

1. Условия протекания процесса газокислородной резки.

Кислородная резка представляет собой процесс интенсивного местного окисления металла, нагретого до температуры воспламенения, струей кислорода и удаления этой струей образующихся продуктов сгорания (окислов металла).

Процесс резки начинается с нагрева изделия в начальной точке реза до температуры, достаточной для воспламенения (начала интенсивного окисления) данного металла в кислороде. Нагрев производится подогревающим пламенем, образуемым при сгорании горючего газа в кислороде. Когда температура зоны нагрева достигает требуемой величины, пускается струя технически чистого (98 – 99%-ного) кислорода. Направленный на нагретый участок режущий кислород вызывает интенсивное окисление верхних слоев металла, которые, сгорая, выделяют значительное количество теплоты и нагревают до воспламенения в кислороде нижележащие слои. Таким образом, процесс горения металла в кислороде распространяется по всей толщине разрезаемой заготовки. Образующиеся при сгорании окислы, будучи в расплавленном состоянии, увлекаются струей режущего кислорода и выдуваются из зоны реакции.

Для успешного протекания процесса резки должно соблюдаться несколько условий:

- 1.1. температура плавления металла должна быть выше температуры его воспламенения в кислороде, под которой понимается температура, при которой начинает происходить интенсивное окисление металла;
- 1.2. температура плавления окислов должна быть ниже температуры плавления самого металла и температуры, которая развивается в процессе резки;
- 1.3. количества теплоты, выделяющейся при сгорании металла в кислородной струе, должно быть достаточно для поддержания непрерывного процесса резки;
- 1.4. теплопроводность должна быть не выше того предела, при котором вся теплота, сообщаемая подогревающим пламенем и выделяемая в процессе резки, отводится от места резки;
- 1.5. образующиеся окислы должны быть достаточно жидкотекучими для их свободного выдувания кислородной струей.

Согласно данным разных исследователей температура воспламенения низкоуглеродистой стали колеблется в широких пределах, верхняя граница которых равна 1350°С. По утверждению И.А.Антонова (Антонов И.А. Газопламенная обработка

металлов. М.: «Машиностроение», 264с., 1976.) за температуру воспламенения железа следует принимать температуру плавления закиси железа FeO (вюстит), которая начинает интенсивно образовываться при температурах свыше 680 °С и составляет от 90% до 95% всех окислов железа. Твердая фаза окислов препятствует дальнейшему протеканию реакции, поэтому бурное развитие реакция получает только с началом расплавления закиси железа, т. е. в диапазоне температур – 1300 °С...1350 °С. Низкоуглеродистая сталь, имеющая температуру плавления около 1500 °С, удовлетворяет первому условию и поддается процессу кислородной резки без ограничений.

При увеличении содержания углерода температура плавления стали уменьшается. Содержание углерода выше 0,7% приводит к тому, что плавление начинается при температурах более низких, чем температура воспламенения, а процесс резки превращается в процесс расплавления стали и удалении этого расплава из зоны реакции кислородной струей.

Наличие легирующих элементов в сплавах оказывает влияние на температуру плавления как самого металла, так и его окислов. Если легирующие элементы снижают температуру плавления стали, то тугоплавкость окислов легирующих элементов в ряде случаев оказываются значительно выше температуры плавления стали. Например, наличие в металле хрома приводит к образованию на поверхности реза окисла Cr₂O₃ с температурой плавления 1990 °С, сплавы алюминия образуют окисел алюминия Al

²
O

³
с температурой плавления около 2050 °С. Металлы с повышенным содержанием этих элементов обычному процессу газовой резки не поддаются. В таблице 1 приведены температуры плавления наиболее широко применяемых, металлов и окислов некоторых основных элементов этих металлов.

