

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ НА БАЗЕ УСТАНОВКИ АПР-404

Жумалиев Жекшенбай Муратбекович к.т.н., доцент КГТУ им. И.Раззакова (+996) 54-51-58 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматов 66, e-mail: Zhumaliev.Zhekshen@gmail.com

Сопоев Мурадил Кадыралиевич ст. преп. КГТУ им. И.Раззакова (+996) 54-51-58. 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматов 66, e-mail: mussoma@rambler.ru

Осмонов Талгат Маратович магистр КГТУ им. И. Раззакова, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматов 66, e-mail: osmonov.t93@mail.ru

Аннотация

В данной статье приводятся результаты научно-исследовательской работы, магистерской диссертации, полученные на кафедре "Технология машиностроения" на базе установки АПР-404. При этом рассматриваются результаты исследования плазменной резки стали ст.3 больших толщин, а также нержавеющей стали X18H10T и алюминиевых сплавов с применением плазменной установки АПР-404.

Кроме этого приводится информация о создании научно-методического стенда для проведения исследовательских работ на базе установки АПР-404.

Ключевые слова: Плазматрон, сопло, плазменная дуга, электрод, инертные газы, активные газы.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF PLASMA CUTTING OF METALS ON THE BASIS OF PLANT APR-404

Jumaliev Jekshenbai Muratbekovich k.t.si., dozent KSTU im.I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044 Bishkek, Ch. Aitmatov 66, phone (+996) 54-51-58, e-mail: Zhumaliev.Zhekshen@gmail.com

Sopoev Muradil Kadyralievich, Senior Lecturer, KSTU im.I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044 Bishkek, Ch.Aitmatov 66, phone (+ 996) 54-51-58, e-mail: mussoma@rambler.ru

Osmonov Talgat Maratovich master KSTU im.I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044 Bishkek, Ch.Aitmatov 66, e-mail: osmonov.t93@mail.ru

Annotation

This article presents the results of research work, master's thesis, obtained at the Department of "engineering Technology" on the basis of the installation of APR-404. This is considered the investigation of plasma-cut steel 18CR10NITI and aluminum alloys using plasma installation APR-404.

In addition, a scientific and methodical stand for research works on the basis of the APR-404 installation was created.

Key words: Plasma torch, nozzle, plasma arc, electrode, inert gases, active gases.

В настоящее время в машиностроительном промышленности наряду с другими методами разделительной резки применение плазменной резки металлов является актуальной.

Целью настоящей работы является исследования и разработка технологического процесса плазменной резки металлов на базе установка АПР-404. Для достижения вышеуказанной цели были поставлены следующие задачи:

1. разработка технологии плазменной резки с использованием плазмотрона ПВР - 402 на базе установки АПР - 404.
2. исследования зависимости толщины разрезаемого металла от скорости резки;
3. исследования зависимости толщины разрезаемого металла от напряжения и силы тока;
4. исследования качества поверхности реза при различных режимах резки.

Для решения поставленной задачи нами были проведены обзор и анализ существующих плазмотронов и технологий, а также теоретические и экспериментальные работы по исследованию скорости резки черных и цветных металлов зависимости от технологических параметров плазменной резки на базе установки АПР-404 имеющегося на кафедре «Технология машиностроения».

Плазменная резка металлов и сплавов, благодаря высокой производительности и универсальности, получает все более широкое распространение в различных отраслях производства. Плазменная резка различается по роду применяемых газов. В качестве плазмообразующих газов используются аргон, гелий, азот, водород, воздух, углекислый газ, углеводороды, кислород, гексафторид (SF_6), пары воды, аммиак и смеси вышеперечисленных газов. Применение молекулярных газов, по сравнению применения одноатомных инертных газов, повышает эффективность плазменной обработки. Однако при применении активных молекулярных газов снижается стойкость электродов плазмотронов.

Проведенный анализ литературы [1, 2, 3,...7] показал, что для плазменной резки наиболее эффективным плазмообразующим газом является воздух. Воздух отличается малой стоимостью и недефицитностью, не требует специального баллоного хозяйства, имеет большое теплосодержание и высокий потенциал ионизации. Кроме этого, наличие кислорода в воздухе позволяет интенсифицировать процесс резки окисляющихся металлов за счет химических реакций окисления.

