к задней панели аппарата. Давление сжатого воздуха не должно превышать 8 бар.



Рис. 3. Подключение сжатого воздуха к плазматрону

3. *Подсоединение электропитания.* Аппарат должен быть подсоединен к электросети вилкой с нейтральным контактом. А электросеть обязательно должна иметь заземление.

4. *Подключение кабеля массы.* Подсоедините захват рабочего кабеля к поверхности, которую надо разрезать или к металлическому верстаку. Соблюдайте следующее:

- Убедитесь в хорошем контакте, особенно если должны быть разрезаны изолированные или окисленные материалы.

- Подсоедините кабель массы как можно ближе к месту разреза.

- Использование металлических конструкций, которые не являются частью рабочего материала, может быть опасным и привести к неудовлетворительному результату.

- Не подсоединяйте кабель массы к части, которая должна быть отрезана.

5. *Подключение плазменной горелки.* Перед началом работ проверьте правильность соединений всех частей горелки, и проверьте не

изношены ли ее части сверх меры. Проверьте подачу сжатого воздуха через горелку.

6. *Положение и переноска аппарата.*

- Выберите такое место, которое хорошо проветривается, где нет пыли, дыма или поступления токопроводящего или агрессивного газа.

- Следите за тем, чтобы посторонние предметы не препятствовали доступу охлаждающего воздуха из вентиляционных отверстий на задней и передней сторонах аппарата.

- Следите за тем, чтобы аппарат был установлен горизонтально и вокруг аппарата сохранялось свободное пространство в радиусе не менее 500 мм.

- Если аппарат необходимо переставить, отключите и соберите все кабели и шланги, чтобы не повредить их.

- Следите за правильным расположением ремня для переноски аппарата.

Подключение, регулировка и индикация

1. В положении I (вкл) - аппарат готов к работе, горят зеленый светодиод 9 (Рис. 4), показывающий наличие электропитания.

В этом режиме (Stand-by) напряжение на горелку не подается.

В положении O (выкл) – напряжение отключено, управляющий блок и все индикаторы выключены.

2. Потенциометр рабочего тока 2 (рис. 4) (рис. 5), позволяет установить интенсивность рабочего тока, генерируемого аппаратом, в соответствии с потребностью (толщина материала/скорость реза). Рис. 6. показывает величину резки как функцию толщины материала алюминия, железа и стали при максимальном токе 60А.