Наименование металла

Температура плавления, °C

Наименование окисла

Температура плавления, °C

Железо

Сталь низкоуглеродистая

Сталь углеродистая

Серый чугун

Медь

Латунь
Алюминий
Цинк

1539
1500
1300 – 1400
1200
1083
850 – 900
657
419

Закись железа FeO			
Закись-окись железа Fe ₃ O ₄	3	O	4
Окись железа Fe ₂ O ₃	2	O	3
Окись меди Cu ₂ O	2	O	
Окись алюминия Al ₂ O ₃	2	O	3
Окись цинка ZnO			

1371
1527
1565
1236
2020
1800

Примечание:	для сплавов приведенные температуры являются ориентировочными.
--------------------	--

В процессе горения железа выделяемое тепло идет на нагрев слоя, непосредственно прилегающего к зоне реакции, чем обеспечивается непрерывность процесса резки. По некоторым данным (Глизманенко Д.Л., Евсеев Г.Б. Газовая сварка и резка металлов. М.: Машгиз, 1954, 548 с.) при резке низкоуглеродистой стали 70% общего количества теплоты, вводимой в металл, составляет теплота, выделяющаяся при сгорании железа и его примесей. Остальное тепло вводится подогревающим пламенем резака. При этом важно, чтобы скорость теплоотвода не превышала скорости тепловложения, т.е. теплопроводность металла должна быть ограниченной. Для резки металла с высокой теплопроводностью, например меди, интенсивность тепловложения должна быть

достаточно высокой, чтобы обеспечить нагрев зоны реза до температуры воспламенения. Поскольку обычными методами обеспечить это условие при резке меди удается далеко не всегда, зачастую прибегают к предварительному или сопутствующему подогреву.

Важным параметром, влияющим на процесс резки, является жидкотекучесть расплавленных окислов. При большой вязкости выдуваемость шлака кислородной струей из зоны реза затруднена, что значительно тормозит процесс резки. Например, окисел кремния SiO_2 , обладая значительной тугоплавкостью, имеет, кроме того, большой температурный интервал изменения вязкости. Поэтому у чугуна, содержание кремния в котором довольно высокое, удаление шлака в процессе резки вызывает значительные трудности.

2. Разрезаемость сталей и сплавов

Из анализа условий резки следует, что из всех наиболее используемых в промышленности металлов в полной мере этим условиям удовлетворяет только низкоуглеродистая сталь. С повышением содержания в стали как углерода, так и легирующих элементов, процесс резки осложняется. Чугун нормальному процессу газовой резки обычным способом вообще не поддается. Причиной этого является, во-первых, то, что температура плавления чугуна ниже температуры воспламенения железа (см. таблицу 1), и, во-вторых, высокая температура плавления окисла кремния SiO_2 и его недостаточная жидкотекучесть. Кроме того процессу резки препятствует образование значительного количества окислов CO и CO_2 , загрязняющих режущий

кислород и снижающих эффективность процесса окисления.

Высокохромистые и хромоникелевые стали также не поддаются нормальному процессу газовой резки. В этом случае резке препятствует высокая температура плавления оксида хрома, который образуется на поверхности реза и делает процесс окисления нижележащих слоев металла невозможным.

Цветные металлы, в частности медь, алюминий и их сплавы, газовой резке обычным способом не поддаются ввиду высокой температуры плавления их оксидов и значительной теплопроводности, препятствующей концентрации теплоты в зоне реакции при резке. При резке меди, кроме того, сказывается весьма низкий тепловой

эффект окисления, т.е. выделяемого в результате реакции тепла не достаточно для нагрева зоны реза до температуры воспламенения. Поэтому, наряду с другими мерами, часто используется предварительный подогрев меди до температуры 750 °С ...850 °С, а латуни и бронзы – 380 °С...480 °С (Справочник по газовой резке, сварке и пайке / А.Г.Шустик, В.П.Савченко, А.М.Табунщик, Н.Н.Побрус; Под общ. ред. канд. тех. наук В.П.Савченко. – К.: Техніка, 1989. – 104 с.), что увеличивает общее тепловложение в разрезаемый металл и позволяет эффективнее концентрировать тепло в зоне реза.

Для сравнения в таблице 2 приведен тепловой эффект образования окислов

некоторых основных металлов, входящих в состав сталей и сплавов.