Плазменная резка по методу ведения процесса подразделяется на ручную, полуавтоматическую и автоматическую. Соответственно от метода ведения процесса зависит оборудование и технология. Например, по ГОСТу 12.2.007.8-75 установлены напряжения холостого хода источников питания (U_{xx}) в зависимости от метода ведения процесса: для ручной плазменной резки $U_{xx} = 180$ В; для полуавтоматической плазменной резки $U_{xx} = 300$ В; для автоматической резки U_{xx} - до 500 В

Таким образом, данная работа посвящена исследованию технологического процесса плазменной резки металлов на базе установка АПР-404.

Экспериментальное исследование технологического процесса плазменной резки на базе установки АПР-404

Для создания лабораторной работы по плазменной резке металлов, а также для проведение исследовательской работы по выбору технологических параметров режимов резки различных металлов мы на базе установки для плазменной резки металлов АПР-404 имеющиеся на кафедре технология машиностроения проводили исследовательские работы по выбору режима резки различных металлов. Плазмотрон ПВР-402 установили на самоходную тележку от сварочной установки АДС-1000 для сварки под слоем флюса.

Ниже приведены фотоотчет о проделанных нами ремонтно-восстановительных работах, а также результаты запуска и выбора необходимых технологических параметров процесса плазменной резки металлов.

Ремонтно-восстановительные работы установки АПР-404



Восстановление и ремонт силовых кабелей установки



Ремонт систему перемещения и подъема плазмоторна



Восстановление и настройка систем подачи воздуха и охлаждающей воды



Экспериментальные работы по выбору технологических параметров плазменной резки



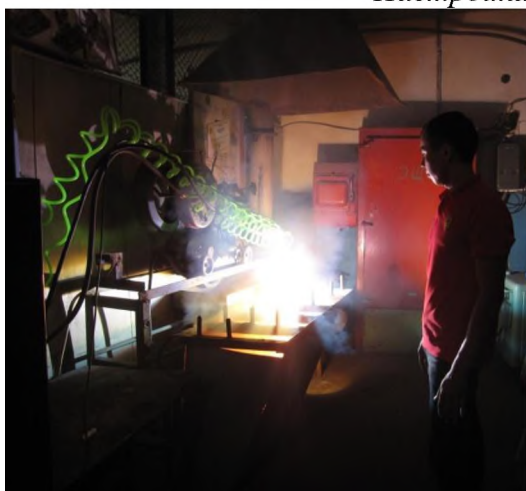
Заготовка для резки из нержавеющей сталей



Настройка расстояние плазматрон-металл



Настройка режима резания



Процесс плазменной резки металла



Выбор скорости резания в зависимости от толщины металла



Резка стали толщиной 40 мм

Для того чтобы осуществить плазменную разделительную резку металла, необходимо расплавить определенный объем материала вдоль предполагаемой линии реза и удалить его из полости реза скоростным потоком плазмы

Расплавленный металл, образующийся на лобовой поверхности реза, удаляется скоростным потоком плазмы сжатой дуги. Скорость потока плазмы возрастает с увеличением расхода плазмообразующего газа и тока дуги и быстро уменьшается с увеличением диаметра сопла. Она может достигать примерно 800 м/с при токе 250 А.

Скорость течения расплава зависит от скорости потока плазмы на границе раздела фаз, т.е. на границе жидкий металл - поток плазмы. Так, при резке металла толщиной 5-20 мм со скоростью 0,75-6 м/мин и ширине реза 3-6 мм, скорость течения расплавленного металла 20-40 м/с.

Задача плазменной разделительной резки - вырезка контуров с перпендикулярными кромками в соответствии с заданными размерами.

Предполагается, что поверхности резов должны быть ровными и гладкими, а качество металла у кромок равноценно качеству основного металла. Однако из-за несовершенства процессов резки не всегда удается выполнить указанные требования.

Наиболее характерными отклонениями от этих требований являются неплоскостность и неперпендикулярность поверхностей реза из-за непостоянства сечения плазменно-дугового реза по высоте это вызвано тем, что различные участки режущей дуги вводят в разрезаемый металл неодинаковое количество теплоты, а, следовательно, на различной глубине реза расплавляется неодинаковое количество металла.

В верхней части реза, в которой металл может расплавляться за счет излучения столба разряда, теплопередача равномерна и рез имеет параллельные кромки. Тепловую энергию в нижнюю часть реза может вводить факел дуги. Температура плазмы в факеле и интенсивность теплопередачи постепенно уменьшаются по высоте нижней части реза, поэтому его кромки на этом участке сходятся книзу. Наиболее интенсивно передает тепловую энергию активное пятно дуги. В зависимости от его расположения по глубине реза или зоны его перемещения, а также от толщины разрезаемого металла рез может получиться уширенным кверху или книзу или бочкообразной формы. Расположение активного пятна дуги в полости реза зависит от параметров дуги, характера ее формирования, скорости резки, толщины и свойств разрезаемого металла. При изменении этих параметров изменяется и форма сечения реза. Так, при уменьшении скорости резки общая ширина реза увеличивается, особенно в нижней его части, поверхности реза становятся почти параллельными друг другу, при очень малых скоростях в нижней части расширяются.

С увеличением силы тока режущей дуга ширина реза увеличивается, особенно в нижней его части, а поверхности реза становятся почти параллельными друг другу. При увеличении расхода газа уменьшаются общая ширина реза и не параллельность его поверхностей. Подъем режущего сопла над металлом сопровождается уширением реза, особенно в верхней его части, и увеличением не параллельности кромок.

Форма сечения реза зависит от толщины разрезаемого металла и от рабочего напряжения режущей дуги. При резке металла небольшой (5-20 мм) толщины, резы имеют, как правило, сходящиеся кромки. Если резать металл такой толщины жесткой режущей дугой (рабочее напряжение 140-150 В и более), то формы поверхностей реза близки к плоским формам и их не параллельность незначительна. Форма кромок резов, выполненных мягкой режущей дугой, зависит от скорости резки. При малых скоростях резки могут быть получены кромки, близкие к вертикальным, однако с увеличением скорости сечение реза получается неправильной формы: вертикальная плоскость верхней части исчезает или становится вогнутой, а затем выпуклой в сторону реза.

При резке металла большой (40-50 мм и более) толщины, наряду со сходящимся книзу сечением реза наблюдается уширение в средней его части (бочкообразный рез). Однако и в этом случае режущая дуга с высоким рабочим напряжением обеспечивает получение резов с поверхностями более плоскими и параллельными, чем при резке мягкой дугой.

При плазменной разделительной резке, кроме отклонений от заданных размеров и форм кромок вырезаемых деталей происходят видимые и невидимые изменения качества поверхностей реза. После резки кромки могут быть гладкими и шероховатыми, матовыми и блестящими, темными и светлыми. У нижних кромок реза часто образуются наплывы в виде небольшого валика вдоль нижних кромок реза, цепочки застывших натеков в виде капель металла («бороды»), приварившегося к кромкам грата (многочисленные нитеобразные натеки различной длины).

В процессе резки у кромки реза возникает зона термического влияния из двух участков: литого, состоящего из неудаленного с твердых поверхностей расплава металла, который образовался при резке, и с измененной структурой, в котором металл не расплавился, но в результате быстрого нагрева и охлаждения в нем произошли рост или уменьшение зерен и другие структурные превращения.

Плазменная резка металла имеет преимущества перед другими способами резки (кислородная, лазерная резка и резка водой с абразивом):

Преимущества перед кислородной резкой: более высокая скорость, минимальные деформации материала в результате термического воздействия.

Преимущества перед лазерной резкой: более низкая стоимость, равная или более высокая скорость резки, достаточно высокие качественные показатели.

Преимущества перед водоструйной резкой с абразивом: более высокая скорость, более низкая стоимость, низкий уровень загрязнения окружающей среды.

Как показали исследования, геометрия разрядной камеры и параметров режима работы режущего плазматрона оказывает существенное влияние на газодинамические и электрические параметры режущей дуги, и в конечном счете, на основные технические характеристики, определяющие эффективность процесса резки: скорость резки, глубина прорезания, ширина полости реза и качество поверхности реза.

Для определения основных зависимостей технологических параметров от параметров режущего плазматрона, марки и толщины разрезаемого металла были проведены необходимые исследования. Исследования процесса резки проводилась для листов из стали СТЗ, нержавеющей стали марки Х18Н10Т и алюминия марки "А" в диапазоне разрезаемых толщин $(10-90) \cdot 10^{-3}$ м. Режущий плазматрон перемещался устройством обеспечивающим изменение скорости в диапазоне 0,05 - 10 м/мин. Выполнялась резка прямоугольных заготовок. Ошибка в заданном диапазоне изменения скоростей по результатам тарировки не превышала $\pm 0,5\%$. Исследовалась влияние скорость резки марки и толщины металла, а также тока дуги, расхода воздуха и диаметра сопла.

Для исследования прорезающей способности плазмотронов использовалась методика разработчика, разработанная К.В. Васильевым согласно которой осуществлялось резка клиновых образцов длиной - $400 \cdot 10^{-3}$ м и высотой - $110 \cdot 10^{-3}$ м.

Исследования наибольшей глубины прорезания проводилась применением метода математического планирования эксперимента. Одновременно контролировалась средняя ширина реза, которая определялась как подсумма от значений ширины верхней и нижней кромок. Исследования выполнялись с последующим движением по градиенту. Каждый опыт повторялся три раза, а порядок выполнения опытов соответствовал таблице случайных чисел, во всех опытах применялась постоянная скорость перемещения плазмотронов 0,25 м/мин и расстояние плазматрона до изделия $10 \cdot 10^{-3}$ м.

Качество поверхности реза согласно ГОСТ14792-69 определялось в зависимости от перпендикулярности и шероховатости поверхности реза. При этом перпендикулярность реза определяли стальным угольником по ГОСТ10356-63 (25), а шероховатость поверхности реза. а шероховатость поверхности реза на базовой длине $8 \cdot 10^{-3}$ м по ГОСТ12789-73 в зависимости от толщины разрезаемого металла.

Исследовался также полный тепловой к.п.д. процесса резки для различных значений мощности режущей дуги и толщины металла. Его значение определялось по формуле

$$\eta_p = \frac{P_p}{P_g - \Delta P_{\text{э}} - \Delta P_{\text{ог}}} \quad (1)$$

где, P - мощность, затрачиваемая на расплавление металла в полости реза, кВт; P_g - полная мощность режущей дуги, кВт; $P_{\text{э}}$ - потери мощности в электродной системе плазматрона, кВт; $P_{\text{ог}}$ - потери мощности в открытой части дуги от плазматрона до изделия, кВт.

Мощность, затрачиваемая на расплавление металла в полости реза, определялось из выражения:

$$P_p = g \cdot c(t_{\text{пл}} - t_0) + a \quad (2)$$

где, g - весовая производительность вплавления металла, кг/с, $t_{\text{пл}}$, t_0 - соответственно, температура плавления и начальная температура разрезаемого металла, $^{\circ}\text{C}$; c - удельная теплоемкость металла, Дж/кгс; a - скрытая теплота плавления, Дж/кг.

В уравнения (2) не учтена доля мощности, затрачиваемая на испарения металла. Как показали исследования доля мощности, идущей на испарение уделяемого из полости реза металла не превышает 10 %. Поэтому не учет доли мощности на испарение дает ошибку не более 5 %.

Весовая производительность вплавления металла определялась по формуле:

$$g = \frac{(b_1 + b_2) \cdot \delta \cdot v \cdot \gamma \cdot 10^{-6}}{2} \quad (3)$$

где, b_1 и b_2 - ширина соответственно, в верхней и нижней части реза, м; δ - толщина разрезаемого металла, м; v - скорость резки, м/с; γ - удельный вес металла, кг/м².

Расчетные данные сопоставлялись с экспериментальными, которые определялись взвешиванием заготовки до и после резки. При этом небольшое отклонение не превышало 10% при резке нержавеющей стали марки Х18Н10Т толщиной до $70 \cdot 10^{-3}$ м.

Измерения геометрии полости реза, проводилось штангенциркулем с точностью $0,1 \cdot 10^{-3}$ м, а для взвешивания образцов использовались технические весы с точностью $0,5 \cdot 10^{-3}$ кг.

Выполненные исследования позволили установить ряд зависимостей между технологическими параметрами и параметрами плазмотрона. Зависимости резки от толщины алюминия, нержавеющей стали и стали Ст.3. при разных значениях тока приведены на рис.1, 2 и3. Там же для сравнения представлены кривые 2 и 3, соответствующие режимам резки плазмотронами с циркониевым и гафниевыми катодами.

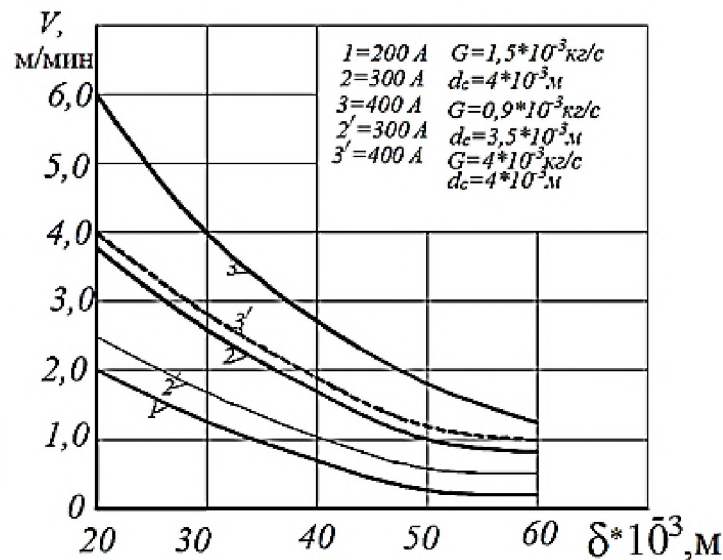


Рисунок 1 – Зависимости скорости резки алюминия от толщины

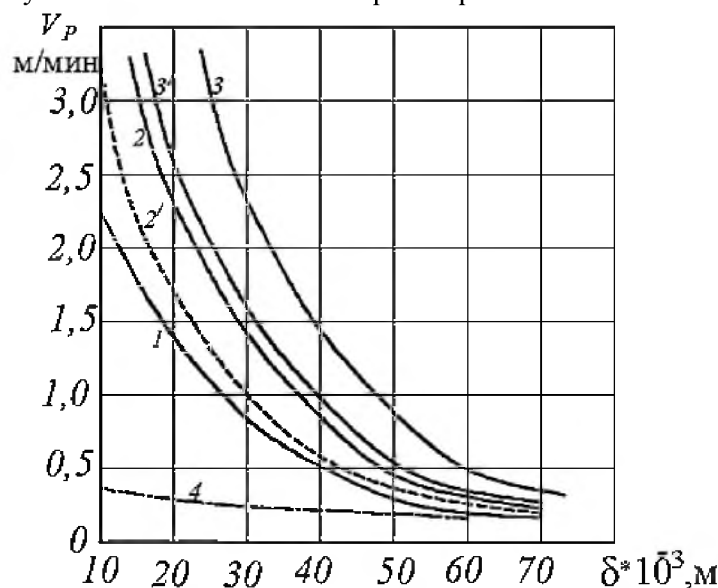


Рисунок 2 – Зависимости скорости от резки толщины нержавеющей стали при разных значениях тока I -I = 200, 2-300, 3-400, $G = 1,5 \cdot 10^{-3}$ кг/с, $dc = 3 \cdot 10^{-3}$ м, 2-1=300; 3-1=400 А;

Кривые 4 соответствуют режимам резки нержавеющей стали кислородно-флюсовым способом газокислородным способом для стали Ст.3. Как видно из рисунков, одинаковых значениях, тока дуги скорость резки плазмотроном с медным электродом превышает скорость резки плазмотронами с термохимическими катодами соответственно: по алюминию на 60-85%; по нержавеющей стали на 35-80% и по стали Ст.3 на 50-80%. Повышенные значения скорости резки для плазмотрона с медным электродом обуславливаются главным образом большим значением напряжения дуги. Это позволяет увеличить теплосодержание, скорость истечения и в конечном счете динамический напор плазменной режущей дуги. Из графиков видно, что при одинаковых значениях тока дуги и толщины наибольшая скорость наблюдается при резке алюминия (рис.1) и наименьшая при резке нержавеющей стали (рис. 2). Более высокие скорости резки для алюминия обусловлено меньшими значениями температуры плавления и плотности.

Скорость резки углеродистой стали Ст.3 (рис.3) несколько выше скорости резки нержавеющей стали. Это связано с выделением дополнительного количества тепла в полости реза за счет экзотермических реакций окисления кислорода, содержащегося в плазмообразующем воздухе.

Влияние рабочего тока, расхода воздуха, диаметра сопла и скорости резки при различных толщинах нержавеющей стали приведен на рис. 2. наибольшее влияние на скорость резки оказывает ток дуги и несколько меньше - расход воздуха и диаметр канала сопла. Так с увеличением тока дуги от 200 и 400А скорость резки для толщины $50 \cdot 10^{-3}$ м (рис.2, кривая 4) возрастает от 0,2 до 0,8 м/мин.

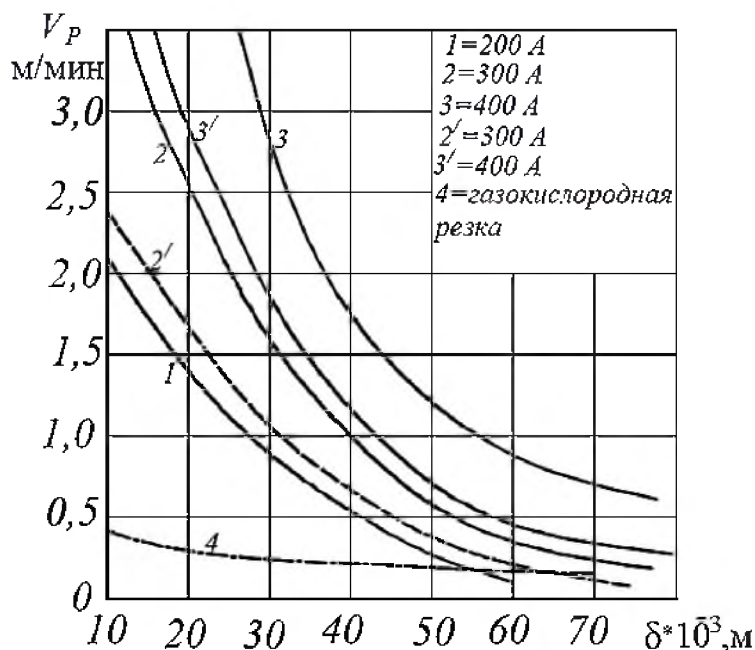


Рисунок 3 – Зависимости скорости резки от толщины низкоуглеродистой стали Ст.3 при разных значениях тока дуги.

Выводы

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали, что повышения ресурса работы плазмотрона с гафниевой вставкой зависит от частоты включения, а также от интенсификации охлаждения электрода.

Выявлено, что наибольшее влияние на скорость резки оказывает ток дуги. При увеличении тока дуги от 200 до 400А скорость резки нержавеющей стали увеличивается в 2-3 раза.

Установлена взаимосвязь между глубиной прорезания нержавеющей стали, параметрами режима работы плазмотрона, его геометрии сопла. Наибольшая прорезающая

способность $90 \cdot 10^{-3}$ м получена при токе дуги 320А, расходе воздуха $1,49 \cdot 10^{-3}$ мкг/с, диаметре сопла $3,8 \cdot 10^{-3}$ м.

Кроме этого установлено, что при резке алюминиевых сплавов необходимо применять ток обратной полярности, так как при этом создается условие для удаления тугоплавкой окисной пленки на поверхности алюминиевых сплавов, которые способствует к снижению мощности плазменной дуги при резке алюминиевых сплавов.

Литература

1. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка – перспективный способ термической резки / К.В. Васильев // – «Сварочное производство». -2002. -№9 стр. 28-32.
2. Заякина С. Б. Двухструйный дуговой плазмотрон в атомно-эмиссионном анализе геологических проб и дисперсных технологических материалов / С. Б. Заякина. Новосибирск, 2009. – 351 с.
3. Иванов Д. В. Исследование высокочастотного индукционного плазмотрона с тремя независимыми потоками газа / Д. В. Иванов. Санкт-Петербург. 2002. – 376 с.
4. Фролов В. В. Теория сварочных процессов / Под ред. В. В. Фролова. – М: «Высшая школа», 1988
5. Железнов Ю. А. Экспериментальный метод пассивной оптической диагностики плазмы / Ю. А. Железнов, В. Ю. Хомич. // Прикладная физика. 2011. № 3. С. 60-66.
6. Paul Eddie. Plasma Cutting Handbook/Paul Eddie. PenguinGroup USA.22/05/2013. P.144
7. Высокоэнергетические процессы обработки материалов / О.П. Солоненко, А.П.Алхимов, В.В.Марусин и др.. - Новосибирск: Наука, 2000. - 425 с.