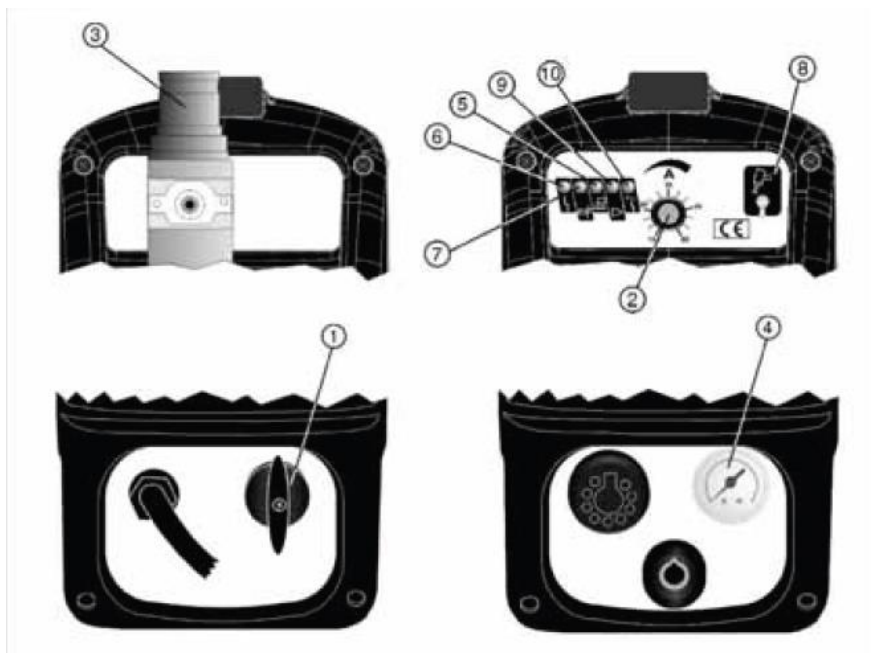


Рис. 4. Индикаторы и регуляторы плазматрона

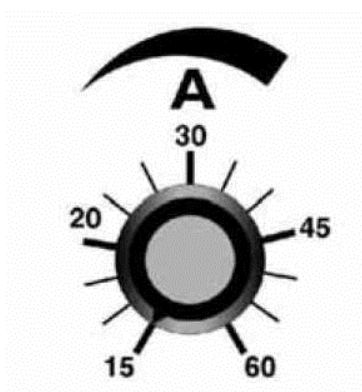


Рис. 5. Потенциометр рабочего тока

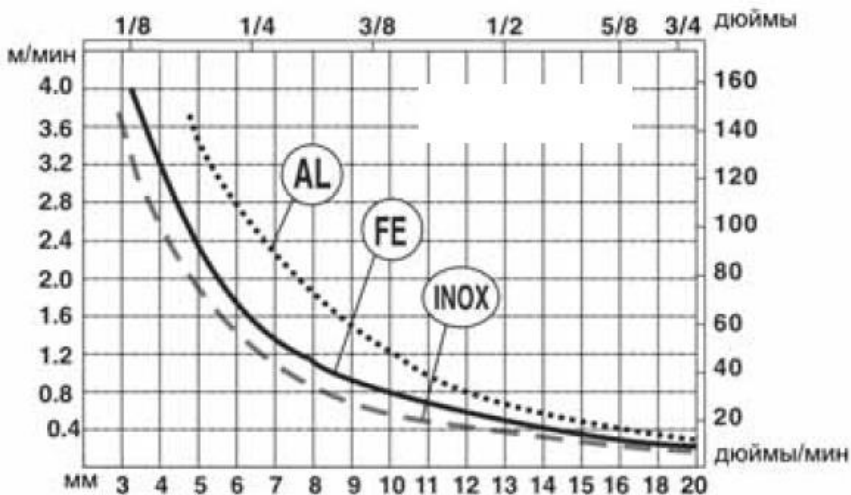


Рис. 6. Диаграмма плазменной резки (60 А)

3. Регулятор давления сжатого воздуха 3 (рис. 4) используется для регулировки давления в соответствии с данными горелки. Для блокировки регулятора необходимо надавить на него до фиксации.

4. Манометр 4 (рис. 4), позволяет контролировать требуемое значение подачи сжатого воздуха. Отградуирован в барах.

5. Индикатор горелки (желтая лампочка) 5 (рис. 4):

- Если индикатор горит, значит цикл активирован: включена пилотная или режущая дуга.

- В режиме ожидания, при отжатой кнопке горелки, индикатор не горит.

- Индикатор не горит при нажатой кнопке горелки, в следующих случаях:

- В режиме последующей подачи газа (> 30 сек) и режиме предподдачи газа (0,3 сек).

- Если пилотная дуга не попадает на рабочий материал в течении 2 сек.

- Если режущая дуга прерывается из-за того, что горелка далеко от рабочего материала, имеется сильный износ электрода или горелка отведена от материала.

- При включении системы защиты.

6. Индикатор аварии (красный светодиод) 6 (рис. 4)

- Горит если, происходит перегрев аппарата или превышение/занижение напряжения электросети.

- В этом режиме работа аппарата блокируется.

- Перезапуск происходит автоматически (желтый светодиод гаснет) через 4 секунды после возвращения параметров в норму.

- Горит если кнопка горелки нажата, а образование плазмы не происходит.

7. Желтый светодиод неисправности давления воздуха 7 (рис. 4), загорается вместе с индикатором аварии 6 (рис. 4)

- Индикация этого светодиода означает, что давление воздуха недостаточно для нормальной работы.

- В этом режиме аппарат не работает.

- Возобновление работы происходит автоматически (светодиод гаснет), после возвращения в норму параметров.

8. Кнопка включения подачи газа 8 (рис. 4).

