

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

Мевлют Ш.Т., Киселёв Н.П.

Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, г. Симферополь

Ключевые слова: плазменная резка, повышение качества, оптимизация, технологические параметры.

Аннотация. В статье приведены особенности плазменной резки металлов, которая является одним из способов раскроя листового материала в заготовительном производстве. Предлагаются способы повышения качества процесса резки, направленные на минимизацию отклонения кромок реза от перпендикулярности, с помощью которых возможно достичь оптимизации технологических параметров.

IMPROVING THE QUALITY OF PLASMA CUTTING OF METALS BY OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PROCESS PARAMETERS

Mevlyut Sh.T., Kiselyov N.P.

Crimean engineering and pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol

Keywords: plasma cutting, quality improvement, optimization, technological parameters.

Abstract. The article describes the features of plasma cutting of metals, which is one of the methods for cutting sheet material in procurement. Methods are proposed to improve the quality of the cutting process, aimed at minimizing the deviation of the cutting edges from perpendicularity, with which it is possible to achieve optimization of technological parameters.

Постановка проблемы. Предпосылки формирования современного машиностроения в России характеризуются повышенным требованием к конкурентоспособности выпускаемой продукции. Она достигается снижением сроков изготовления, а так же качеством и снижением себестоимости выпускаемой продукции. В частности, для этих целей применяется плазменная резка, которая достаточно успешно конкурирует с другими современными способами термической резки.

Плазменная резка на сегодняшний день является чрезвычайно важным и оптимальным технологическим процессом при получении заготовок из листового материала. Получение заготовок криволинейной формы с использованием традиционных технологий резки имеет существенный недостаток – неудовлетворительное качество кромок реза, что приводит к дополнительным операциям по обработке кромок заготовки и как следствие, – к удорожанию выпускаемой продукции. Использование лазерной резки как более качественного способа с одной стороны не выгодно из экономических соображений из-за низкого коэффициента полезного действия, а с другой – затруднена резка при больших толщинах металла.

Согласно ГОСТ 17792-80 предъявляются требования к качеству заготовок по четырем показателям: по линейному отклонению размера; отклонению поверхности реза от перпендикулярности; шероховатости поверхности реза; зоне термического влияния [1].

Цель статьи – провести анализ современного состояния поставленной проблемы по опубликованным источникам информации и на основе полученных данных наметить пути оптимизации технологических параметров процесса (скорость, качество и точность резки) с целью повышения качества плазменной резки металлов.

Изложение основного материала. Плазменная резка представляет собой одну из новых технологий, которая дает некоторые преимущества перед обычными способами – газопламенной и кислородной резкой. Перспективы развития данной технологии предопределена высокими энергетическими параметрами плазменной режущей дуги: объемная концентрация мощности достигает $100\text{--}150\text{ кВт/см}^2$, температура $(5\text{--}16)\cdot 10^3\text{ К}$, скорость истечения потока плазмы до 5000 м/с , удельная плотность тепловой мощности $(10\text{--}20)\text{ кВт/мм}^2$ [2].

Большинство заготовок из листового материала, полученных с помощью плазменной резки, используется в дальнейшем для получения деталей и изделий, в процессе изготовления которых используется сварка. Исключение дополнительных механических операций перед сваркой, таких как уменьшение зоны термического влияния (ЗТВ) [3, с. 24], удаление грата и брызг расплавленного металла на поверхности заготовки, позволяет минимизировать затраты на изготовление продукции.

Оптимизацией является процесс выбора наилучшего варианта из множества возможных [4, с. 348]. Перед конструкторами и инженерами ставится задача повышения эффективности параметров процесса с целью увеличения точности и качества реза. Инструментом при резке плазмой является плазменная дуга, которая получается с помощью плазмообразующего газа.

Плазма представляет собой ионизированный газ, содержащий в своем составе свободные электроны, положительно и отрицательно заряженные ионы, а также нейтральные и возбужденные атомы или молекулы. Основным важным признаком плазменной резки является резка металлов и неметаллических материалов плазменно-газовой струей, образуемой при сжатии дуги потоком газа [4, с. 382].

Для поддержания полноценного механизма плазменной резки и получения желательного качества целесообразен рациональный выбор показателей режима. На процесс раскрытия заготовок с использованием плазменной резки влияют следующие основные взаимосвязанные и взаимозависимые параметры [5]:

- сила тока плазменной дуги, которая выбирается в зависимости от типа металла и его толщины;
- скорость резки, которая обусловлена типом и толщиной разрезаемого материала и силы тока;
- диаметр сопла плазмотрона, выбираемый в зависимости от силы тока и давления плазмообразующих и охлаждающих газов;
- зазор между торцом сопла и заготовкой, который определяется давлением плазмообразующего газа и силой тока;
- состав, давление и расход плазмообразующего газа.