Химическая формула окисла

Тепловой эффект образования, ккал/г-моль

Химическая формула окисла

Тепловой эффект образования, ккал/г-моль

Химическая формула окисла

Тепловой эффект образования, ккал/г-моль

FeO
Fe3O4
Fe2O3
Cr2O3

64,3
266,9
198,5
273

CuO
Cu ₂ O
Al ₂ O ₃
ZnO

37,5

40,6
393,2
83,36

NiO
MnO
Mn ₂ O ₃
Mn ₃ O ₄

58,4
93,1

232,7
336,5

Из вышесказанного напрашивается вывод, что для повышения разрезаемости черных металлов и сплавов следует снизить в них концентрацию, как углерода, так и легирующих элементов до уровня, близкого к их концентрации в низкоуглеродистой стали. В процессе газовой резки снижение концентрации может быть достигнуто путем непрерывного введения в зону реакции порошкообразного флюса, например, железного порошка. Эта идея была заложена в основу разработанного в конце 40-х годов прошлого столетия кафедрой сварочного производства МВТУ им. Баумана и параллельно институтом ВНИИАвтоген совместно с заводом «Красный Октябрь», а также фирмой «Union Carbide and Carbon Corp» (Patents Nos. 2.286.191, 2.286.192,

2.327.482, 2.327.496) процесса кислородно-флюсовой резки.

3. Процесс кислородно-флюсовой резки

Процесс кислородно-флюсовой резки мало отличается от обычного процесса газокислородной резки, поэтому резчику обычно достаточно несколько дней, чтобы освоить технику резки и обслуживание установки КФР.

Сущность процесса заключается в следующем. В зону реза струей кислорода

(режущего или дополнительной), сжатого воздуха либо другого газа, например азота, вдувается порошкообразный флюс на основе железного порошка, который выделяет при сгорании дополнительное количество теплоты, снижает концентрацию легирующих элементов в металле и разжижает шлак. Кроме того, образующиеся при его сгорании окислы железа производят флюсование образующегося при резке шлака.

Кислородно-флюсовая резка с позиции техники ее выполнения отличается от обычного процесса газовой резки тем, что расстояние от поверхности разрезаемого металла до торца мундштука в первом случае должно быть больше, чем во втором, так как воспламенение флюса начинается над поверхностью разрезаемого металла, а полное сгорание происходит в полости реза. На практике это расстояние выбирается в зависимости от разрезаемого материала и колеблется в пределах от 15 до 50 мм.

Флюс представляет собой мелкогранулированный железный порошок с добавками некоторых других компонентов, например феррофосфора при резке чугуна или алюминия при резке меди. Однако в большинстве случаев в качестве флюса может служить чистый железный порошок, без каких либо добавок.

Кислородно-флюсовой резке подвергаются металлы, которые не поддаются обычному процессу газовой резки. К ним в первую очередь относятся высокохромистые и хромоникелевые жаропрочные и нержавеющей стали, серый чугун, цветные металлы и сплавы.

Исследование процесса кислородно-флюсовой резки и разработка оборудования для резки проводились различными институтами и организациями. Наибольшими успехами в этой области добились на кафедре сварочного производства МВТУ им. Баумана и во ВНИИАВТОГЕНМАШ. Однако существенным недостатком всех этих разработок является, на наш взгляд, то, что флюс подается в зону реакции либо струей кислорода, либо струей сжатого воздуха или азота. Смесь кислорода с железным порошком взрывоопасна, поэтому подача флюса струей кислорода может иметь весьма негативные последствия. Использование в качестве флюсонесущего газа сжатого воздуха или азота приводит, с одной стороны, к усложнению оборудования, так как требуется дополнительная система для подвода сжатого воздуха или газа, а с другой стороны, значительно снижает чистоту режущего кислорода, чем существенно тормозится процесс резки.

Принципиальное отличие комплекта оборудования для кислородно-флюсовой резки, разработанного и выпускаемого заводом автогенного оборудования «ДОНМЕТ» (г.Краматорск, Донецкой области) заключается в том, что флюсонесущим является горючий газ (пропан-бутан или метан), что обеспечивает повышенную безопасность работы и позволяет подводить в зону реза кислород исходной чистоты (Сергиенко В.А. «Способ кислородно-флюсовой резки». Патент Украины № 2002010375, дата публикации 15.01.2002г.). Кроме того, при таком способе подачи флюса разогрев последнего производится подогревающим пламенем резака еще до его попадания в зону реакции, чем достигается более высокая скорость резки и более полное использование а, следовательно, экономия флюса.

Комплект (см. рис. 1, фото 1) предназначен для ручной разделительной резки высоколегированных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов, как в условиях цеха,

так и в условиях открытых площадок. При этом пределы толщин резки следующие:

- высоколегированные стали ...до 200 мм

- чугун разных марок ...до 200 мм

- цветные металлы и сплавы ...до 100 мм

Центральным узлом комплекта является флюсопитатель 1 емкостью 10 л. (до 22 кг флюса) с регулируемым смесителем вихревого типа. Флюсопитатель резиноканевым рукавом 2 через баллонный газовый редуктор 3 подключается к газовому баллону 4 или распределительной газовой магистрали. К флюсопитателю с помощью резиноканевого рукава 6 подсоединяется специальный резак 5 – КФР-352. Для удобства транспортировки флюсопитатель установлен на тележке 7 грузоподъемностью 40 кг, на ней же смонтирован дополнительный предохранитель 8. В транспортном положении на тележке фиксируется также резак вместе с

резинотканевым рукавом.

Флюсопитатель (Рис. 2) состоит из бачка 1 и смесителя 2 с регулировочным винтом 3.

На верхней крышке бачка смонтирован тройник 4 для подсоединения резинотканевого

рукава 5, идущего на смеситель, манометра 6 и обратного клапана 7, к которому

подсоединяется рукав от газового баллона. Величина давления в бачке

устанавливается редуктором на газовом баллоне в пределах 0,06 – 0,1 МПа и

контролируется манометром 6 на флюсопитателе. Для защиты флюсопитателя от

превышения в нем давления выше допустимого, на нем смонтирован предохранитель 8.

Загрузка флюса в бачок производится через горловину 9, в крышку которой

завернут вентиль для выпуска газа по окончании работы или перед загрузкой

очередной порции флюса.

В качестве резака КФР-352 для выполнения кислородно-флюсовой резки используется модернизированный резак с внутрисопловым смешением «ПРОМИНЬ» 344 (Рис. 3), состоящий из ствола 1 с алюминиевым корпусом-рукояткой, головки 2 и подводящих трубок 3. На стволе расположены вентиль кислорода подогревающего (КП) 4 и клапан кислорода режущего 6 с клавишей 7. На входном штуцере с резьбой М16х1,5ЛН расположен шаровой кран 5 подачи горючего газа с флюсом и обеспечивающий возможность быстрого перекрытия горючего газа в случае обратного удара пламени.

Для защиты рук от теплового излучения и брызг расплавленного металла и шлака на подводящих трубках смонтирован щиток 8. С целью правильного задания расстояния от торца мундштука до поверхности разрезаемого металла в процессе резки резак снабжен опорой 9.

Флюсонесущий газ поступает из баллона через редуктор в тройник, где он разветвляется на два потока: первый – в верхнюю часть флюсопитателя для создания в нем давления, второй – в смесительную камеру для создания вихревого потока. Флюс струей газа и действием силы тяжести увлекается в смеситель, а поступающая в смеситель дополнительная струя газа создает вихревой поток, захватывающий частицы флюса и уносящий их к резаку. Регулировка количества флюса, поступающего из флюсопитателя к резаку, производится вращением винта смесителя: отвинчивание приводит к увеличению расхода флюса.

Для питания резака кислородом производится его подключение резиноканевым рукавом непосредственно к кислородному редуктору, установленному на кислородном баллоне или распределительном кислородопроводе. Давление кислорода устанавливается не менее 0,7 МПа.

Контрольные резы, регулярно производимые заводской испытательной лабораторией, при использовании в качестве горючего (флюсонесущего) газа пропан-бутана на заготовках толщиной 60 мм из СЧ-20 с использованием флюса ПЖР 3.315.28-30

ГОСТ9849-86 дают следующие результаты:

Скорость резки ...140 мм/мин;

Расход флюса ...0,56 кг/м (0,08 кг/мин);

Расход кислорода ...17,6 м³/час;

Расход пропан-бутана ...1,00 м³/час.

4. Флюсы для резки

При выборе флюса для кислородно-флюсовой резки необходимо учитывать следующие его свойства:

- химический состав;
- размер зерен;
- сродство с кислородом при температуре резки;
- теплота сгорания;
- флюсующее действие.

Как уже сказано выше, основой всех флюсов для КФР является железный порошок.

Это объясняется несколькими причинами: во-первых, относительной дешевизной и доступностью железного порошка, во-вторых, выделением достаточно большого

количества тепла при сгорании железа (см. таблицу 2) и, в- третьих, относительно низкой температурой плавления закиси железа (см. таблицу 1), которая является основной составляющей окислов, образующихся при горении железа. Кроме того, окислы железа в расплавленном виде являются достаточно жидкотекучими, следовательно, оказывают хорошее флюсующее действие и легко удаляются из зоны реза кислородной струей. Железный порошок является флюсом термомеханического действия и в большинстве случаев кислородно-флюсовой резки применяется в чистом виде.

К флюсам механического действия относят кварцевый песок, который плавится в зоне реакции без выделения дополнительного количества теплоты, но связывает тугоплавкие окислы в более легкоплавкие соединения, т.е. оказывает чисто флюсующее действие в процессе резки. Помимо этого, частицы песка, проходя через

образуемый разрез с большой скоростью, способствуют механическому удалению расплавленных шлаков. Смешивание кварцевого песка с железным порошком приводит к образованию силикатных шлаков системы $\text{FeO} - \text{SiO}_2$, которые имеют большую жидкотекучесть, но только при условии содержания в них 30% SiO_2

2

. (Евсеев Г.Б., Глизманенко Д.Л. Оборудование и технология обработки металлов и неметаллических материалов. М., «Машиностроение», 1974. – 312 с.).

В некоторых случаях для повышения тепловой эффективности к железному порошку добавляют 5 – 10% алюминия или, для улучшения условий флюсования (разжижения образующихся шлаков) - до 25% железной окалины.

В таблице 3 на основе анализа литературных данных приведены ориентировочные составы флюсов, используемые при резке различных материалов.

Железный порошок производится в Украине Казенным заводом порошковой металлургии (Промузел, г. Бровары, Киевская область) марки ПЖР 3.315.28-30 ГОСТ9849-86 (изменение №1) и в России ОАО Сулинский металлургический завод «СТАКС» (г. Красный Сулин, Ростовская область) марки ПЖВ 4.160. ГОСТ9849-86.

В условиях лаборатории завода «ДОНМЕТ» неоднократно производилась разделительная резка с использованием в качестве флюса чистого железного порошка марки ПЖР 3.315.28-30 таких сталей и чугунов, как: 12Х17; 08Х18Н10Т;.Х18Н10Т;

СЧ-20; СЧ-15-32 и других обезличенных материалов. На фото 2 представлен образец реза, выполненный на заготовке из чугуна СЧ-20 толщиной 60 мм. При резке в качестве флюса использовался чистый железный порошок марки ПЖР.

Таблица 3

Состав флюса для кислородно-флюсовой резки, % по массе

Назначение флюса

Железный порошок

Алюминиевый порошок

Кварцевый песок

Железная

окалина

Доменный феррофосфор

Резка чугуна

100

65...75

75

65...75

-
5...10
-
-

-
20...25
25
-

-

-
-
-

-
-
-
25...35

Резка высоколегированных сталей

100
90...95
75

-
5...10
-

-
-
-

-
-
25

-
-
-

Резка меди

70...80

20...30

-

-

-

Резка латуней и бронзы

70...80

70...75

5...10
15...20

15...20
-

-
-

-

10...15

5. Техника выполнения кислородно-флюсовой резки

Комплект кислородно-флюсовой резки дает хорошие результаты при работе в окружающей среде с температурой от -15 оС до +50 °С, поэтому успешно применяется как в условиях цеха, так и на открытых площадках. Ограничения по использованию КФР не отличаются от ограничений по применению обычной газокислородной резки.

Монтаж газоподводящих линий перед началом работы следует начать с кислородной линии. После этого необходимо проверить наличие разрежения (подсоса) в газовом канале резака, для чего полностью открывают вентили горючего газа и подогревающего кислорода, и устанавливают на кислородном редукторе необходимое давление. Наличие разрежения определяют, поднося палец к присоединительному штуцеру газового канала резака. Подсоединять газовый рукав к резаку можно только после установления наличия подсоса в газовом канале. Отсутствие подсоса означает недостаточно плотное прилегание конических поверхностей мундштука и головки резака и возможный переток кислорода в газовый канал, который может привести к обратному удару пламени и выходу резака, а зачастую и флюсопитателя, из строя. Причиной этого чаще всего служит недостаточная затяжка гайки на головке резака.

После этого производится настройка кислорода и горючего газа на нужное давление и

поджиг резака в следующей последовательности:

- приоткрыть вентиль подогревающего кислорода на резаке примерно на $1/10$ оборота,

затем вентиль горючего газа - на $1/4$ оборота и убедиться в том, что из мундштука

истекает газ вместе с флюсом;

- соблюдая меры предосторожности поджечь истекающий из мундштука газ;

- плавно открыть вентиль подогревающего кислорода, следя при этом, чтобы пламя не

оторвалось от торца мундштука;

- поочередно плавно вращая вентили горючего газа и подогревающего кислорода,

добиться требуемого размера и формы пламени.

На следующем этапе производится регулировка флюсопитателя на подачу требуемого

количества флюса. Регулировка производится винтом устройства подачи флюса на

смесителе флюсопитателя методом последовательных приближений. При правильно

выбранном расходе флюса на верхних кромках в процессе реза остаются небольшие валики расплавленного флюса (Рис. 4,а). Избыточная подача флюса вызывает нарастание валика на кромках реза (Рис. 4,б) и уменьшение скорости резки, недостаточная подача флюса также приводит к замедлению резки из-за недостаточной температуры пламени и более высокой вязкости шлака. О недостаточной подаче флюса сигнализирует отсутствие валиков на кромках реза (Рис. 4,в).

5.1 Особенности резки высоколегированных сталей

Так же как и при обычной газовой резке, разрезаемая заготовка в точке начала реза

подогревается до температуры, достаточной для воспламенения стали в кислороде

(практически нагрев ведется до начала оплавления). Время нагрева при

кислородно-флюсовой резке примерно такое же, как и при обычной резке

низкоуглеродистой стали.

Резку начинают от края заготовки. Это сокращает время нагрева начальной точки реза

и исключает появление «зашлаковок» в начале процесса резки, т.е. до момента

получения сквозного отверстия. В тех случаях, когда резку начинают внутри контура

листа, следует предварительно просверлить отверстие.

В процессе резки расстояние от поверхности заготовки до торца мундштука должно

составлять 15...20 мм, сам мундштук при этом располагают под прямым углом к поверхности. В то же время некоторые авторы (Глизманенко Д.Л., Евсеев Г.Б.) утверждают, что при прямолинейной резке для обеспечения хорошего контакта струи флюса с передней гранью образуемого разреза и более полного использования флюса целесообразным является наклон режущего сопла на угол 5° ... 10° в сторону, обратную направлению резки. Скорость резки в зависимости от толщины разрезаемого металла, его химического состава и состава флюса колеблется в пределах от 90 до 500 мм/мин.

5.2 Особенности резки чугуна

Кислородно-флюсовая резка чугуна мало отличается от резки легированных сталей.

Скорость резки на 50...55% меньше, чем скорость резки высоколегированных сталей и

составляет в зависимости от толщины металла 40...200 мм/мин. Расстояние между

поверхностью металла и торцом режущего сопла устанавливается в пределах 30...50

мм.

При резке чугуна у кромки реза происходит его отбеливание. Чем выше содержание

углерода и кремния в чугуне, тем шире отбеленный слой. Для предотвращения

образования отбеленного слоя заготовку перед резкой нагревают и медленно

охлаждают после резки.

5.3 Резка меди и ее сплавов

Резка меди и ее сплавов возможна только после предварительного подогрева. Это объясняется высокой теплопроводностью меди и низкой теплотворной способностью образования ее окислов. Предварительный подогрев меди производится до температуры 750 °С...850 °С, а при резке латуней и бронз – до температуры 380 °С...480 °С. Скорость резки меди и ее сплавов колеблется в пределах 20...180 мм/мин.

В остальном резка меди не отличается от резки легированных сталей.

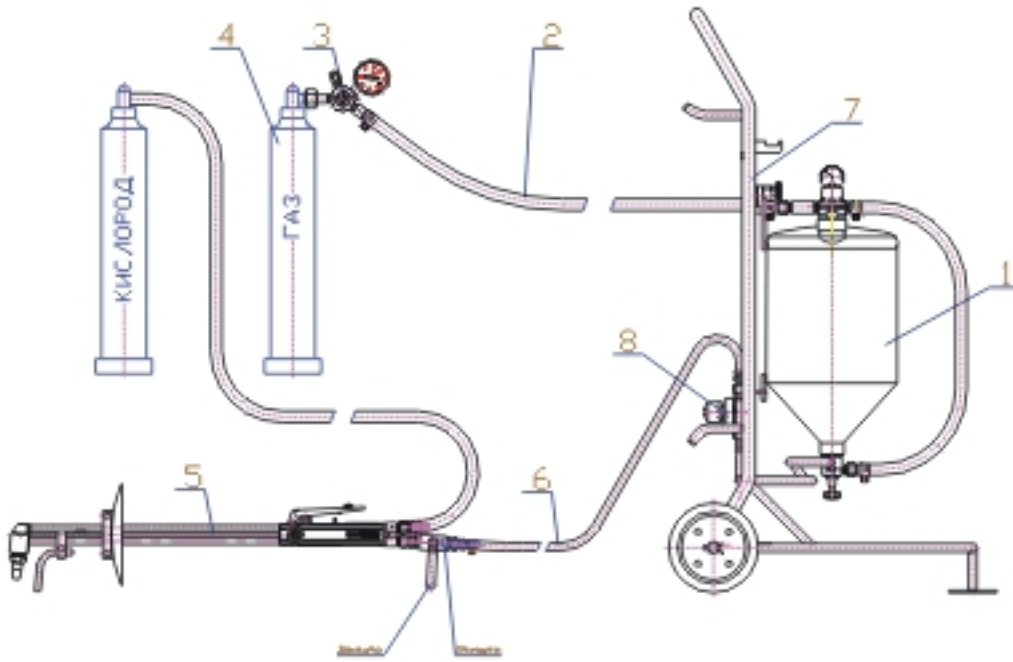


Рис. 1 Комплект кислородно-флюсовой резки производства завода «ДОНМЕТ»

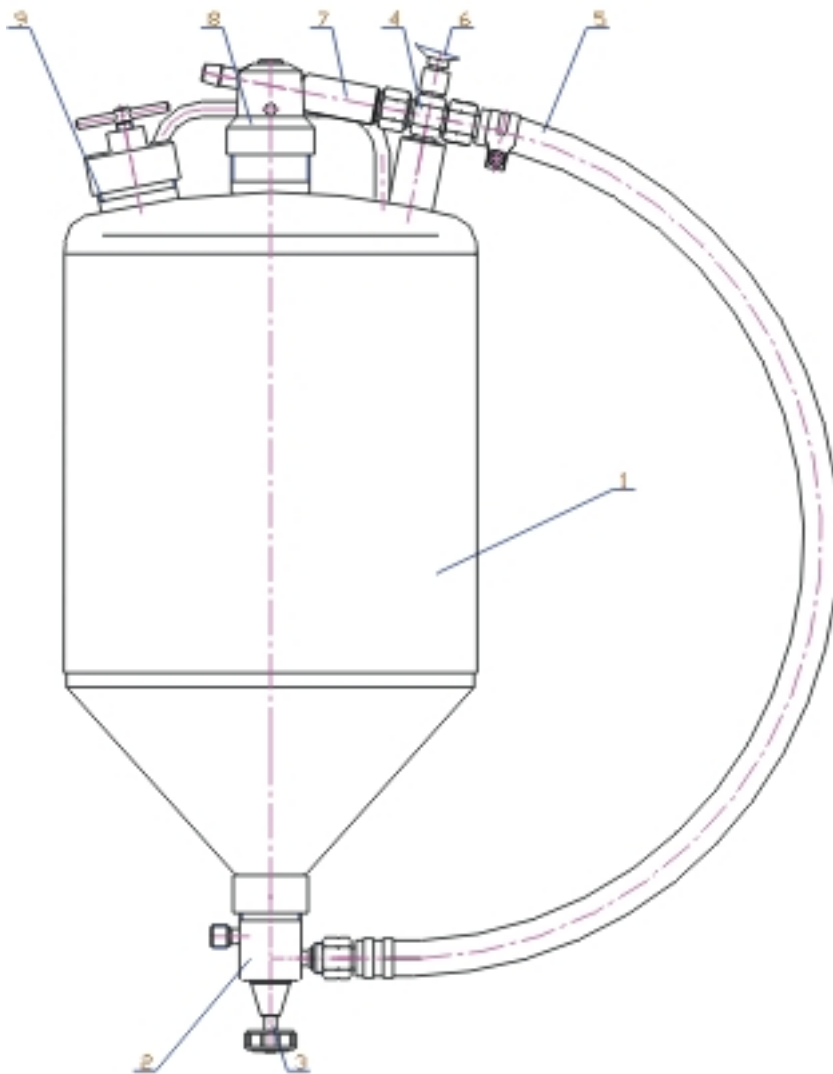


Рис. 2. Флюсопитатель комплекта КФР

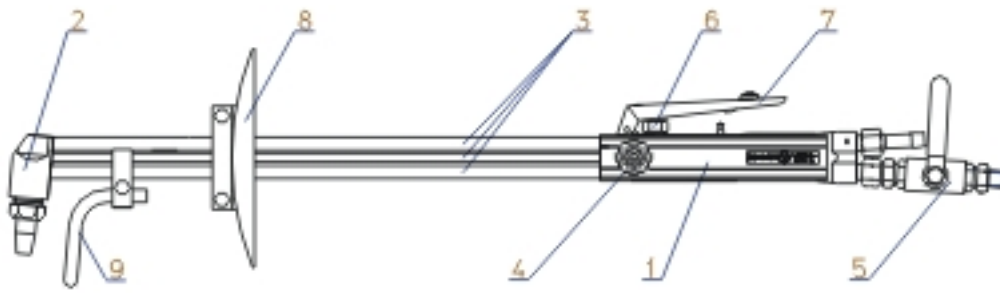


Рис. 3. Резак кислородно-флюсовый «КФР» 352

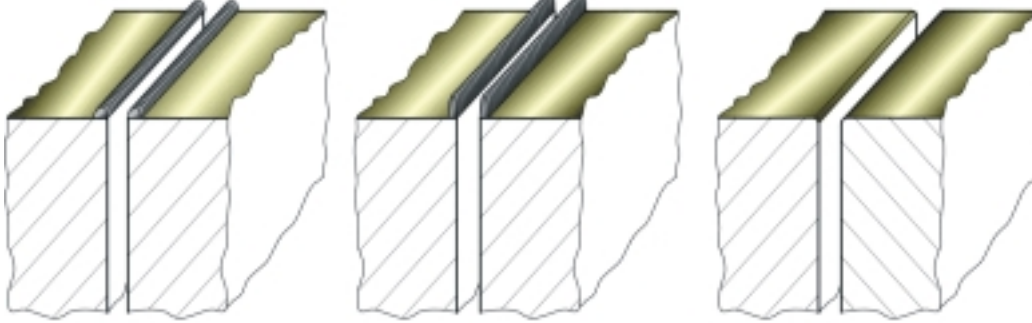


Рис. 4. Влияние количества флюса в зависимости от количества подаваемого флюса:



Фото 1. Комплект КФР

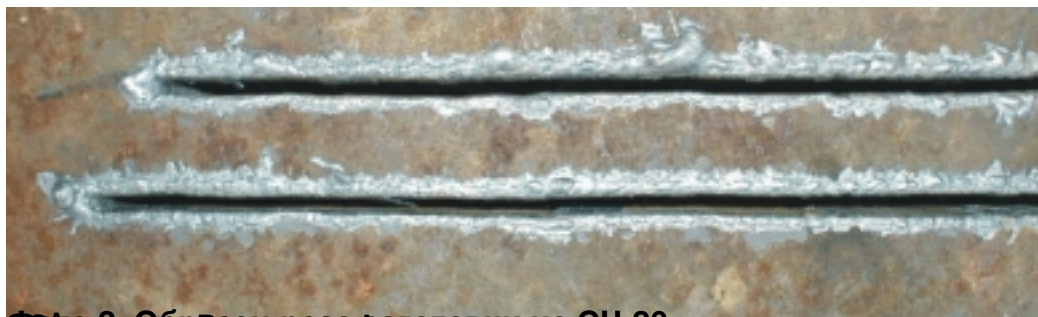


Рис. 2. Образцы после абразивки из СЧ-20