Горелка

- Кнопка горелки - это средство управления, с помощью которого можно начинать и останавливать процедуру резки.

- Когда кнопка отпущена - рабочий цикл немедленно останавливается, за исключением последующей подачи газа.

- Для включения цикла кнопку нужно удерживать не менее 0,3 сек.

Подготовка к работе

- Убедитесь в соблюдении мер предосторожности и безопасность.
- Убедитесь, что все элементы аппарата правильно собраны и подключены
- Установите автоматический выключатель и главный выключатель аппарата в поз. 1 (рис. 4).
- Выберите при помощи потенциометра ток резки, который подходит для желаемого вида работы.
- Нажмите и отпустите кнопку горелки для подачи воздуха (около 30 сек) 8 (рис. 4).
- Обеспечьте свободный выход воздуха для предотвращения образования конденсата в горелке.

Работа аппарата

Предварительные условия для резки: При эксплуатации горелки необходимо работать с контактным соплом.

- Контактный способ резки там, где это не предусмотрено, вызывает преждевременный износ сопла горелки. Сопло горелки приблизить к краю обрабатываемого материала (= 2 мм) и нажать кнопку горелки. Через 0,3 сек (предварительная подача воздуха) загорается пилотная дуга (продолжительность макс. 2 сек). Если выбрано правильное расстояние, то пилотная дуга сразу же переносится на материал и там возникает режущая дуга.

– Для удобства работы можно использовать специальную насадку (рис.7).

– Теперь надо провести горелку равномерно по поверхности материала вдоль намеченной линии. Отрегулируйте скорость резки в соответствии с толщиной и выбранным током. Световая дуга, которая возникает на нижней поверхности материала, должна иметь угол наклона против направления движения от 5 - 10°.

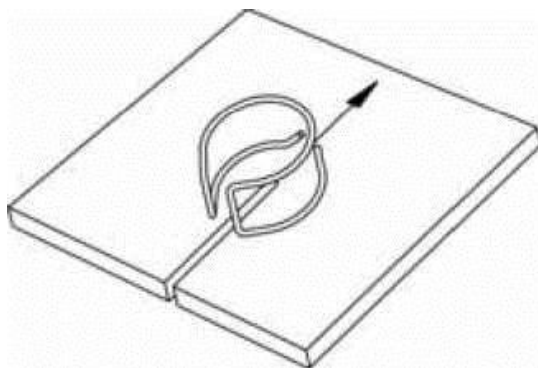


Рис. 7. Использование насадки для резки

Положение горелки и угол дуги. (рис. 8.)

– Отведение горелки от обрабатываемого материала и окончание плоскости материала (в конце процесса резки) является причиной немедленного прерывания световой дуги.

– Дуга (пилотная или режущая) прерывается всегда при отпуске кнопки горелки.

– Сверление дугой: Если необходимо провести эту работу, или если необходимо начать работу от середины обрабатываемого материала, наклоните горелку и направляйте ее на материал по вертикали сверху. Это предотвращает обратную отдачу дуги или повреждения сопла резки расплавленными частицами.

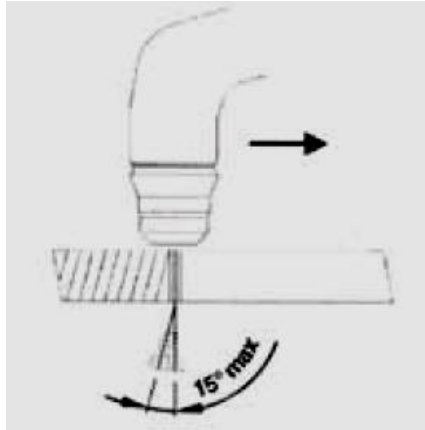


Рис. 8. Положение горелки и угол дуги

Начало работы наклоненной горелкой (рис. 9)

Этот способ предотвращает образование отдачи дуги или отделенных частиц, которые могут привести к повреждению отверстия сопла и снижению функциональности. Отверстия в материале толщиной 25% от предусмотренного максимума могут быть прорезаны сразу

