

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ.....	5
1.1. Плазменная резка .....	10
1.2. Газовая резка.....	14
1.3. Сравнение двух видов резки металла.....	15
1.4. Плазменная резка под водой .....	16
1.5. Критерии использования материалов .....	19
2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГАЗОПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ .....	21
2.1. Применяемое оборудование.....	21
2.2. Подбор и влияние расходных материалов на газоплазменную резку .....	23
3. ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ РАЗНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	27
3.1. Виды поджига дуги и метод контроля высоты .....	27
3.2. Подбор газов под разные виды работ и материала.....	30
3.3. Рекомендации для газоплазменной резки металлов.....	36
3.4. Повышение качества плазменной резки путем оптимизации процессов резки .....	37
3.5. Расчет стоимости газоплазменной резки металлов .....	40
4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ .....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	46
Приложения .....	47
Приложение А. Применяемое оборудование (фото).....	47
Приложение Б. Программа для газоплазменной резки деталей.....	50
Приложение В. Виды изделий и заготовок .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	57

# ВВЕДЕНИЕ

Обработка металлов — важная часть производственных процессов многочисленных промышленных и иных предприятий. Станки плазменной резки широко применяются на них, обеспечивая высокие показатели качества и производительности.

Плазменная резка металла — это технология обработки и метод, позволяющий быстро и аккуратно разрезать различные металлы разной толщины с использованием плазменных струй. При этом достигаются высокая точность и качество реза, и аппараты плазменной резки сжигают металл при высокой температуре. Этот метод нашел широкое применение в металлообработке благодаря своей эффективности и возможности резать различные металлы. Принцип работы плазмореза с ЧПУ базируется на использовании электрического тока и газа, который ионизируется до состояния плазмы, создавая дугу плазмы для реза заготовок. Плазменная резка металла — это метод резки, при котором используется ионизированный газ, создающий дугу плазмы. В процессе резки высокочастотный ток пропускается через газ, вызывая его ионизацию и образование плазмы. Плазмотроны направляют эту плазменную струю с высокой скоростью на обрабатываемую поверхность, благодаря чему происходит резка различных проводящих материалов, включая сталь, алюминий и другие металлы разной толщины.

Цель работы заключается в исследовании и обосновании эффективного применения газоплазменной резки для конкретного технологического процесса обработки металлов в изделия и детали.

Задачи исследования:

- провести анализ существующих методов резки;
- изучить, какие газы и для каких металлов используются;
- подобрать скорости резки для разных видов металлов;
- улучшить показатели резки.

Объектом исследования являются детали машин, изготавливаемые путем механической обработки поверхностей после газоплазменной резки.

Предметом исследования является подбор газов, расходных материалов и выбор режимов резания под каждый вид металла и тип изделия.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в подборе газа, скорости в зависимости от качества резки с минимальным расходом газа и комплектующих, разработке программы для расчета стоимости резки.

В учебном пособии проведены теоретические исследования, основанные на фундаментальных физических законах. Разработана программа в среде программирования Visual Studio, язык программирования Visual Basic для расчета стоимости резки, использована программа для резки (утилита постпроцессора BobCAD-CAM).

# 1. ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

Плазменная дуга может разрезать очень широкий спектр электропроводящих сплавов, включая простые углеродистые и нержавеющие стали, алюминий и его сплавы, никелевые сплавы и титан. Этот метод был первоначально разработан для резки материалов, которые не могли быть удовлетворительно разрезаны с помощью воздушно-кислородного процесса. Обычно разрезаемый элемент или лист металла остается неподвижным, а плазменная горелка (плазмотрон) перемещается. Кроме того, стоимость самого плазмотрона низка по сравнению с ценой портального станка, обычно устанавливают их несколько на один станок для одновременного использования или использования для резки разных толщин.

**Рис. 1**

Плазменная резка металла

Плазменная резка является важным развитием плазменно-дуговой технологии. Этот процесс дает отличную точность реза на материале толщиной от 12 мм и может быть недорогой альтернативой лазерной резке.

Газовая резка — это технологический процесс, основанный на использовании газового пламени для разделения материалов. Она широко применяется в различных отраслях промышленности, таких как металлообработка, судостроение, автомобильное производство, строительство и другие.

Одним из основных достоинств газовой резки является возможность обрабатывать материалы различной толщины, начиная от относительно тонких листов до массивных металлических конструкций. Эта технология реализуется путем применения направленного кислородного потока с примесью газа, для формирования которого требуется специальная аппаратура.

**Рис. 2**

Газовая резка металла

Плазменная резка прошла долгий путь с момента разработки в конце 1950-х гг. инженерами американской корпорации «Юнион Карбид». Сегодня это один из наиболее широко используемых процессов резки металлических заготовок для широкого спектра отраслей промышленности. Ранние системы плазменной резки (см. рис. 4) использовались в основном для резки нержавеющей стали и алюминия толщиной от 10 до более 120 мм. По сегодняшним стандартам эти системы примитивные, но на тот момент они были наиболее практичным методом резки металла. В большинстве случаев плазменные системы устанавливались на режущих станках типа пантографа XY, либо на магнитный индикатор для следования по пути стального шаблона.

**Рис. 3**

Плазменная резка под водой

### *Ранние системы плазменной резки металла*

Инженеры непрерывно работали над процессом в течение 1960-х гг. с целью улучшения качества реза и увеличения срока службы расходных деталей в режущей горелке. Плазменная технология начала набирать обороты, поскольку процесс улучшился, и пользователи узнали о ее способности резать сложные формы из цветных металлов на очень высоких скоростях.

В 1968 г. была введена технология радиальной закачки воды. Эта запатентованная технология относилась к соплу и использовала чистую воду, впрыскиваемую радиально вокруг плазменной струи, чтобы обжечь дугу, увеличивая плотность энергии при одновременном улучшении охлаждения сопла и, таким образом, обеспечивая более высокую скорость реза и более качественный рез. В итоге плазмотроны получили техническую способность резать углеродистую сталь на скоростях в 4–6 раз быстрее, чем в процессе газокислородной резки.

Примерно в то же время совершенствовалась технология координатно-приводного станка. Микропроцессорная технология управления становилась мозгом машин управления движением, что повышало точность, позволяло достичь более высокой скорости резки, более высокого уровня автоматизации и производительности в цехе.

В течение 1970-х гг. технология плазменной резки заменила многие системы для резки стали на основе кислорода толщиной от 6 до 40 мм, сохраняя при этом свои позиции на рынках нержавеющей и алюминиевых сплавов. В то время как плазма могла резать сталь толще 25 мм, процесс кислородной резки по-прежнему был более дешевой альтернативой для более высоких толщин.

### *Хронология основных инженерных прорывов в плазменной технологии*

Осветим основные инженерные прорывы в плазменной технологии по годам.

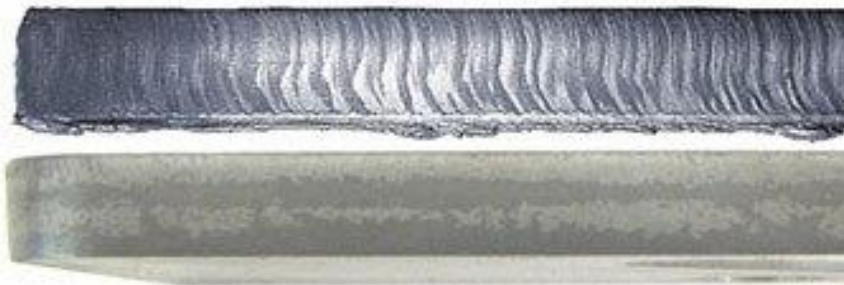
1957 г. Инженеры корпорации «Юнион Карбид» разрабатывают и патентуют процесс плазменной резки как расширение процесса газовой вольфрамовой дуговой сварки (GTAW).

1962–1967 гг. В конструкцию расходных материалов внедрены несколько разработок для продления срока службы расходных деталей и повышения качества резки цветных металлов.

1968 г. Коммерциализируется технология впрыска воды. Эта технология позволила резать заготовки с чистыми краями и на более высоких скоростях, а также резать углеродистые стали с приемлемым качеством резки.

1970–1979 гг. Появились автоматизированные регуляторы высоты (THC) на основе напряжения дуги для более стабильного качества резки и более длительного срока службы расходных деталей.

Появление систем плазменной резки на основе кислорода в начале 1980-х гг. позволило улучшить качество реза по сравнению с традиционными системами плазменной резки на основе азота.



**Рис. 4**

Плазменная резка нержавеющей стали и алюминия

1980–1984 гг. Введены системы плазменной резки на основе кислорода, что улучшило качество кромок и их свойства (более мягкие, свариваемые кромки), позволило резать углеродистые стали при более низких уровнях мощности и на более высоких скоростях (см. рис. 5).

1984–1990 гг. Многие разработки в процессе воздушной плазменной резки улучшили портативность и снизили уровень мощности для ручной резки и механизированной резки на малых толщинах.

1990 г. Разработаны конструкции источников питания с использованием широтно-импульсной модуляции, улучшенным контролем выходных токов. Некоторые системы начали использовать более легкие, меньшие инверторные источники питания, подходящие для портативных ручных плазменных систем.

1992 г. Внедрена технология кислородного процесса с увеличенным сроком службы. По сути, это был управляемый микропроцессором метод регулирования давления плазмообразующего газа и силы тока источника питания. Это увеличило срок службы расходных деталей резака в 4–6 раз и снизило стоимость плазменной резки металла.

1993 г. Разработана плазменная технология высокой точности — метод, для реализации которого потребовалась более ранняя технология резки кислородом с длительным сроком службы. В рамках плазменной технологии высокой точности была создана новая конструкция сопла, которая увеличила плотность энергии плазменной дуги в 4 раза, что позволило сделать более прямые, чистые резы в широком диапазоне толщин.

1996 г. Появление автоматизированных систем управления потоком газа, которые взаимодействовали с системами ЧПУ. Эти элементы управления потоком газа устранили некоторые возможные ошибки оператора станка при настройке параметров процесса резки.

1996–2006 гг. Произошло много событий в области улучшения качества, производительности резки и автоматизации многих параметров резки. В частности, появилась технология интегрированной плазмы — системы, которая тесно связана с ЧПУ, плазменным источником питания, управлением потоком газа, программным обеспечением САМ и системой контроля высоты. В итоге работа

оператора машины термической резки металла стала намного проще и процесс стал существенно меньше зависеть от опыта оператора.

2007 – по н. в. Технологии плазменной резки металла развивались быстрыми темпами. Одним из достижений оборудования является их полная интеграция со станками ЧПУ. Новые станки с ЧПУ имеют доступ к сенсорному экрану, что сводит к минимуму количество кнопок для управления машиной термической резки и делает работу такой же простой, как работа в любой программе на базе пользовательской ОС для домашнего компьютера. Обучение операторов упрощается даже для самых больших и сложных станков плазменной резки с ЧПУ.

Оператору не нужно вносить коррективы. Работа оператора также была упрощена благодаря улучшению функций автоматической калибровки высоты. Оператору не нужно вносить коррективы, связанные с выработкой расходных материалов.

Резка отверстий улучшена с помощью большой базы данных в автоматизированной системе управления производством CAM, которая распознает функции системы автоматизированного проектирования CAD и реализует наилучший возможный путь реза и параметры плазменной резки, включая изменения подачи защитного газа, которые почти устраняют конус при резке отверстий (см. рис. 5). Этот процесс понятен для оператора станка и технолога, что устраняет необходимость в дополнительном обучении.



**Рис. 5**

Резка отверстий улучшилась с первых моделей (сверху) плазменной резки. Сегодняшняя плазменная технология может обеспечить точно вырезанные отверстия, которые соответствуют очень жестким спецификациям (внизу)

Новейшая технология вентилируемого сопла и смешивания газов улучшила качество кромок из нержавеющей стали. В результате сейчас у заготовок края более ровные и чистые.

Системы воздушно-плазменной резки от основных производителей также значительно улучшились с точки зрения качества резки, срока службы расходных материалов и рабочих циклов. Эти системы, в первую очередь предназначенные для портативной и ручной резки в цехе, теперь доступны, имеют быстросменные механизированные горелки и легко взаимодействуют с различными станками с ЧПУ. Системы доступны от 30-амперного источника тока, который работает на бытовом напряжении 220 В для резки материалов толщиной до 1 мм, до промышленных источников на 125 А и 100-процентным рабочим циклом, который может резать металлы толщиной до 25 мм. Обе портативные системы могут быть оснащены ручной горелкой или механизированным резаком. Промышленные механизированные системы плазменной резки металла обычно имеют 100-процентный рабочий цикл и предназначены для использования различных газов, для точной настройки качества реза для различных материалов. Эти системы доступны в различных размерах и мощностях — от 130 до 800 А.

## 1.1. Плазменная резка

В процессе плазменной резки ионизация газов играет столь же критическую роль, как и заточка инструментов для механического оборудования. Точность и скорость реза напрямую зависят от качества ионизации и типа используемых газов. Понимание и правильный выбор газа важны для достижения оптимальных результатов резки, особенно при работе с определенными материалами. В качестве плазменных газов можно использовать аргон, водород, азот, кислород, смеси этих газов и воздух. Что касается их преимуществ или недостатков, ни один из описанных ниже плазменных газов не является оптимальной плазменной средой.

По этой причине в большинстве случаев используется смесь этих газов. Перед тем как использовать определенную смесь газов, следует проконсультироваться у производителя, подходит ли такая смесь для данной системы. Если смеси не подходят, то это может привести к уменьшению срока службы расходных деталей, к повреждению или поломке резака [27].

**Аргон** является единственным инертным газом, который может производиться для коммерческих целей с использованием метода воздушной сепарации при объемном проценте 0,9325. Будучи инертным газом, он химически нейтрален. Благодаря своей большой атомной массе (39,95), аргон способствует вытеснению расплавленного материала из зоны реза посредством высокой плотности импульсов создаваемой плазменной струи. При низкой энергии ионизации, которая составляет 15,76 эВ, аргон достаточно легко можно ионизировать. По этой причине чистый аргон часто применяется для зажигания плазменной дуги. После того как плазменная дуга прямого действия зажигается, подается тот газ, который является собственно плазменным и, таким образом, начинается процесс резки. Из-за своей относительно низкой теплопроводности и энтальпии



аргон не является совершенно идеальным газом для плазменной резки, так как он позволяет достичь только лишь относительно небольшой скорости резки, в результате чего получаются скругления, поверхности имеют чешуйчатый вид [27].

**Водород.** По сравнению с аргоном, водород имеет очень маленькую атомную массу (1) и характеризуется относительно большой теплопроводностью. Водород имеет чрезвычайно высокую максимальную теплопроводность в температурном диапазоне диссоциации, что обуславливается процессами диссоциации и рекомбинации. Диссоциация водорода начинается при температуре 2000 К и прекращается полностью при 6000 К. Полная ионизация водорода имеет место при температурах около 25 000 К. Первоначально при рекомбинации и ионизации двухатомного водорода из дуги высвобождается большое количество энергии. Это приводит к обжатию вытекающей дуги. Когда дуга достигает поверхности материала, происходит рекомбинация заряженных частиц, которые отдают энергию в виде тепла рекомбинации, повышая температуру расплавленного материала. Вязкие оксиды хрома и алюминия при добавлении водорода восстанавливаются, что делает расплав более текучим. Из приведенного описания физических свойств следует, что водород сам по себе настолько же не подходит в качестве плазменной среды, насколько и аргон. Однако, если положительные свойства водорода, касающиеся тепловых показателей (большое содержание энергии и энтальпия) совместить с большой атомной массой аргона, то получаемая в результате газовая смесь дает возможность быстро передавать кинетическую энергию (атомная масса), а также достаточное количество тепловой энергии разрезаемому материалу [27].

**Смеси аргона и водорода.** Смеси аргона и водорода часто применяются для резки высоколегированных сталей и алюминия. Добавив всего несколько процентов водорода к аргону, можно добиться значительного улучшения в отношении скорости резания и качества кромки реза. Кроме того, восстанавливающий эффект водорода обеспечивает гладкость и отсутствие окисленного металла на поверхностях реза. Такие смеси часто применяют для резки листов, имеющих толщину до 150 мм. Часть водорода доходит до 35% по объему и зависит от толщины материала. Дальнейшее повышение процентного содержания водорода не дает значительного увеличения скорости резки. Содержание водорода, превышающее 40% по объему, может стать причиной неровностей на поверхностях реза и увеличения образования грата на нижней кромке изделия [27].

**Азот.** В отношении физических свойств азот занимает приблизительно промежуточное положение между аргоном и водородом. Имея атомную массу 14, азот значительно превосходит водород, однако ощутимо уступает аргону. Теплопроводность и энтальпия у азота выше, чем у аргона, однако меньше, чем у водорода. Азот и водород ведут себя сходным образом в смысле возможности обжата дуги, а также в отношении тепла рекомбинации, создающего текучий расплав. Таким образом, азот может использоваться сам по себе как плазменный газ. Азот, используемый в качестве плазменного газа, обеспечивает быструю резку изделий с тонкими стенками без образования оксидов. Недостатком является относительно большое количество бороздок. Практически невозможно

добиться реза с полностью параллельными сторонами. Угол получаемого скоса в большей степени зависит от установленного настройкой объема газа и скорости резки. Насыщение поверхности реза азотом отрицательно сказывается на свариваемости. Повышенное содержание азота при поверхностях реза является причиной пористости свариваемого металла [27].

**Смеси азота и водорода.** Смеси азота и водорода часто используются для резки высоколегированных сталей и алюминия. Они позволяют выполнять резы с параллельными кромками при значительно более высоких скоростях резки, чем в случае аргона. Окисление на поверхностях реза также меньше, чем когда применяется чистый азот. Такие смеси, имеющие название «формирующие газы», содержат до 20% водорода.

**Смеси аргона с водородом и азотом.** Смеси аргона с водородом и азотом используются для резки высоколегированных сталей и алюминия. Они обеспечивают хорошее качество кромок реза и в меньшей степени формируют грат по сравнению со смесями аргона и водорода.

Большинство смесей, которые обычно используются, состоят на 50–60% из аргона, и на 40–50% из азота и водорода. Процентное содержание азота обычно составляет 30%. Количество водорода зависит от толщины изделия: чем толще материал, тем больше следует использовать водорода. Добавляя азот в смесь аргона и водорода при резке высоколегированных и конструкционных сталей, можно получить кромки без графа, а также добиться большой скорости резки [27].

**Кислород.** Кислород применяется в качестве плазменного газа для резки нелегированных и низколегированных сталей. Когда кислород смешивается с расплавом, понижается его вязкость, благодаря чему расплав приобретает большую текучесть. Это обычно дает возможность получить кромки реза без графа и верхние края без скруглений. Появляется возможность достичь более высоких скоростей резки, чем в случае с азотом и воздухом. В отличие от азота или воздуха, при использовании кислорода поверхности реза не насыщаются азотом, а значит, риск возникновения пор при последующей сварке сводится к минимуму. Благодаря высокой скорости резки ширина зоны, подверженной воздействию тепла, очень мала, поэтому механические свойства разрезаемого металла не ухудшаются. Высокая скорость резки объясняется протеканием химической реакции кислорода с материалом изделия [27].

**Воздух.** Основными составляющими воздуха являются азот (объемное содержание 78,18%) и кислород (объемное содержание 20,8%). Сочетание этих двух газов представляет собой очень богатую энергией смесь. Воздух применяется в качестве плазменного газа для резки нелегированных, низколегированных, высоколегированных сталей и алюминия. Обычно воздух используется для ручной резки, а также для резки тонкого листа. Если резка нелегированной стали выполняется с применением в качестве плазменного газа воздуха, то кромки реза получаются прямыми и достаточно гладкими.

Таблица 1

## Рекомендуемые сочетания газов и их влияние на качество кромки реза

Материал/толщина	Плазменный газ	Вторичный газ	Примечание
Конструкционная сталь от 0,5 до 8 мм	Кислород	Кислород/ азот	– Допуск неровности сходен с обеспечиваемым лазером – Гладкие кромки без грата
Конструкционная сталь от 4 до 50 мм	Кислород	Кислород/азот или воздух	– Допуск неровности до 25 мм сходен с обеспечиваемым лазером – Гладкие поверхности реза – До 20 мм без грата
Высоколегированная сталь от 1 до 6 мм	Азот	Азот/водород	– Узкий допуск неровности – Гладкие кромки без грата (1,4301)
Высоколегированная сталь от 5 до 45 мм	Аргон Водород Азот	Азот/водород	– Узкий допуск неровности – Гладкие поверхности реза – До 20 мм без грата (1,4301)
Алюминий от 1 до 6 мм	Воздух	Азот/водород	– Почти вертикальные резы – Резы без грата (AlMg3) – Шероховатость, зернистость
Алюминий от 5 до 40 мм	Аргон Водород Азот	Азот/водород	– Почти вертикальные резы – До 20 мм без грата – Шероховатость, зернистость

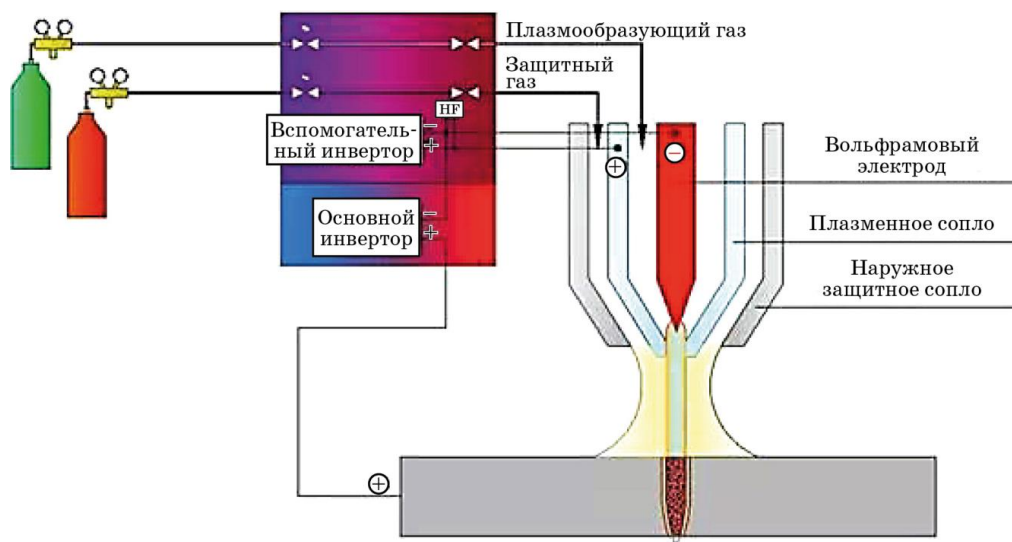


Рис. 6

Схема подачи газа при плазменной резке

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)