Среди различных способов тепловой резки металлов плазменная резка обеспечивает высокую скорость резки и качество реза. В связи с этим плазменная резка в машиностроении получает все большее использование. В настоящее время технологию плазменной резки допустимо разделить на традиционную технологию и технологию узкоструйной плазменной резки [6, с. 3]. По сопоставлению с общепринятой технологией технология узкоструйной плазменной резки имеет свои преимущества, что позволяет существенно повысить как производительность, так и качество резки по сравнению с существующей технологией плазменной резки [6, с. 3].

Одной из уникальностей технологии узкоструйной плазменной резки является использование различных плазмообразующих сред: воздух, кислород, смесь аргона с водородом, смесь азота с водородом. Плазмообразующая среда должна обеспечивать наибольшую удельную тепловую мощность при заданном расходе газа и затрачиваемой электроэнергии [7, с. 43]. Использование разнообразных плазмообразующих сред вызывает изменение скорости резки и качества реза, которые в существенной мере соотносятся с температурным полем разрезаемого металла.

Процесс резки осуществляется за счет расплавления материала дугой и выдуванием расплава струей газа. Для обеспечения более равномерного распределения температуры по сечению дуги во многих плазмотронах предусмотрена специальная система закрутки потока газа. Существует специфика технологии узкоструйной плазменной резки, к которым относятся: специальная конструкция плазмотрона, использование различных плазмообразующих сред и дополнительных вихревых газов, а также инверторные источники питания с микропроцессорным управлением.

В традиционной технологии плазменной резки используется один газ в отличие от технологии узкоструйной плазменной резки, в которой кроме основного газа используется дополнительный «вихревой» газ, который обжимает и стабилизирует плазменную струю [8, с. 127]. При этом увеличивается плотность тока, а вращение газа ограничивает плазменную дугу, чем достигается в 1,5–2 раза уменьшение ширины реза. Рез получается очень узкий 0,1–0,2 мм, очень узкая зона термического влияния, меньше деформации и напряжения.

Максимальная теплопередача от плазменной дуги к металлу фиксируется в верхней части реза, из-за чего материал плавится в верхней части реза больше, чем в нижней части. От этого напрямую зависит конусность реза. Так же она зависит от степени обжатия плазменной дуги, что обуславливается конструктивностью плазмотрона. Чем большему обжатию со стороны завихрённого плазмообразующего газа (а в некоторых конструкциях плазмотронов – и со стороны охлаждающего газа) подвергается воздействию плазменная дуга, тем меньшим выходит конусность реза. Угол отклонения реза также зависит от расстояния, на котором находится плазмотрон от листа металла и от скорости резки. При плазменной резке без повышенного обжатия плазменной дуги угол резки с обеих сторон обычно составляет от 4 до 8°. При использовании повышенного обжатия плазменной дуги угол резки может быть уменьшен до величины меньше 1°. Скорость резки должна быть такой, чтобы угол отставания прорезания нижней кромки от верхней не превышал 5°, а при прецизионной микроплазменной резке – 3° [9].

Применение плазменной резки с повышенным обжатием плазменной дуги (прецизионная плазменная резка) даёт возможным получить очень хорошее качество реза при высокой точности. Описанная технология гарантирует для элементов допуск $\pm 0,2$ мм и высокую точность повторения, в связи с чем на выходе можно получить качество кромки реза сопоставимое по качеству с теми кромками, которые даёт лазер.

На данный момент не существует надёжных методов прогнозирования точности резки и выбора оптимальных режимных параметров (мощности, скорости резки) при различной толщине разрезаемых листов. Связано это прежде всего, с многообразием и сложным взаимодействием протекающих при тонкоструйной плазменной резке физических процессов. Главными из них являются: распространение и поглощение плазменного излучения в канале реза, распространение тепла в материале и образование расплава, течение газа в канале реза, выделение энергии в результате экзотермической реакции и

образование окислов металла при использовании кислорода в качестве режущего или завихряющего газа, движение пленки расплава под действием потока газа. Совокупность этих факторов и определяют точность и качество реза при тонкоструйной плазменной резке.

Для определения эффективности технологических параметров, влияющих на формообразование кромок реза, в первую очередь будем рассматривать только скорость резки [10, с. 123] как управляющий параметр, который напрямую зависит от тока плазменной дуги. Необходимо при этом не забывать, что для каждой толщины обрабатываемого материала определенного типа существует критическое значение скорости реза для конкретной величины силы тока дуги, выше которой не достигается сквозной прорез металла.

Возьмем данные из четырех различных источников, построим графики зависимости скорости резки углеродистой стали от тока резки для толщин металла 10 и 30 мм.

1. Скорость резки, определим по выражению [11]:

$$V = 150 \cdot k \cdot I / S,$$

где V – скорость резки, мм / мин; I – ток резки, А; S – толщина разрезаемого металла, мм; k – коэффициент, учитывающий вид разрезаемого металла: для углеродистых сталей $k = 1$; для алюминиевых сплавов $k = 0,6$; для медных сплавов $k = 0,4$; для коррозионно-стойких сталей $k = 0,8$.

Сведем расчетные данные по этой формуле в таблицу 1.

Табл. 1.

Ток резки, А	Толщина металла, мм	
	10	30
100	1,50	0,50
200	3,00	1,00
300	4,50	1,50
400	6,00	2,00

Для теоретической оценки скорости реза возьмем еще несколько данных из разных источников: 12, 13 и 14.

2. Зависимости скорости плазменной резки V (м/мин) от толщины разрезаемого металла S (мм) и силы тока плазменной дуги I (А) при использовании в качестве плазмообразующего газа воздуха рассчитаем по следующей формуле [12, с. 8]:

$$V = \frac{1,5 + 0,06I}{S^k},$$

где $k = \left(\frac{I}{400}\right)^{0,2}$.

Полученные данные приведены в таблице 2.

Табл. 2.

Ток резки, А	Толщина металла, мм	
	10	30
100	1,30	0,57
200	1,82	0,70
300	2,22	0,79
400	2,55	0,85

3. Следующие данные, взятые из документации ESAB [13, с. 13], оформим в виде таблицы 3.

Табл. 3.

Ток резки, А	Толщина металла, мм	
	10	30
100	1,91	
130	2,80	
200	4,00	1,00
400	4,80	1,50

4. Последние данные для анализа возьмем из таблицы, приведенной в электронном документе [14] и на основании их оформим таблицу 4.

Табл. 4.

Ток резки, А	Толщина металла, мм	
	10	30
100	2,00	
200	2,20	1,00
300	6,00	1,80
400	7,00	2,10

Теперь на основании данных из четырех источников для наглядности построим графики зависимости скорости резки углеродистой стали от тока резки для толщин металла 10 и 30 мм

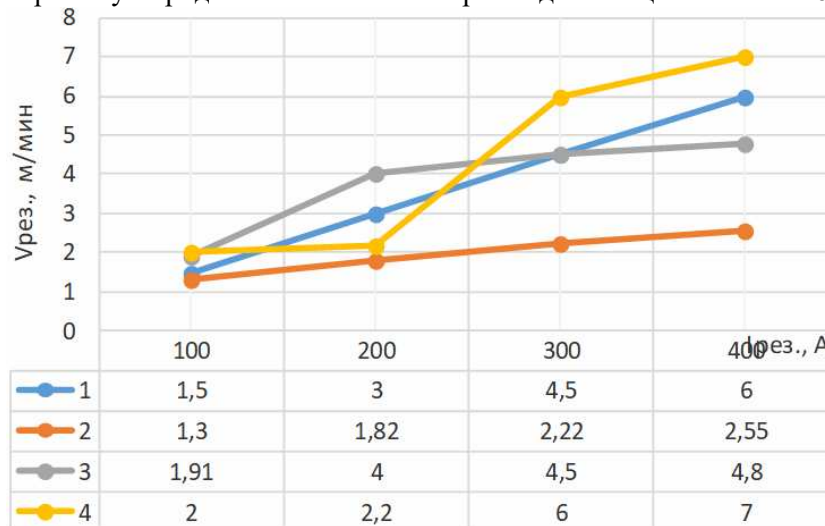


Рис. 1. Ток резки при толщине металла 10 мм

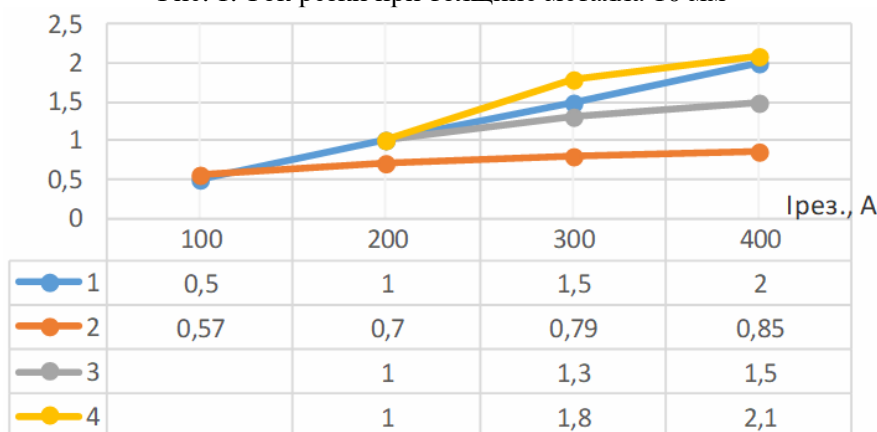


Рис. 2. Ток резки при толщине металла 30 мм

На всех графиках изображены оптимальные технологические режимы воздушно-плазменной резки малоуглеродистой стали на основе данных различных источников. Сведем полученные данные в таблицу 5.

Табл. 5.

I, А	S = 10 мм				S = 30 мм			
	100	200	300	400	100	200	300	400
1	1,5	3	4,5	6	0,5	1	1,5	2
2	1,3	1,82	2,22	2,55	0,57	0,7	0,79	0,85
3	1,91	4	4,5	4,8		1	1,3	1,5
4	2	2,2	6	7		1	1,8	2,1

Анализируя полученные данные из четырех источников, мы видим, что скорости плазменной резки отличаются друг от друга на 10-15%, но наиболее сильное отличие данных, полученных по формуле из источника № 2. Это может говорить лишь о том, что условия проведения опытов и получения из них для дальнейшего расчета существенно отличались от остальных.

При резке всех рассматриваемых толщин металла наиболее точно отражает скорость резки график, построенный по данным источника №1 [11], которым мы и будем руководствоваться при проведении опытов в дальнейшем.

Все расчетные значения необходимо рассматривать как рекомендуемые для выбранного материала. Окончательно скорость резки будет устанавливаться по результатам пробной резки на образце с получением необходимого качества кромки заготовок при соотношении двух показателей – точности и эффективности.

Вывод. Таким образом, аналитический обзор узкоструйной плазменной резки в сопоставлении с традиционной технологией обработки подтвердил, что плазменная резка обеспечивает высокое качество и точность реза, при котором наиболее технологичным параметром является скорость обработки, напрямую зависящая от силы тока дуги. Следовательно, плазменная резка позволит исключить механическую обработку деталей под сварку, если придерживаться предлагаемых режимов раскроя, и тем самым оптимизировать процесс.

Список литературы

- ГОСТ 17792-80. Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. Точность, качество поверхности реза. – М.: Изд-во Стандартов, 1994. – 7 с.
- Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка – перспективный метод термической резки // Сварочное производство. – 2002. – №4. – С. 28-32.
- Рахимьянов Х.Г. Оптимизация режимов тонкоструйной плазменной резки листовых материалов на основе безразмерных параметров процесса / Х.Г. Рахимьянов, Н.П. Гаар, А.А. Локтионов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 4. С. 23-31.
- Политехнический словарь / редкол.: А. Ю. Ишлинский (главный редактор) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.
- Применение плазмообразующих газов в зависимости от вида металла [Электронный ресурс] // Технология плазменной резки металла. – Режим доступа: <https://morflot.su/tehnologija-plazmennoj-rezki-metalla>.
- Чижу К.Ф. Исследование эффективности технологии узкоструйной плазменной резки металлов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.08.04 / Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. – СПб, 2008. – 26 с.
- Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. – М.: Машиностроение, 1974. – 111 с.
- Киселев Ю.Я. Исследование и разработка технологии и оборудования плазменно-дуговой резки металлов на обратной полярности: дисс. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Технический университет Молдовы. – Кишинев, 2005. – 331 с.
- Скорость плазменной резки [Электронный ресурс] // Основные параметры при плазменной резке. – Режим доступа: <http://www.plazmamash.ru/node/209>.
- Рахимьянов К.Х. Исследование обрабатываемости стали Ст3 методом тонкоструйной плазменной резки / К.Х. Рахимьянов, А.Х. Рахимьянов, С.В. Шопф // Ползуновский альманах. – 2012. – №1. – С. 121-124.
- Кольченко В. А. Технологические особенности плазменной резки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.instel.by/Stati/Osobennosti-Plazmennoj-Rezki.html>.
- Буланов Р.Д. Исследование процессов и повышение эффективности автоматизированной плазменной резки на судостроительном предприятии: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.08.04 / ФГУП Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения. – СПб, 2000. – 23 с.
- ESAB m3 plasma. Система плазменной резки третьего поколения [Электронный ресурс] // Руководство. – Режим доступа: <https://rusweld.com/sites/default/files/images/product2/files/247-1560/m3-Plasma.pdf>.
- Технология плазменной резки. [Электронный ресурс] // Техника сварки. – Режим доступа: <http://www.h-m.by/articles/117/>

Сведения об авторах:

Мевлют Шевхи Тевабилевич – к.ф.-м.н., доцент, КИПУ им. Ф. Якубова, г. Симферополь;

Киселёв Николай Парфирьевич – магистрант, КИПУ им. Ф. Якубова, г. Симферополь.