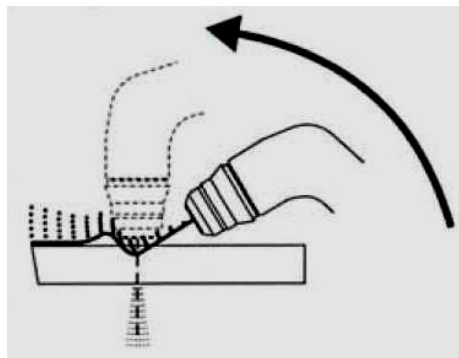


Рис. 9. Работа с наклоненной горелкой

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить устройство и работу прибора BEST PLASMA 60 HF.
2. Знать назначение, область применения, характеристики электродугового плазмотрона постоянного тока BEST PLASMA 60 HF.
3. Произвести резку различных металлов (стали, медь алюминий), при разных толщинах $h=1 \dots 10$ мм.
4. Измерить скорость резки для каждого случая.

Оформление и защита работы

Оформляется работа с аккуратно вычерченными схемами и поясняющими текстами. Производится расчет величин, указанных преподавателем для всех значений тока. Выполнять чертеж плазменной горелки с указанием основных узлов и деталей.

При защите необходимо уметь объяснить физическую суть выполняемой работы, знать основные теоретические положения, используемые в этой лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое электродуговая плазма?
2. Перечислите виды плазмотронов.
3. Какими способами можно зажечь электрическую дугу при атмосферном давлении?
4. Какие способы стабилизации электрической дуги Вы знаете?
5. Чем отличается плазмотрон прямого действия от плазмотрона косвенного действия?
6. Перечислите основные элементы плазменной горелки и их назначение.
7. Какие факторы влияют на скорость резки?
8. Какие материалы можно обрабатывать данной установкой?

Список литературы

1. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Д.А. Франк-Каменецкий. - 3-е изд. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - 280 с. - ISBN 978-5-91559-002-0. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=167506>
2. Чукбар К.В. Лекции по явлениям переноса в плазме плазмы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / К.В. Чукбар. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - 256 с. - ISBN 978-5-91559-015-0. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=185378>
3. Брушлинский К.В. Математические основы вычислительной механики жидкости, газа и плазмы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Брушлинский К.В. - Долгопрудный: Интеллект, 2017. - 272 с. - ISBN 978-5-91559-224-6. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=858951>
4. Чередниченко В.С. Плазменные электротехнологические установки [Электронный ресурс]: Уч. для вуз / В.С.Чередниченко, А.С.Аньшаков, М.Г.Кузьмин; Под ред. В.С.Чередниченко. - 3 изд, испр. и доп. - Новосиб: НГТУ, 2011 - 602 с. - ISBN 978-5-7782-1576-4. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=479932>
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда [Электронный ресурс] / Ю.П. Райзер. - 3-е изд., перераб. и доп. - Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 736 с. ISBN 978-5-91559-019-8. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=210610>
6. Астапенко В.А. Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоника и метаматериалы [Электронный ресурс]: Учебное пособие / В.А. Астапенко. - Долгопрудный: Интеллект, 2012. - 584 с. ISBN 978-5-91559-111-9. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=365083>
7. Ильин А.А. Вакуумная ионно-плазменная обработка [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А.А. Ильин, В.В. Плихунов, Л.М. Петров и др. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160 с. ISBN 978-5-98281-366-4. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=426490>
8. Иванов И. Газовый разряд и его применение в фотонике [Электронный ресурс]: учебное пособие / Иванов И. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2009. - 96 с. - ISBN 978-5-9275-0613-2. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=553551>
9. Ключарев А.Н. Элементарные процессы и ионизационные явления в газовых средах [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Ключарев А.Н., Безуглов Н.Н. - СПб:СПбГУ, 2013. - 244 с.: ISBN 978-5-288-05454-9. Режим доступа:

Подписано в печать _____
Формат 60x84/16 Бумага офсетная Печать ризографическая
Уч.-изд.л. 1,9 Усл.-печ.л. 1,9 Тираж 50 экз.

Заказ _____
Издательско-полиграфический центр
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru