

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
в бакалавриате по направлению «Машиностроение»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ»
2014

УДК 631.3.004.067

Рецензент

канд. пед. наук, доцент кафедры автоматизированного машиностроения
ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»
И.А. Соколова

Автор

Лещинский, М.Б., к.т.н., доцент кафедры автоматизированного машиностроения ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой автоматизированного машиностроения ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет» 5 февраля 2014 г., протокол № 6.

Методические указания рекомендованы к изданию методической комиссией факультета автоматизации производства и управления ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет» 10 февраля 2014 г., протокол № 2.

УДК 631.3.004.067

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2014 г.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Настоящие указания содержат перечень, описание и методику выполнения лабораторных работ по дисциплине «Физико-технические методы обработки в машиностроении».

Лабораторные работы проводятся согласно учебной программе и под руководством преподавателя. Они предназначены для углубления, расширения и закрепления знаний, полученных студентами в процессе теоретического обучения.

Преподаватель кратко информирует студентов о целях и содержании работы, порядке её подготовки, выполнения, а также по оформлению отчета.

Предварительная подготовка к выполнению лабораторной работы состоит в следующем: по рекомендованной учебной литературе изучаются рассматриваемые вопросы, записывается название работы, цель её, план проведения работы, краткая характеристика оборудования, чертятся схемы, таблицы и т. д.

Допущенные к работе студенты начинают знакомиться с теоретической частью и заканчивают устройством наиболее важных, с точки зрения функционирования устройств, узлов или блоков лабораторной установки.

После изучения каждой темы надо ответить на вопросы для самопроверки. Ответы должны быть полными.

По окончании лабораторной работы студенты пишут отчет, в котором излагают цель работы, современные методы анализа. Затем приводится описание исследований, применяемые материалы, анализ процессов, характеристики образцов и дальнейшие рекомендации. Приводятся основные выводы.

Преподаватель проверяет правильность записей и подписывает отчет по проделанной работе.

Лабораторная работа № 1

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДЖИГА ДУГИ

Цель работы: изучить оборудование для дистанционного поджига дуги.

Многие специализированные источники питания дуги для сварки на переменном и постоянном токе комплектуют устройствами, облегчающими зажигание дуги. Наибольшее распространение получили маломощные (100-300 Вт) высокочастотные искровые генераторы, называемые **осцилляторами**, создающими токи высокого напряжения (2-5 кВ) и высокой частоты (150-250 кГц).

Теоретическая часть

Питание сварочной дуги токами высокой частоты и высокого напряжения параллельно с основным источником сварочного тока повышает устойчивость горения дуги и облегчает ее зажигание. Зажигание дуги обеспечивается даже без соприкосновения электрода с изделием, что особенно необходимо при сварке вольфрамовым электродом в защитном газе.

При подаче импульсов тока от осциллятора на промежуток между изделием и электродом происходит пробой промежутка и появление в нем свободных электронов, что создает условия для горения дуги, питаемой от основного источника тока. Ток высокой частоты и напряжения безопасен для человека. С источниками питания постоянного тока осцилляторы применяют для первоначального возбуждения дуги, а переменного – как для первоначального возбуждения дуги, так и для ее возобновления после смены полярности (после перехода синусоиды тока через нуль), т. е. для поддержания устойчивого горения дуги.

Основные требования к осцилляторам:

- возбудитель дуги должен обеспечивать надежнее возбуждение дуги во всех возможных режимах работы сварочной установки за время, пренебрежимо малое по сравнению со временем сварки;
- возбудитель дуги не должен угрожать безопасности сварщика;
- возбудитель не должен влиять на работу сварочной установки и, в частности, ухудшать ее надежность.

Возбудители могут иметь независимое питание от сети или питаться непосредственно дуговым напряжением. Последние возбудители обладают преимуществами перед первыми: они не нуждаются в дополнительной питающей цепи, автоматически включаются при подаче напряжения на дуговой промежуток и автоматически же прекращают работу после возбуждения дуги.

Основными составными частями возбудителя являются источник высокого напряжения, высокочастотный генератор и устройство ввода высоковольтного высокочастотного напряжения в цепь сварочной дуги.

По типу источника высокого напряжения различают возбудители непрерывного и импульсного питания. В первом случае примером может служить

осциллятор ОСПЗ-2М, схема которого показана на рис.1.1. Высокое напряжение получается при трансформации напряжения с помощью высоковольтного низкочастотного трансформатора TV1. Достоинством такого питания является простота схемы.

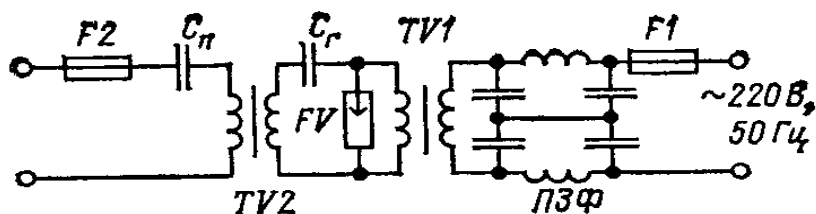


Рис. 1.1 Принципиальная электрическая схема осциллятора ОСПЗ-2М

Недостатками возбудителей непрерывного питания являются наличие высокого напряжения промышленной частоты, опасного для жизни обслуживающего персонала, сложность и высокая стоимость высоковольтного трансформатора и невозможность управления моментом генерации импульсов высокого напряжения на стороне низкого напряжения, которое бывает целесообразно при поджиге дуги переменного тока.

В возбудителе с импульсным питанием (рис.1.2) предварительно запасенная в накопителе энергия выделяется за короткое время на каком-либо из элементов высокочастотного контура, чаще всего на конденсаторе C_n .

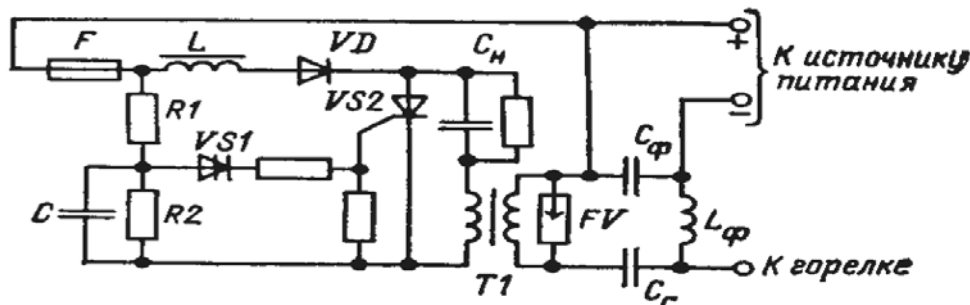


Рис. 1.2 Принципиальная электрическая схема возбудителя дуги ВИР101

Важным достоинством систем импульсного питания является отсутствие высокого напряжения промышленной частоты, опасного для жизни обслуживающего персонала. При непрерывном питании возбудитель принадлежит к классу устройств с напряжением выше 1000 В, что значительно затрудняет его ремонт и настройку; при импульсном питании возникающее высокое напряжение не опасно для жизни из-за малой длительности его действия – возбудитель относится к классу устройств с напряжением до 1000 В, как и вся сварочная установка. Наконец, еще одним достоинством импульсной системы является простота управления возбудителем, осуществляемого с помощью коммутатора. В частности, в цепь управления коммутатором может быть включено пороговое устройство, отключающее возбудитель после зажигания дуги.

Высокочастотный генератор должен находиться на стороне высокого напряжения, чтобы передать после пробоя передать в дуговой промежуток большую энергию за короткое время для создания преддуговой проводимости.

Высокую мощность в дешевом устройстве проще всего можно получить при наличии накопителя на стороне высокого напряжения.

Высокочастотные генераторы высокого напряжения выполняются обычно на разрядниках (искровые генераторы). Искровые генераторы обладают существенными недостатками. Они генерируют широкий спектр частот, что мешает эффективно подавлять помехи, посылаемые обратно в питающую сеть; колебания в контуре генератора затухают из-за потерь в разряднике. Однако по дешевизне, простоте конструкции, КПД и надежности искровые генераторы не имеют конкурентов. Следует отметить также, что при пробое дугового промежутка возникает искровой разряд, являющийся мощным источником помех в широком диапазоне частот, так что замена искрового генератора каким-либо другим (с более стабильной частотой) мало изменяет общий уровень помех.

Возбудитель последовательного включения более эффективен, чем возбудитель параллельного. В дуговом промежутке первого после пробоя выделяется почти вся энергия, накопленная в колебательном контуре генератора (небольшая часть ее расходуется в шунтирующем конденсаторе), во втором – значительная часть энергии расходуется в фильтрах высоких и низких частот, часть энергии расходуется на внутреннем сопротивлении контура. Важным достоинством возбудителей последовательного включения является то, что они не требуют установки в цепи источника питания дополнительных элементов для защиты от высокого напряжения, в то время как возбудители параллельного включения нуждаются в отдельном фильтре высоких частот.

Важнейшим выходным параметром возбудителя являются выходное напряжение – различаются возбудители на 3-5 кВ для аргонодуговой сварки и на 10-20 кВ для воздушно-плазменной резки.

Рассмотрим еще одну схему осциллятора с непрерывным питанием, лишенную некоторых недостатков. Схема на рис. 1.3 имеет типовой высоковольтный трансформатор – автомобильную катушку зажигания и не опасное для обслуживающего персонала высокое напряжение.

Установка состоит из текстолитового основания, на котором расположены сетевой понижающей трансформатор Tr_1 , высоковольтный трансформатор Tr_2 , электромагнитное реле ЭР, конденсатор С, полупроводниковый клапан Д, разрядник Р, сетевой выключатель ВК, плавкий предохранитель Пр, а также выходные клеммы.

Напряжение сети подается через сетевой предохранитель на первичную обмотку понижающего трансформатора, вторичное напряжение выпрямляется полупроводниковым клапаном по схеме однофазного однопериодного выпрямителя. Выпрямленное напряжение подается на катушку электромагнитного реле, включенную последовательно со своими нормально замкнутыми контактами, параллельно контакты подключены к конденсатору. Электромагнитное реле коммутирует напряжение, подаваемое на первичную обмотку высоковольтного трансформатора. Параллельно клеммам вторичной обмотки трансформатора установлен разрядник, регулировкой зазора которого между его вольфрамовыми электродами устанавливается необходимое высокое напряжение и частота.

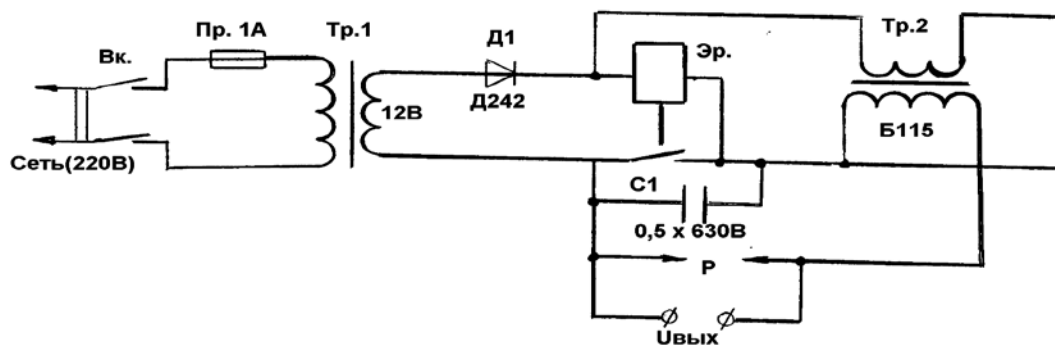


Рис. 1.3 Принципиальная электрическая схема осциллятора с «автомобильной» катушкой

Данный осциллятор по конструктивному исполнению относится к переносным и позволяет использовать его для различных видов дуговой сварки.

Ход работы

1. Ознакомиться с моделью осциллятора с «автомобильной» катушкой.
2. Определить расстояние, на котором возможно возбуждение дуги (изменяя с шагом в 1 мм положение контактов разрядника).
3. Измерить величину напряжения на разряднике и соответствующего ему расстояния между его электродами. Построить зависимость $U = f(L)$.
4. Убедиться в возможности пробоя не только воздуха, но и диэлектрика (например, бумаги) током высокого напряжения дуги.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение осциллятора.
2. Назовите основные требования к осцилляторам.
3. Назовите основные составные части возбудителя.
4. Каким преимуществом обладают возбудители с импульсным питанием?
5. Объясните назначение искрового генератора.

Литература

1. Никифоров, Г.Д. Технология и оборудование сварки плавлением / Г.Д. Никифоров, Г.В. Бобров. – Москва: Машиностроение, 1978. – 326 с.
2. Хренов, К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Хренов. – Москва: Машгиз, 1952. – 383 с.

Лабораторная работа № 2

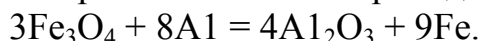
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМИТНЫМИ СМЕСЯМИ

Цель работы: ознакомиться с возможностью использования термита для соединения металлов сваркой – пайкой и восстановления деталей наплавкой.

Теоретическая часть

Термитами называются порошкообразные горючие смеси металлов с окислами металлов, способные сгорать с выделением значительного количества тепла и развивать при этом весьма высокую температуру.

Важной областью применения термитов является сварка металлов. Горючими металлами в термитных смесях могут служить металлы с большой теплотой образования окислов, например алюминий, магний, кремний, в особенности аморфный. Источником кислорода в термитных смесях являются окислы металлов со сравнительно небольшой теплотой образования, например, окислы железа, марганца, никеля, меди и т. п. В качестве источника кислорода в сварочных термитах обычно применяется железная окалина Fe_3O_4 , содержащая 27,6% кислорода и 72,4 – железа. Наиболее важным для целей сварки является алюминиевый термит, который состоит из металлического алюминия в форме грубозернистого порошка или крупы, обычно с величиной зерна около 1 мм и железной окалины примерно с той же величиной зерна. По внешнему виду алюминиевый термит представляет собой сыпучую грубозернистую смесь из белых зёрен (алюминий) и чёрных (железная окалина) зёрен. Термит может быть подожжён, для чего его необходимо нагреть хотя бы в одной точке до температуры порядка 1000 °С. Начавшееся горение протекает весьма бурно, быстро распространяется на весь объём термитной смеси и проходит по реакции:



Термит сгорает полностью за несколько секунд. Время горения зависит от грануляции, т. е. размеров зёрен смеси: чем мельче зерно, тем быстрее заканчивается процесс горения. При экзотермической реакции сгорания одного килограмма алюминиевой термитной смеси выделяется около 750 ккал.

Несмотря на то, что алюминиевый термит даёт сравнительно небольшое количество тепла (1 кг хорошего каменного угля даёт 7000 ккал), термитная смесь развивает при сгорании весьма высокую температуру. Это объясняется тем, что сгорание термита идёт исключительно за счёт вещества самой смеси, и 1 кг термита при сгорании даёт столько же, т. е. 1 кг, продуктов сгорания. Теоретический расчёт для реакции сгорания термита, с учётом теплоёмкости продуктов сгорания, даёт для продуктов термитной реакции температуру выше 3000 °С, такую же температуру показывают и непосредственные измерения. Поэтому продукты сгорания термита – железо (температура плавления около 1500 °С) и окись алюминия Al_2O_3 (температура плавления 2050 °С) получают в расплавленном, жидком и сильно перегретом виде. Если сжечь термит в огнеупорном тигле, то по окончании горения продукты реакции – жидкая сталь и

шлак, состоящий главным образом из окиси алюминия, быстро разделяются на два слоя: металл – шлак в соответствии с удельными весами продуктов реакции; 1 кг термитной смеси даёт 550 г расплавленной стали и 450 г шлака – расплавленной окиси алюминия. В сварочные термитные смеси помимо алюминия и железной окалины обычно вводят ещё различные добавки, имеющие целью улучшить состав и повысить прочность термитного металла, увеличить общий выход металла при сжигании смеси, несколько понизить температуру термитной реакции. Для раскисления термитного металла, улучшения его химического состава и повышения механической прочности в термитные смеси обычно добавляют ферросплавы, главным образом ферросилиций и ферромарганец. Меняя количество этих присадок, можно изменять в широких пределах химический состав и механические свойства термитного металла, например, предел прочности можно изменять от 40 до 75 кг/мм². Для увеличения выхода термитного металла и некоторого снижения температуры термитной реакции в термитную смесь для сварки обычно добавляется технически чистое железо в мелких кусочках в количестве 10-15% от веса термитной смеси. Окончательный состав термитной сварочной смеси определяется по расчётам в зависимости от характера работы и состава металла, подлежащего сварке.

Наиболее часто применяются следующие три варианта сварки (рис. 2.1):

- 1) термитно-муфельная сварка;
- 2) термитная наплавка;
- 3) термитная сварка плавлением.

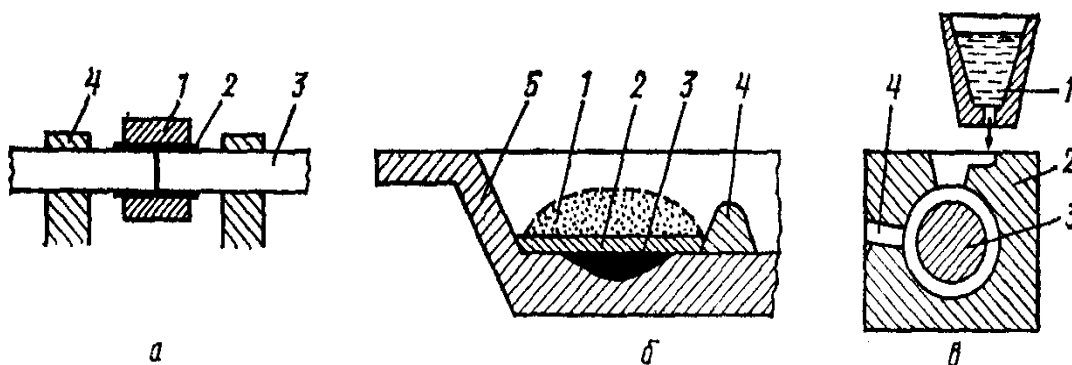


Рис. 2.1 Варианты способа термитной сварки плавлением:

- а – термитно-муфельная сварка: 1 – корпус из стального листа; 2 – запал; 3 – свариваемое изделие (например, трос); 4 – зажимное приспособление с устройством для осадки;
- б – термитная наплавка: 1 – термитный присадочный материал (до сварки); 2 – шлак; 3 – расплав; 4 – ограничитель ванны (глиняный валик); 5 – изделие;
- в – термитная сварка плавлением: 1 – термитный присадочный материал (до сварки) в тигле со стопором; 2 – форма; 3 – изделие; 4 – отверстие

Термитная смесь сжигается в специальных огнеупорных тиглях. Тигель имеет корпус из листового железа с внутренней огнеупорной футеровкой. Размер тигля берётся в соответствии с величиной сжигаемой порции термита.

В зависимости от размеров изделия, подлежащего сварке, вес термитной порции может меняться от нескольких сотен граммов до нескольких сотен килограммов. Для сварки рельсового стыка, например, требуется 7-8 кг термита. Иногда расплавленная смесь выливается на место сварки через край тигля при его наклоне, но чаще продукты сгорания выпускаются через дно тигля. Для возможности выпуска при футеровке тигля в его донную часть вставляется стакан из высококачественного обожжённого огнеупора, обычно магнезита. Отверстие перед засыпкой термитной смеси закрывается специальным запорным гвоздём. Поверх шляпки гвоздя кладётся асбестовый кружок и сверху засыпается небольшим количеством огнеупорного магнезитового песка. После этого в тигель насыпается термитная смесь.

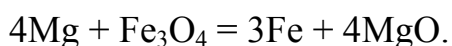
Зажигание засыпанной в тигель термитной смеси может производиться сварочной дугой, газовой горелкой или специальным запалом. От обычных источников тепла, например от пламени зажжённой спички, термит не загорается, что делает его сравнительно безопасным в обращении и хранении. Запальные смеси загораются от пламени спички, развивают высокую температуру и зажигают термит.

После того как термитная смесь загорелась, тигель накрывается крышкой с отверстием для выхода газов. По окончании реакции горения, через 20-30 с после зажигания, расплавленные продукты готовы к выпуску. Для выпуска расплавленных продуктов выбивают запорный гвоздь ударом по нижнему концу, и горячая смесь выливается на место сварки. При выпуске через дно тигля сначала выливается металл, затем шлак; при выпуске через край тигля сначала льётся шлак, затем металл.

Место сварки должно быть предварительно заформовано таким образом, чтобы осталась полость для термитного металла и шлака. Заформовка производится огнеупорными материалами в коробке из листового железа. При заформовке необходимо оставить каналы и отверстия в стенках железной формы для облегчения удаления газов.

Расплавленные продукты подводятся по специальному литниковому каналу в нижнюю часть формы, откуда они постепенно поднимаются кверху и заполняют весь объём формы.

Кроме алюминиевого термита также применяется и магниевый термит, который для целей сварки составляется из порошкообразного металлического магния и железной окалины. Сгорание магниевое термита происходит по реакции:



Существенным технологическим отличием магниевое термита является то, что он даёт продукты сгорания не в жидком, а в твёрдом виде. Соотношение составных частей термита подбирается так, что при сгорании он даёт не плавящуюся, а лишь спекающуюся рыхлую пористую массу. Эта масса, занимающая значительный объём, впитывает в себя расплавленное железо, образующееся в результате термитной реакции, причём значительная часть железа окисляется при взаимодействии с воздухом. Таким образом, продуктом сгорания магниевое-

го термита является спекшаяся рыхлая пористая масса окиси магния, пропитанная железом и его окислами.

Одним из важнейших применений магниевого термита является сварка проводов воздушных линий. Магниевый термит для этой цели изготавливается в виде цилиндрических шашек с осевым каналом для пропуска провода. Размеры и вес шашек определяются диаметром провода, подлежащего сварке. Шашки изготавливаются прессованием термитной смеси, смоченной бакелитовым лаком (рис. 2.2).

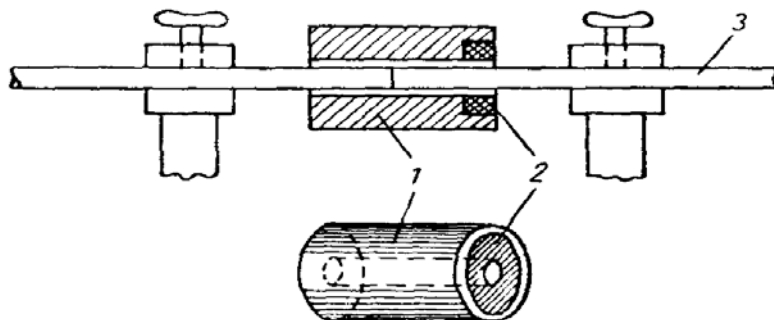


Рис. 2.2. Термитная шашка для сварки проводов:
1 – термитная шашка; 2 – запал; 3 – свариваемый провод

Шашки получаются достаточно прочными и малочувствительными к сырости.

Концы проводов захватываются специальными клещами. Затем на них надевается термитная шашка с запалом, и концы проводов приводятся в соприкосновение с таким расчётом, чтобы сварной стык приходился по середине шашки. Зажигается запал, шашка быстро сгорает, оставляя муфель из продуктов сгорания, разогретый до ослепительно яркого белого каления. Нажимая на ручки клещей, сварщик производит осадку. По окончании осадки муфель сбивается лёгким ударом. Место сварки имеет усиление, сварка получается весьма прочной и надёжной, она чрезвычайно проста, удобна, производительна. Магниевый термит может найти и другие применения, например, с помощью этого термита можно хорошо сваривать стыки стальных труб небольших диаметров – до 20-50 мм. Магниевым термитом приваривают также контактные соединители к рельсам при болтовых рельсовых стыках на электрифицированных или имеющих автоблокировку железнодорожных линиях.

В настоящее время разработаны специальные штучные термитные электроды для сварки сталей и чугунов, применяемые для ремонтных целей в местах, куда не целесообразна доставка других сварочных источников.

Технология сварки - пайки термитными электродами

Заготовки для пайки-сварки предварительно очищаются от следов грязи, масла, краски (ржавчина не мешает процессу пайки-сварки). Рекомендуется использовать заготовки одной толщины. Подготовленные заготовки устанавливают внахлест. Рекомендуемая величина нахлеста – 2-3 толщины заготовки, но не более 5 мм. Заготовки должны быть закреплены или прижаты друг к другу

таким образом, чтобы между ними не было зазора. После установки заготовок вставить в полую часть электрода держатель, надеть защитные очки с затемненными стеклами. Взять за держатель электрод в руку, защищенную рукавицей, и поджечь в указанном на месте. Поджиг осуществляется от зажигалки, либо 2-3 сложенных вместе спичек или сухого спирта. В процессе пайки-сварки горящий торец электрода должен находиться на расстоянии 3-5 мм от шва. Электрод удерживается в начале шва в течение нескольких секунд до появления на свариваемом металле блестящей поверхности расплавленного припоя, а затем перемещается вдоль шва со скоростью, обеспечивающей сохранение расплавленного припоя в зоне пайки-сварки. Если шов окончен, а электрод не израсходован, то он должен быть выдержан в свободном состоянии на воздухе до полного прекращения горения. Гасить карандаш принудительно запрещается. После остывания шва сбить образовавшиеся шлаки до появления металлической поверхности. Полученный шов промыть и протереть сухой ветошью.

Границы применимости метода

Размеры изделий: преимущественно профили любых типов и ремонтная сварка изделий с большими поперечными сечениями.

Группы материалов: стали с эквивалентом по углероду $C < 1,2 \%$, стальное литье, серый чугун, алюминий.

Область использования: монтажная сварка рельсов, рельсовых соединений и катаных профилей; сварка арматурных сталей; сварка звеньев цепей; ремонтная сварка осей, валов, стальных станин, стального литья, серого чугуна, муфельная сварка алюминиевых проводов.

Наплавка изнашиваемых (преимущественно при абразивном изнашивании) деталей, таких как зубья землеройных машин, траки гусениц.

Параметры: температура реакции 2730 °С, температура термитной сварки 2000-2400 °С (температура шлака), критическая температура воспламенения 1300-1400 °С. Скорость плавления во многом зависит от объема свариваемого материала (например, до 2000 кг наплавляемого металла может быть нанесено за 30 с). Среднее время реакции 4-20 с.

Скорость сварки соответствует скорости разливки соответствующего «объема» расплавленного металла.

Положение шва при сварке: нижнее, горизонтальное, вертикальное (снизу вверх).

Особенности сварки: экономическая эффективность данного способа повышается с увеличением сечений соединяемых деталей (более 200 мм²) и с увеличением количества наплавляемого металла.

Основное время сварки составляет всего несколько секунд, но вспомогательное время может достигать 80 мин.

Источник собственно сварочного тока не требуется.

При сварке профилей формируются высококачественные переходные области.

Особенно пригоден данный способ сварки для монтажных работ и сварки при отсутствии источника тока.

Подогрев осуществляют с помощью пропановой горелки.

Ход работы

1. Подготовить образцы листовой стали (толщина 1,5-2 мм) и алюминиевые провода (диаметром 10-15 мм).

2. Подготовить термитные сварочные электроды (надеть их на электрододержатель).

3. Провести сварку образцов листовой стали.

4. Провести сварку алюминиевых проводов.

5. Визуально оценить качество сварных швов.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните, что представляет собой термитная смесь?

2. Какие бывают термитные смеси?

3. В чем состоит существенное технологическое отличие в использовании магниевого термита?

4. Для каких целей можно применять термит?

5. Какие материалы можно сваривать с использованием термита?

Литература

1. Сварка, пайка, клейка и резка металлов и пластмасс / под ред. А. Ноймана и Е. Рихттера. – Москва: Металлургия, 1985. – 480 с.

2. Руге, Ю. Техника сварки. Справочник / Ю. Руге. – Москва: Металлургия, 1984. – 550 с.

3. Хренов, К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Хренов. – Киев: Машгиз, 1952. – 385 с.

Лабораторная работа № 3

ИНДУКЦИОННАЯ ЗАКАЛКА

Цель работы: изучение возможности использования метода индукционной поверхностной закалки для упрочнения металлов и сплавов.

Многие ответственные детали работают на истирание и одновременно подвергаются действию ударных нагрузок. Такие детали должны иметь высокую поверхностную твердость, что достигается применением способа поверхностной закалки деталей.

Этот способ предусматривает термическую обработку только поверхностных слоев деталей, в результате чего изменяется структура и повышается твердость этих слоев, а структура и твердость сердцевины остается без изменения.

Способ объемной закалки преследует цель изменения структуры и твердости материала по всему сечению обрабатываемой детали.

Поверхностная закалка имеет ряд преимуществ по сравнению с объемной закалкой: не требуется нагревательных печей и операции закалки и отпуска можно включать в общий поток механической обработки; сокращается время процесса, благодаря чему поверхность деталей не окисляется, не обезуглероживается, детали меньше подвергаются деформации. Ударная вязкость сердцевины при поверхностной закалке выше, чем при объемной.

При поверхностной закалке возможна полная или частичная механизация и автоматизация производства.

В настоящее время для упрочнения зубчатых колес, коленчатых валов, распределительных валков, осей и других деталей автомобилей, тракторов и металлорежущих станков применяются три основных метода поверхностной закалки: индукционная, пламенная, с нагревом в электролите.

Теоретическая часть

Индукционный метод поверхностной закалки деталей широко применяется в машиностроении и является одним из эффективных методов упрочнения металлов и сплавов. Этот вид термической обработки на первом этапе внедрения применялся вместо процессов химико-термической обработки: цементации, цианирования и в отдельных случаях взамен термического улучшения. Индукционная поверхностная закалка обеспечивает высокое качество изделий и дает наиболее стабильные результаты по сравнению с другими методами поверхностной закалки (повышение сопротивления изнашиванию и усталостному разрушению, уменьшение деформаций, почти полное устранение окисления и обезуглероживания). Благодаря нагреву только поверхностных слоев уменьшаются затраты энергии на нагрев.

Главным отличием индукционного нагрева от нагрева внешними источниками тепла (в печах и других нагревательных устройствах) является выделение тепла непосредственно в самом металле. При индукционном нагреве реали-

зается возможность значительной концентрации электрической энергии в небольшом объеме нагреваемого металла, что позволяет осуществлять нагрев с большой скоростью.

Этот метод позволяет изготавливать детали из дешевой углеродистой стали, обеспечивающей высокую прочность поверхности и сердцевины.

В настоящее время длительные и трудоемкие процессы химико-термической обработки на заводах массового производства применяют только для небольшой номенклатуры деталей, например, для зубчатых колес и других ответственных деталей.

Индукционный нагрев основан на следующем явлении. При прохождении переменного электрического тока высокой частоты по проводнику – медному индуктору 1 (рис. 3.1) – вокруг последнего образуется переменное электромагнитное поле, силовые линии 3 которого пронизывают помещенную в индуктор деталь 2. В поверхностном слое детали возникают вихревые токи (токи Фуко), вызывающие нагрев этого слоя до высокой температуры.

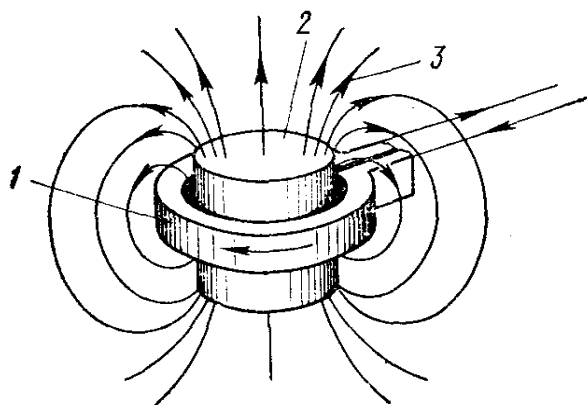


Рис. 3.1 Схема индукционного нагрева:
1– индуктор; 2 – деталь; 3 – силовые
линии магнитного поля

Метод индукционного высокочастотного нагрева основан на законе электромагнитной индукции, поверхностном эффекте, эффекте близости, кольцевом эффекте, тепловом действии тока и изменении свойств стали в процессе нагрева.

Закон электромагнитной индукции. В проводнике, который пересекается силовыми линиями магнитного поля, возникает э. д. с. и если он замкнут, то по нему потечет ток. Следовательно, в детали, которая пересекается силовыми линиями магнитного поля индуктора, также индуцируется э. д. с. и возникают индукционные токи.

Электродвижущую силу индукции называют противозлектродвижущей силой, так как она направлена навстречу электродвижущей силе источника энергии и препятствует прохождению тока по проводнику (см. рис. 3.2).

В проводящем контуре детали, находящемся в переменном магнитном поле, возникает электродвижущая сила, равная:

$$E=4,44BSf \cdot 10^{-8} \text{ В,}$$

где E – э. д. с., наведенная в детали; f – частота тока, Гц; B – максимальное значение магнитной индукции в зоне нагрева, Гс (гауссы); S – площадь поперечного сечения детали, которая пронизывается магнитным потоком, см^2 .

Из формулы видно, что индуцированная э. д. с., пропорциональная частоте и максимальному значению магнитного потока $\Phi = B \cdot S$ внутри контура,

пропорциональна также и величине тока, протекающего в индукторе. Наибольшее значение магнитной индукции B ограничивается максимально возможным магнитным насыщением стали 14000-15000 Гс, а площадь поперечного сечения детали S ограничивается ее размерами.

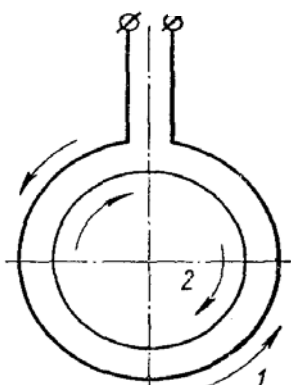


Рис. 3.2 Направление токов в индукторе (1) и детали (2)

Величина магнитного потока Φ и его распределение зависят от величины тока, проходящего по индуктирующему проводу (индуктору), числа витков и среды, в которой образуется магнитное поле. В случае хорошей магнитной проницаемости среды (например, стали) магнитное поле будет усиливаться и, наоборот, при плохой магнитной проницаемости (например, воздух) магнитное поле будет ослаблено.

Явление поверхностного эффекта. Постоянный ток в проводнике распределяется равномерно по сечению, переменный ток – по сечению неравномерно в зависимости от частоты тока (рис. 3.3).

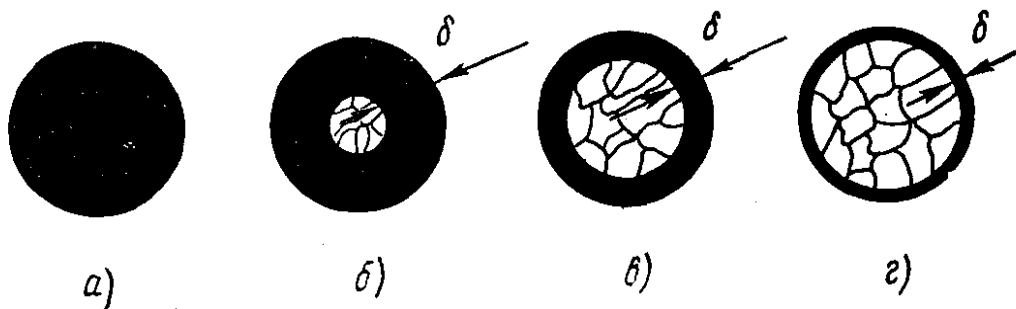


Рис. 3.3 Глубина проникновения тока в металл в зависимости от его частоты: а – постоянный; б, в, г – переменный с частотой 50, 10 000, 125 000 Гц соответственно

При пропускании переменного тока наибольшая противоэлектродвижущая сила индуктируется в центре проводника, который охватывается полным магнитным потоком. Чем ближе к поверхности проводника, тем слабее магнитное поле, а следовательно, меньше противоэлектродвижущая сила. Существование этой силы равноценно появлению в проводнике некоторого добавочного сопротивления, носящего название индуктивного сопротивления цепи. Встречая в центре проводника наибольшее индуктивное сопротивление, ток будет

стремиться пройти в направлении наименьшего сопротивления и вытисниться к поверхности проводника.

Свойство тока высокой частоты протекать только по поверхностному слою проводника принято называть поверхностным эффектом, или скин-эффектом.

Плотность тока для различных точек сечения проводника будет неодинаковой. Чем выше частота тока, тем больше в центре проводника индуктивное сопротивление и меньше плотность тока. Неравномерное распределение индукционных токов приводит к неравномерному нагреву деталей: поверхностные слои очень быстро нагреваются до высоких температур, а сердцевина или совсем не нагревается или нагревается незначительно, благодаря теплопроводности стали.

Для количественной оценки явления поверхностного эффекта введено понятие глубины проникновения тока δ (дельта). При этом считают, что переменный ток протекает только в поверхностном слое, толщина которого равна глубине проникновения тока, и имеет на этой глубине равномерную плотность.

Глубина проникновения тока или толщина слоя определяется по формуле:

$$\delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \text{ см,}$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом-мм²/м; μ – магнитная проницаемость, Гс/Э; f – частота тока, Гц.

Следовательно, с увеличением частоты глубина проникновения индукционных токов уменьшается (см. рис. 3.3, табл. 3.1). Если менять частоту тока, то можно в широких пределах изменять глубину проникновения δ , а следовательно, и толщину слоя, по которому идет ток, вызывающий нагрев поверхности закаливаемой детали.

Из приведенных в табл. 3.1 данных следует, что с повышением температуры нагрева металла глубина проникновения тока растет и достигает наибольшего значения при температуре потери магнитных свойств – точки Кюри.

Таблица Глубина проникновения тока в металл при различных частотах

Частота тока, Гц	Глубина проникновения тока, см		
	Сталь 45		Электролитическая медь
	при $t=15^{\circ}\text{C}$, $\rho=2 \cdot 10^{-5}$ Ом-см, $\mu=40$ Гс/Э	при $t=800^{\circ}\text{C}$, $\rho=10^{-4}$ Ом-см, $\mu=1$ Гс/Э	при $t=15^{\circ}\text{C}$, $\rho=1,8 \cdot 10^{-6}$ Ом-см, $\mu=1$ Гс/Э
50	0,5	7,0	1,0
2500	0,067	1,0	0,13
10000	0,034	0,5	0,07
100000	0,011	0,16	0,022
1 000 000	0,0034	0,05	0,007

С ростом температуры (рис. 3.4) нагрева стальных деталей удельное сопротивление ρ возрастает и выше 1000°C достигает своего максимального значения.

Магнитная проницаемость в интервале $600-700^{\circ}\text{C}$ почти не зависит от температуры, но при дальнейшем ее повышении резко падает и достигает минимального значения, равного магнитной проницаемости вакуума ($\mu=1$).

Для практических расчетов глубину проникновения δ тока в металл вычисляют по упрощенным формулам: для стальных деталей при температуре 15°C :

$$\delta = \frac{30}{\sqrt{f}}, \text{ мм,}$$

и при температуре 760°C

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f}}, \text{ мм,}$$

где δ – глубина проникновения тока, мм; f – частота тока, Гц.

Для большинства сталей магнитные превращения протекают в интервале критических температур $765-780^{\circ}\text{C}$, при которых магнитная проницаемость резко падает и становится равной единице. После потери сталью магнитных свойств с образованием аустенита глубина проникновения тока резко возрастает.

Наибольшее значение глубины проникновения тока называют горячей глубиной проникновения и обозначают $\delta_{\text{гор}}$. Приблизительно она может быть определена по упрощенной формуле:

$$\delta_{\text{гор}} \approx \frac{600}{\sqrt{f}}, \text{ мм.}$$

Зная зависимость глубины проникновения тока от температуры, процесс индукционного нагрева стали можно представить по следующей схеме.

В первый момент начинается нагрев стали в тонком поверхностном слое, равном глубине проникновения тока в холодный металл. После потери этим слоем магнитных свойств, глубина проникновения тока возрастает и нагревается слой, расположенный глубже. Повышение температуры в первом нагретом слое замедляется.

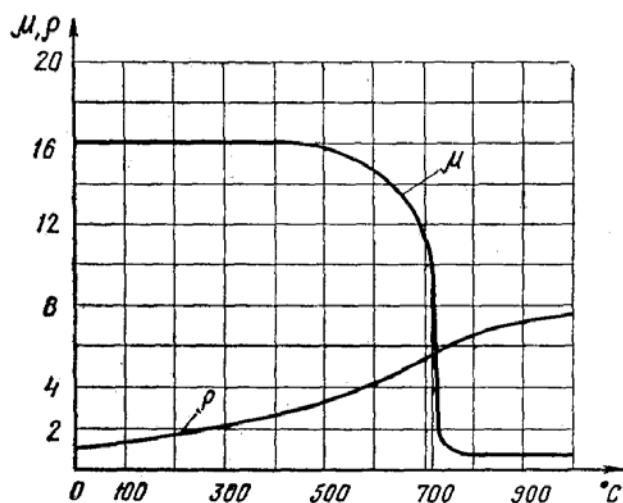


Рис. 3.4 Кривые изменения магнитной проницаемости и удельного электрического сопротивления стали 45 в зависимости от температуры нагрева

После потери магнитных свойств вторым слоем начинает быстро нагреваться третий слой и т. д. Пределом роста глубины проникновения тока является горячая глубина проникновения.

Повышение температуры в слое с горячей глубиной проникновения происходит за счет индуктированных токов, а в более глубоких слоях – в основном за счет теплопроводности.

Этот процесс нагрева объясняет причину быстрого распространения тепла при нагреве ТВЧ, в связи с изменениями магнитных свойств. На рис. 3.5 изображен график индукционного нагрева, из которого видно, что более быстрый нагрев происходит при температурах ниже точки Кюри (769°C). Выше этой критической точки нагрев замедляется в связи с потерей сталью магнитных свойств и фазовыми превращениями.

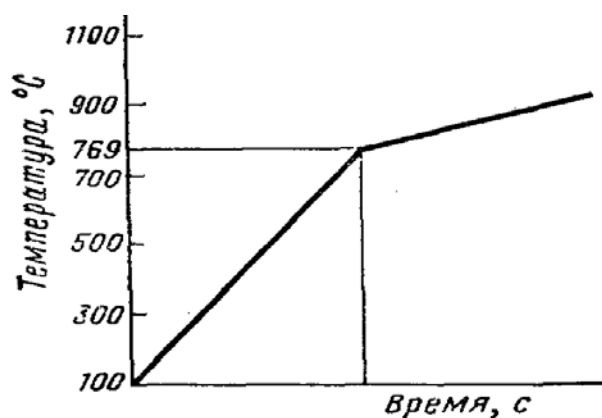


Рис. 3.5. График индукционного нагрева

Существует три основных способа поверхностной индукционной закалки в зависимости от размера, формы детали и некоторых специальных требований нагрева: одновременный, непрерывно-последовательный и последовательный (поочередный).

Одновременный способ. Он применяется для закалки небольших деталей и осуществляется следующим образом. Закаливаемая деталь 1 (рис. 3.6, а) помещается в индуктор 2, высота которого должна быть равна или больше размера обрабатываемого участка детали. На заданное время включается ток, затем деталь подвергается охлаждению в устройстве 3 (спрейер). Для того чтобы получить твердость, равномерную по всей поверхности, деталь в индукторе — при нагреве и при охлаждении – должна непрерывно вращаться, так как в месте присоединения токопроводящих шин к кольцу индуктора нагрев получается более слабым и равномерность распределения твердости может нарушиться. Одновременный способ успешно применяют в новом методе поверхностной закалки при глубинном нагреве деталей, изготовленных из сталей пониженной и регламентированной прокаливаемости.

Закалка при глубинном нагреве повышает твердость и прочность зоны, находящейся под закаленным слоем, уменьшает удельные мощности при нагреве, позволяет закаливать детали сложной формы (зубчатые колеса, полуоси с фланцем и др.).

Непрерывно-последовательный способ. Деталь (рис. 3.6, б), установленная в неподвижном индукторе 2, совершает сложное движение: вращается около собственной оси и движется поступательно, сверху вниз, а затем поступает в охлаждающее устройство. Таким образом, вся поверхность детали непрерывно-последовательно нагревается и охлаждается.

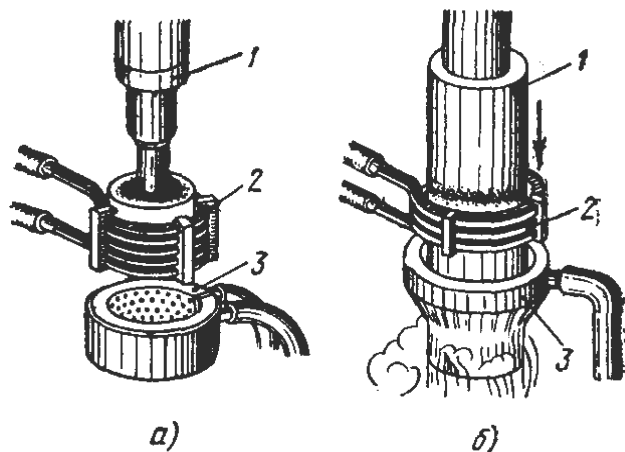


Рис. 3.6 Многовитковый индуктор для закалки током радиочастоты: а – при одновременном нагреве; б – при непрерывно-последовательном нагреве

Иногда закалка этим способом осуществляется при последовательном движении индуктора с вращением детали во время нагрева. Непрерывно-последовательный способ закалки применяется для упрочнения валов, осей, шпилек и других длинных деталей.

Последовательный способ. Этот способ закалки состоит в том, что обрабатываемая поверхность детали нагревается и охлаждается по частям, например последовательная закалка каждой шейки коленчатого вала или каждого зуба крупномодульного зубчатого колеса.

Для того чтобы точно установить деталь в индукторе и получить равномерный нагрев и охлаждение, применяют различные приспособления: турбинки для вращения деталей, специальные центры, станки-автоматы и полуавтоматы.

При индукционном нагреве применяют различные типы индукторов (рис. 3.7).

Индукторы группы А предназначены для внешнего нагрева деталей. Они могут быть как одновитковые (а), так и многовитковые разной формы (б, в, г, д, е).

Индукторы группы Б предназначены для внутреннего нагрева деталей (а, б, в, г) и для нагрева плоских поверхностей (д, е).

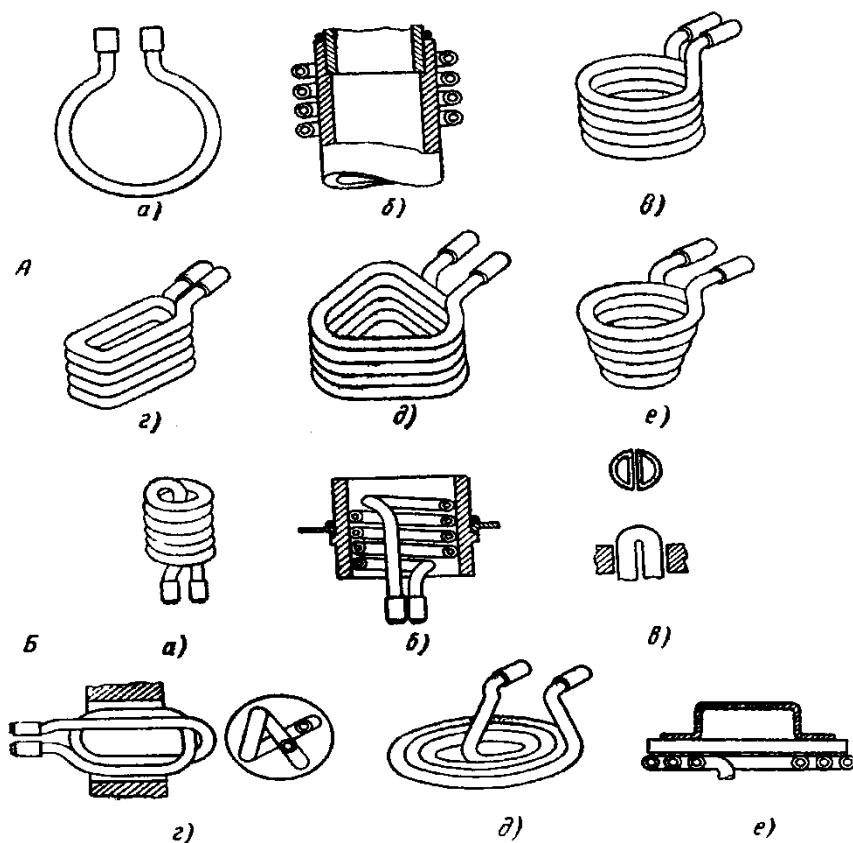


Рис. 3.7. Типы индукторов, применяемых при индукционном нагреве
(Пояснения к рисунку даны в тексте)

Основные марки углеродистых и легированных сталей, подвергаемых поверхностной закалке

При поверхностной закалке применяются стали, удовлетворяющие тем или иным требованиям, предъявляемым к деталям или инструментам. К таким требованиям относятся: глубина, твердость, износостойкость и прочность закаленного слоя, а также прочность, пластичность и вязкость сердцевины.

Стали с содержанием углерода 0,40-0,50% имеют наибольшее применение при поверхностной закалке. Большинство деталей изготовляют из сталей 40 и 45 (коленчатые и кулачковые валы, штоки, валики, муфты, зубчатые ободы, пальцы и другие детали).

Стали с содержанием углерода 0,30-0,40% применяют для деталей, к которым не предъявляется больших требований к твердости и износостойкости, но которые должны иметь пониженную хрупкость поверхностного слоя, повышенную вязкость и минимальную склонность к трещинообразованию. К таким сталям относится сталь 35, из которой изготовляются детали повышенной вязкости (толкатели, ключи, вилки, болты, педали и другие детали).

Легированные стали применяются для деталей с повышенными требованиями к механическим свойствам. К ним относятся: сталь 55Г, из которой изготовляют коленчатые валы дизельных двигателей, сталь 9Х для валков холодной прокатки, сталь 40Х для штоков, шлицевых валов и других деталей.

Стали пониженной и регламентированной прокаливаемости ПП (55ПП, 58ПП) и РП (47ГТ) позволяют осуществлять поверхностную закалку ответственных тяжело нагруженных деталей машин при глубинном индукционном нагреве, при котором за один нагрев осуществляется поверхностная закалка и упрочнение сердцевины. Это обеспечивает комплекс более высоких свойств, чем при обычной поверхностной закалке.

Сталь ПП. Химический состав и технология выплавки выбирается с расчетом уменьшить прокаливаемость. С этой целью ограничивают содержание в стали таких элементов, как марганец, кремний, хром, никель и перед разливкой сталь модифицируют алюминием или титаном для получения мелкого наследственного зерна. Стали ПП применяются для шестерен заднего моста автомобилей, крестовин, шаровых пальцев и других деталей.

Сталь РП. Уровень свойств этой стали такой же, как и среднеуглеродистых конструкционных сталей (например, сталей 45, 40Х, 45Г и др.).

Сталь регламентированной прокаливаемости имеет определенный уровень прокаливаемости и малую склонность к росту зерна аустенита. Сталь регламентированной прокаливаемости 47ГТ, содержащая 0,06-0,12% титана, при температурах 850-1000 °С не обнаруживает склонности к росту зерна и обеспечивает более стабильную прокаливаемость, чем сталь 45Г. Сталь 47ГТ применяется для полуосей автомобилей. Сталь регламентированной прокаливаемости ШХ4РП применяется для колец и роликов железнодорожных подшипников.

Ход работы

1. Провести измерения твердости нескольких заготовок.
2. Поместить заготовку в индуктор.
3. Включить генератор и фиксировать время нагрева заготовки.
4. Выключить генератор и провести закалку заготовки.
5. Прodelать эту операцию для нескольких заготовок.
6. Измерить твердость заготовки после закалки.
7. Определить горячую глубину проникновения (рабочая частота генератора 33000 Гц).

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоят преимущества поверхностного метода закалки?
2. На каком явлении основан индукционный нагрев?
3. От чего зависит глубина проникновения тока в металл?
4. Назовите три основных способа поверхностной индукционной закалки?
5. Назовите типы индукторов, применяемых при индукционной закалке?
6. Какие требования предъявляются к сталям, подвергаемым поверхностной индукционной закалке?

Литература

1. Зуев, В.М. Термическая обработка металлов / В.М. Зуев. – Москва: Высшая школа, 1986. – 288 с.
2. Фогель, А.А. Промышленное применение токов высокой частоты / А.А. Фогель. – Москва: Машиностроение, 1965. – 80 с.
3. Николаев, Е.Н. Термическая обработка металлов токами высокой частоты / Е.Н. Николаев, И.М. Коротин. – Москва: Высшая школа. 1977. – 214 с.

Лабораторная работа № 4

ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА

Цель работы: ознакомиться с принципиальной схемой и устройством установки для электроискровой обработки.

Оборудование для электроискровой обработки применяется для получения отверстий различной формы, с криволинейными осями и очень малых диаметров, фасонных полостей, профильных канавок и пазов в деталях из твердых сплавов и закаленных сталей в штампах, пресс-формах, волоочильных глазков, узких щелей, сит, режущем инструменте, для упрочнения поверхности инструментов, извлечения из отверстий сломанных сверл, метчиков, винтов, шпилек, болтов, для электропечатания, электрозаписи и других видов обработки.

Теоретическая часть

Электроискровой способ обработки основан на явлении электрической эрозии, т. е. явления разрушения поверхности металла под действием электрических искровых разрядов.

К инструменту и детали, которую надо обработать, подводится постоянный ток определенной силы и напряжения, при этом инструмент и обрабатываемая деталь являются электродами. Если инструмент (катод) приближать к детали (аноду), то при определенном расстоянии Δ между ними этот промежуток (пробивной зазор) под действием электрического поля начнет пробиваться электронами. В узком промежутке Δ (около 0,05 мм) образуется интенсивный электрический поток, переносящий с собой значительное количество электричества. В месте пробоя возникает высокая температура (от 6 до 40 тыс. °С и более) расплавляющая и даже испаряющая любой металл, который выбрасывается в виде жидких шаровидных частиц – электрическая эрозия.

В зависимости от длительности разряда изменяется глубина распространения тепла в электродах и характер их разрушения; при кратковременных (искровых) разрядах длительностью 10^{-4} - 10^{-6} с тепло распространяется на очень малый объем металла, который, расплавляясь и частично испаряясь, удаляется, оставляя углубление – лунку (точно воспроизводя форму инструмента). При более длительных разрядах (10^{-3} с и более) и особенно при непрерывном (дуговом) разряде тепло распространяется на больший объем металла и количество вырываемого из электрода-изделия металла увеличивается, вследствие чего точного воспроизведения формы инструмента на металле (детали) не произойдет.

Интенсивность и длительность искрового разряда меняются в зависимости от емкости конденсатора, силы тока, напряжения источника питания, состава материалов электродов (инструмента – катода, детали – анода), состава и состояния рабочих сред, искрового промежутка Δ между инструментом и деталью.

Емкость служит для того, чтобы накопить энергию и мгновенно выделить ее в виде сильного электроискрового разряда. Емкость, применяемая при электроискровом способе обработки металлов, составляет от 0,25 до 600 мкФ. Сила тока и напряжение устанавливаются в зависимости от вида обработки (от 0,2 до 300 А и от 10 до 220 В). С уменьшением емкости, силы тока и напряжения качество обработки повышается.

Чтобы частицы металла, вырванные разрядом из электрода-изделия, не попадали на электрод-инструмент и не искажали его формы, искровой промежуток Δ заполняется токонепроводящей жидкостью (керосин, минеральные масла). Жидкая среда останавливает полет частиц выплавляемого металла. При этом жидкость препятствует расширению зоны действия разряда и способствует концентрации тепловой энергии разряда на малом участке поверхности. Электрод-инструмент изготавливают из латуни, меди, алюминия, реже из чугуна, медно- или углеграфитовой массы и вольфрама.

Станок для электроискровой обработки (рис. 4.1) имеет металлическую ванну 3 с жидкостью, в которую погружается обрабатываемая деталь 2, соединяемая с положительным полюсом 8 источника постоянного тока. Инструмент 4 соединен с отрицательным полюсом 7 и выполняет функцию катода. Он закреплен в ползуне 5, совершающем вертикальные перемещения вверх и вниз в направляющих 6, и изолирован от ползуна 5. Металлическая ванна изолирована от стола станка прокладками из изоляционного материала (асбеста, гетинакса, резины и т. п.). Электрический ток идет от отрицательного полюса 7 по проводам к электроду 4, от него через заполненный жидкостью (керосином) промежуток (зазор) к детали 2, расположенной на подставке 1, а от нее по проводам – к положительному полюсу 8. При опускании электрода 4 и приближении его к поверхности детали между ними возникает электрический разряд, проскакивает искра.

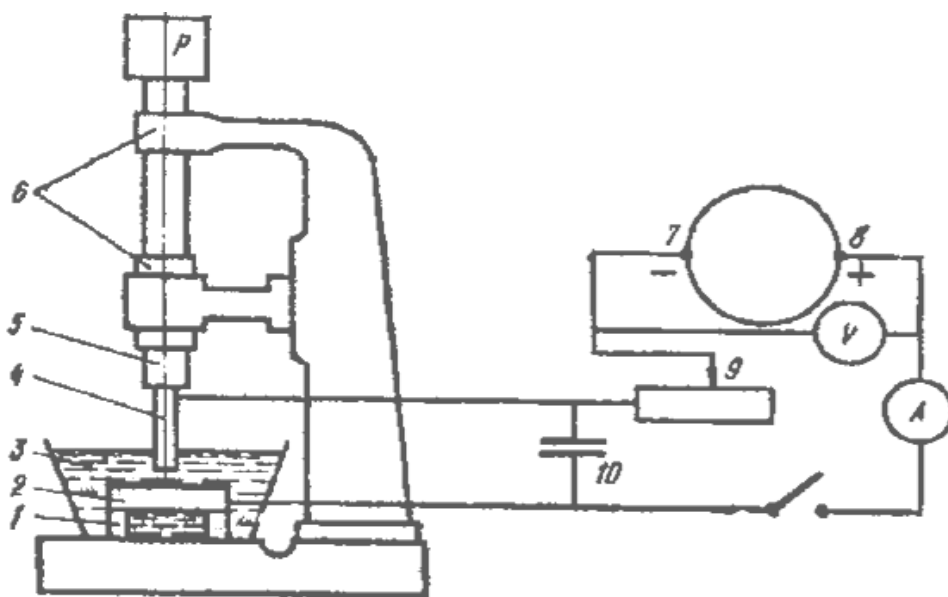


Рис. 4.1 Общий вид модели электроискрового прошивочно-копировального станка

Сила тока регулируется сопротивлением 9. Для получения мощных импульсных разрядов, непрерывно следующих один за другим в электрическую цепь параллельно детали 2 и электроду-инструменту 4 включена конденсаторная батарея 10.

Генераторы импульсов

Формирование импульсов тока, подводимых к электродам эрозионного станка, производится с помощью генератора импульсов, питаемого от сети промышленного тока. Генераторы импульсов можно разделить на два класса: зависимые и независимые. К первым относятся такие генераторы, в которых создание импульсов напряжения и тока осуществляется при участии межэлектродного промежутка. Во вторых, электрические импульсы создаются без участия межэлектродного промежутка. Они формируются в генераторе и подводятся к межэлектродному промежутку для обеспечения эффекта эрозии. Зависимые генераторы используют при электроискровом методе обработки, независимые генераторы применяются при электроимпульсном методе. В современных электроэрозионных станках используют различные генераторы импульсов. Ниже рассмотрены некоторые из них.

Генератор типа RC. Сокращенное название схемы генератора происходит от обозначения основных ее элементов: резистора – R и емкости – C. Генератор получил широкое распространение вследствие простоты и надежности (релаксационными называют генераторы, энергия которых накапливается в реактивных элементах цепи – конденсаторе или индуктивной катушке). Накопительный конденсатор 2 (рис. 4.2) заряжается от источника постоянного тока напряжением 100-200 В через токоограничительный резистор 1.

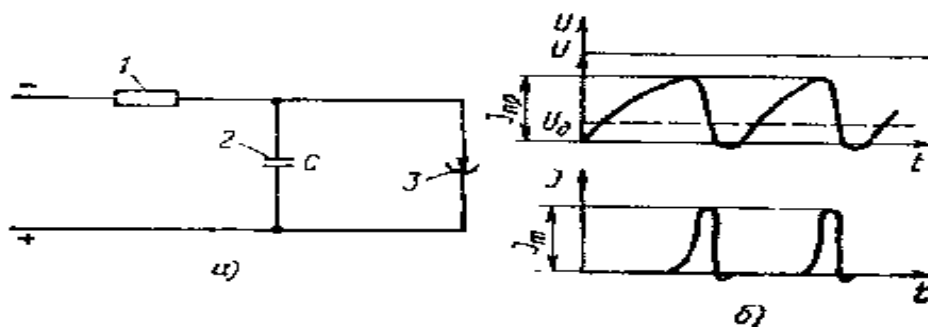


Рис. 4.2 Генератор типа RC:

а – схема; б – график изменения напряжения на электродах и силы тока в межэлектродном промежутке

Межэлектродный промежуток 3 включен параллельно конденсатору. По мере заряда конденсатора напряжение на его обкладках и между электродами эрозионного промежутка увеличивается. При достижении пробивного напряжения $U_{пр}$ происходит пробой межэлектродного промежутка, и запасенная в накопительном конденсаторе энергия выделяется в виде короткого импульса большой мощности, вызывая эрозию электродов. При разряде конденсатора напряжение на межэлектродном промежутке уменьшается до величины, при

которой разряд между электродами не может поддерживаться. Сопротивление межэлектродного промежутка резко увеличивается, ток быстро уменьшается и прекращается совсем. Межэлектродный промежуток восстанавливает свои диэлектрические свойства; начинается зарядка накопительного конденсатора. Далее процесс повторяется с частотой, зависящей от параметров схемы, расстояния между электродами и качества жидкого диэлектрика. Изменяя величину токоограничивающего резистора, можно изменять частоту следования импульсов и энергию, передаваемую в межэлектродный промежуток. Частоту импульсов можно определить по следующей формуле:

$$f = (2,3RC \lg \frac{U}{U - U_{пр}})^{-1},$$

где R – сопротивление резистора, Ом; C – емкость конденсатора, Ф; U – напряжение источника тока, В.

Энергию заряженного конденсатора, основная часть которой реализуется в межэлектродном промежутке, определяют по формуле:

$$E_c = \frac{CU^2_{пр}}{2}.$$

При некотором критическом сопротивлении резистора паузы между отдельными импульсами исчезают, и разряд из искрового переходит в дуговой. Размерная обработка в этом случае невозможна. Между напряжением источника питания, напряжением пробоя и напряжением U_d горения дуги должно соблюдаться соотношение $U < U_{пр} < U_d$. На практике принимают $U_{пр} = 0,72U$.

К недостаткам генератора типа RC следует отнести низкий КПД (около 35%), наличие больших пауз между импульсами (скважность 10-100), значительное влияние состояния среды межэлектродного промежутка на характеристику электрических импульсов.

Генератор типа RLC. Схема генератора RLC представляет собой дальнейшее развитие схемы RC. Для повышения эффективности действия генератора в цепь заряда конденсатора включена индуктивность L (см. рис. 4.3, а). Введение индуктивности изменяет форму кривой напряжения зарядки конденсатора (см. рис. 4.3, б). В начале процесса зарядки напряжение растет медленнее, чем в схеме без индуктивности, что благоприятно сказывается на процессе восстановления диэлектрической прочности межэлектродного промежутка. Поэтому удается повысить частоту разрядов, не опасаясь перехода импульсного процесса в дуговой. Далее напряжение зарядки круто возрастает, и процесс зарядки при наличии индуктивности в цепи заканчивается быстрее, чем без нее. К этому времени электрическая прочность межэлектродного промежутка полностью восстанавливается. Благодаря наличию индуктивности конденсатор оказывается заряженным до напряжения, значительно превышающего напряжение источника питания (эффект последовательного включения в цепь индуктивности и емкости). Величину индуктивности, вводимой в цепь заряда, выбирают по формуле:

$$L = 0,25R^2C.$$

Включение индуктивности в цепь зарядного контура генератора импульсов повышает КПД и интенсивность съема металла на 20—40% по сравнению с генераторами типа RC.

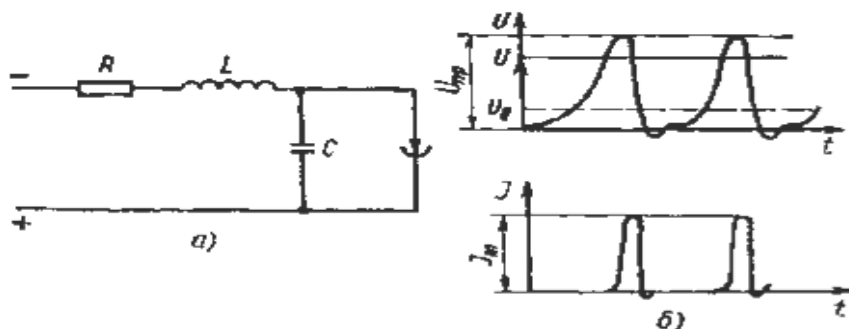


Рис. 4.3 Генератор типа RLC:

а – схема; б – график изменения напряжения на электродах и силы тока в межэлектродном промежутке

Генератор типа LC. В практике электроэрозионной обработки используют также LC-генератор, в зарядном контуре которого отсутствует резистор. Потери энергии в зарядной цепи такого генератора существенно меньше. Подобный генератор без дополнительных устройств, стабилизирующих процесс зарядки-разрядки и разрывающих дугу, оказывается неработоспособным. Наиболее просто стабилизация процесса может быть достигнута с помощью электромагнитного вибратора, обмотку которого используют в качестве индуктивности зарядного контура. Такое устройство заставляет электрод автоматически совершать колебательные движения, управляя процессом.

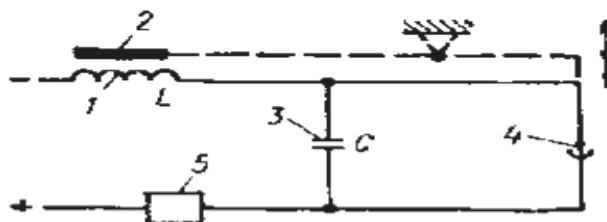


Рис. 4.4 Генератор LC

При включении схемы от источника питания через обмотку 1 вибратора (рис. 4.4) потечет зарядный ток конденсатора 3. Постепенно возрастая, ток притянет якорь 2 электромагнитного вибратора и поднимет электрод, что увеличит межэлектродный промежуток 4. Через некоторое время зарядный ток конденсатора (и ток через обмотку электромагнитного вибратора), а также сила притяжения якоря уменьшатся, и электроды начнут сближаться. К этому времени напряжение на конденсаторе возрастет до величины, почти в 2 раза превышающей напряжение источника питания, и, когда промежуток между электродами станет достаточно мал, произойдет разряд конденсатора через этот промежуток. Затем цикл работы повторится, и процесс будет идти с частотой, определяемой в основном величинами L и C.

Генераторы, выполненные по описанной схеме, работают достаточно устойчиво. Однако при значительной глубине обработки случайное короткое замыкание может вызвать появление дуги, которая будет разорвана автоматическим регулятором станка лишь после полного извлечения электрода из обрабатываемого отверстия, а за это время заготовка может быть испорчена. Во избежание такого явления обычно применяют быстродействующий выключатель 5, который при коротком замыкании отключает на небольшой период времени генератор от источника питания, ликвидируя короткое замыкание.

Ход работы

1. Установить в ползуне модели станка инструмент, соответствующий профилю обрабатываемого отверстия.
2. Установить на рабочем столике лабораторной установки обрабатываемую заготовку.
3. Провести позиционирование инструмента.
4. Включить источник питания и провести прошивку отверстия.
5. Фиксировать напряжение, силу тока и машинное время операции.
6. Оценить качество обработки.
7. Повторить процесс на более жестком режиме.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего применяется оборудование электроискровой обработки?
2. Назовите основные узлы копировально-прошивочного электроискрового станка.
3. Назовите среды, в которых ведется технологический процесс.
4. Назовите, какие генераторы импульсов применяются при электроискровой обработке.
5. Какие электроды используются при такой обработке?

Литература

1. Подураев, В.Н. Физико-химические методы обработки / В.Н. Подураев, В.С. Камалов. – Москва: Машиностроение, 1973. – 346 с.
2. Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов / под ред. Л.Я. Попилова. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 360 с.
3. Артамонов, Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Б.А. Артамонов [и др.]. – Москва: Высшая школа, 1983. – 208 с.

Лабораторная работа № 5

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАТИРАНИЕМ

Цель работы: изучение возможностей одного из методов нанесения электролитических покрытий – электронатирания для восстановления изношенных деталей.

Теоретическая часть

Электролитические покрытия получили широкое применение в ремонтном производстве. Они имеют ряд преимуществ перед наплавкой металлов, а именно, не вызывают структурных изменений в металле детали, так как она при восстановлении практически не нагревается; позволяют восстанавливать незначительные износы; процесс поддается механизации и автоматизации.

В основу процесса положен электролиз металлов. Теоретически количество металла g , г, выделившегося на катоде, определяется формулой:

$$g = C \cdot I \cdot T,$$

где C – электрохимический эквивалент выделяющегося на катоде вещества, г/А·ч (для хрома 0,323, для железа 1,043, для никеля 1,095 и для меди 1,186); I – сила тока, А; T – продолжительность электролиза, ч.

Но так как одновременно с осаждением на катоде металла выделяется водород и могут протекать другие процессы, то фактически осажденного металла будет меньше, чем теоретически возможного. Отношение действительно полученного количества металла к теоретически возможному называют выходом по току, который выражается в долях единицы или в процентах.

Толщину осажденного металла h , мм, определяют по формуле:

$$h = \frac{CD_k T \alpha}{10^2 \rho},$$

где $D_k = \frac{I}{S}$ — плотность тока, А/м²; S – площадь катода, м²; ρ – плотность осаждаемого металла, кг/м³; α – выход по току, %.

В ремонтной практике наиболее широко применяют электролитическое хромирование и осталивание, реже никелирование, меднение и цинкование.

Химические покрытия наносят погружением детали в раствор, выдержкой в этом растворе при определенной температуре до получения отложений металла без применения электрического тока. Осадки металлического никеля получают при восстановлении ионов никеля до металла под действием гипофосфита натрия.

Восстановление деталей электронатиранием. Электронатирание – один из способов нанесения гальванических покрытий. Этот процесс относится к ваннным и может применяться для восстановления наружных поверхностей деталей типа валов, внутренних поверхностей корпусных деталей, плоских поверхностей и др.

Сущность процесса заключается в том, что к детали – катоду 7 (рис. 5.1), установленному в центрах станка или в специальном устройстве, подключают провод, соединенный с отрицательным полюсом источника питания постоянным током. Анодом служит угольный стержень, который обертывают специальным абсорбирующим материалом, пропитывают электролитом и соединяют с положительным полюсом.

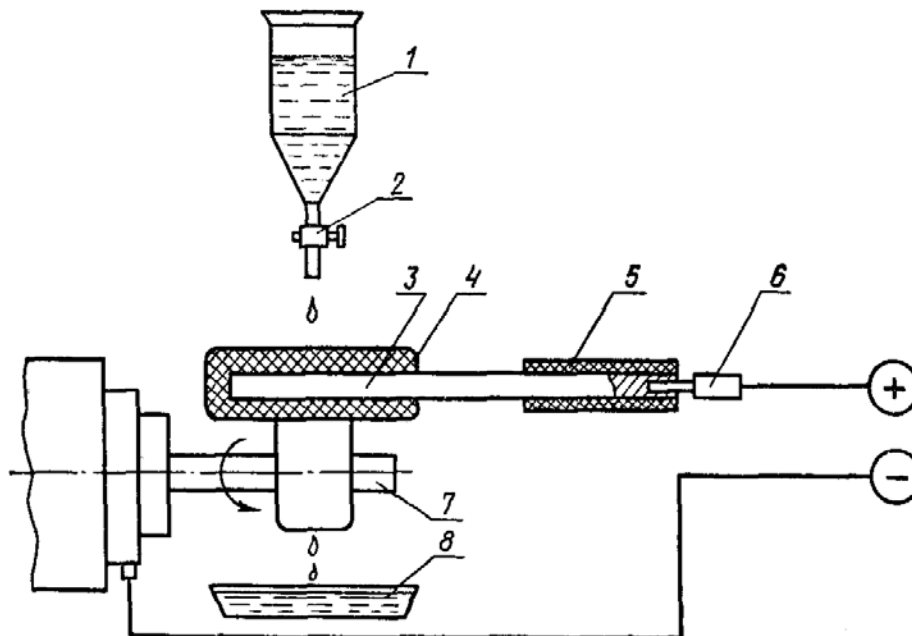


Рис. 5.1 Схема электролитического натирания:

1 – емкость; 2 – кран; 3 – анод; 4 – тампон; 5 – рукоятка; 6 – штеткер; 7 – деталь; 8 – ванна

Электролит поступает из резервуара 1 через шланг, а его расход регулируется краном 2.

Угольный анод 3 закрепляют в алюминиевом корпусе с ребрами воздушного охлаждения. Непрерывное поступление свежего электролита на анодный тампон и перемещение анода по покрываемой поверхности дают возможность применять высокую плотность тока и получать таким образом высокую производительность процесса.

Для покрытия больших поверхностей рекомендуется применять плоские аноды большой ширины.

Установка для восстановления электронатиранием посадочных поверхностей в корпусах автотракторных коробок передач состоит из рамы, кантователя, анодного приспособления 6 (см. рис. 5.2) с подвижной пластиной, привода анодного приспособления и устройства 7 для подачи электролита.

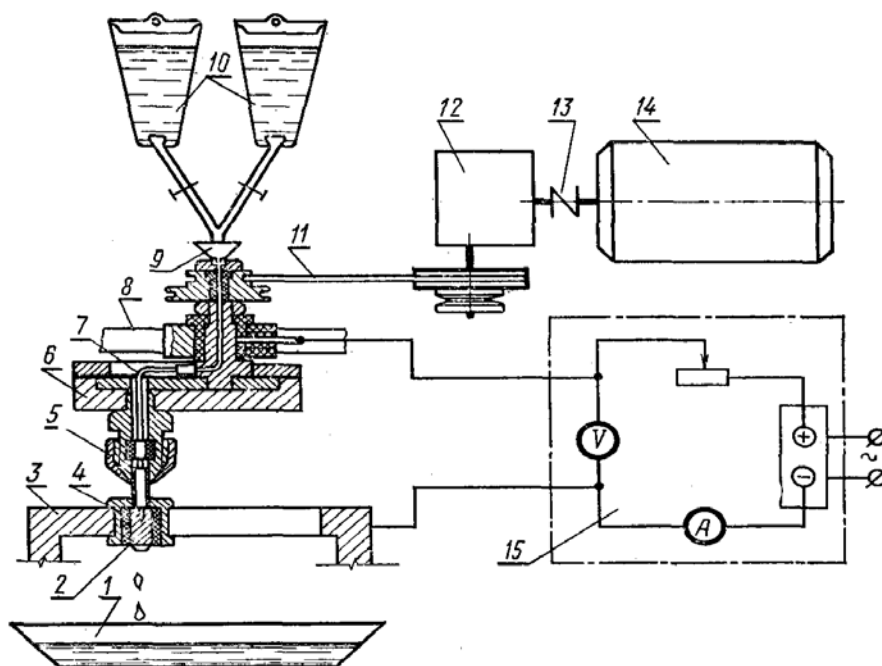


Рис. 5.2 Схема установки для восстановления электронатирием посадочных поверхностей в корпусах коробок передач:

- 1 – ванна для сбора электролита; 2 – анодный стержень; 3 – корпус коробки передач; 4 – тампон; 5 – патрон для крепления анода; 6 – приспособление для эксцентричного расположения анода; 7 – устройство для подачи электролита; 8 – опора крепления анодного приспособления; 9 – воронка подачи электролита; 10 – сосуды для электролита; 11 – клиноременная передача; 12 – редуктор; 13 – соединительная муфта; 14 – электродвигатель; 15 – выпрямитель

К раме приваривают кронштейны крепления электродвигателя 14 и редуктора 12, опору 8 крепления привода для перемещения анодного приспособления и детали кантователя.

Фиксатором можно закреплять вал кантователя, а следовательно, и корпус в двух положениях. При помощи педали и троса фиксатор освобождает ось, и плита кантователя вместе с корпусом коробки передач поворачивается.

Анодное приспособление дает возможность вращать анодную поверхность на различных радиусах. Для этого в подшипнике скольжения предусмотрен эксцентрик, на диск которого надета и закреплена винтами муфта. Ослабляя их, можно свободно вращать муфту относительно диска эксцентрика.

Через радиальные сверления к анодному тампону 4 по шлангу, проходящему внутри вала эксцентрика, и отверстию в корпусе патрона подводится электролит. Патрон защищен от действия электролита и от его излишнего растекания изолирующими полиэтиленовыми шайбами, приклеенными к аноду. Кроме того, шайбы препятствуют перемещению ватно-марлевого тампона вдоль оси анодного стержня. Привод анодного приспособления дает возможность изменять его частоту вращения, обеспечивая обработку малых и больших отверстий. Источником питания служит выпрямитель 15 марки ВСА-5.

Для электролита на установке предусмотрены два сосуда 10, в один из них заливают электролит для травления, в другой – для электронатириания. На концы штуцеров надеты шланги с зажимами для регулировки подач электролита. Лишний электролит стекает в ванну 1.

Поверхности стальных и чугунных деталей перед восстановлением подвергаются травлению в течение нескольких секунд при плотности тока 5-10 кА/м² электролитом следующего состава: 150 г/л серной кислоты, 50 г/л серно-кислого натрия.

Поверхности, подвергаемые восстановлению с помощью электронатириания, могут быть покрыты хромом, железом, никелем, медью и другими металлами или сплавами типа никель-хром.

Меднение в основном применяют для восстановления бронзовых втулок. При подготовке деталей к меднению электронатирианием поверхности не травят. Покрытие наносят после обезжиривания и промывки водой. Анодный тампон накладывают на деталь при выключенном токе, а затем включают ток и, перемещая тампон (для предохранения от пригорания), доводят ток до нужных значений.

Скорость осаждения металла до 20 мкм/мин. Кислотность электролита рН = 3,5 - 4.

Перед меднением на поверхность стальных деталей наносят слой никеля из электролита состава: 300-350 г/л серно-кислого никеля, 30-35 г/л серно-кислого магния, 40-50 г/л уксусной (ледяной) кислоты. Никелирование длится 20-30 с при плотности тока 10-15 кА/м² и скорости относительного перемещения анода 25-40 м/мин. Толщина подслоя до 1 мкм обеспечивает хорошую сцепляемость покрытия с основным металлом.

Цинкование ведется при плотности тока 10-20 кА/м². Скорость осаждения металла до 40 мкм/мин.

Цинкование электронатирианием рекомендуется для восстановления посадочных поверхностей деталей неподвижных сопряжений с износом до 0,1 мм.

Составы некоторых электролитов для электронатириания приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 Рекомендуемые составы электролитов для электронатириания и режимы работы

Наименование компонентов и показателей	Цинкование раствором условного номера		Меднение раствором условного номера
	2	3	4
Серно-кислый цинк, г/л	600-700	280-300	-
Борная кислота, г/л	20-40	20-40	-
Серно-кислая медь, г/л	-	-	550-600
Серная кислота, г/л	-	-	75-100
Плотность тока, кА/м ²	20	20	30
Скорость перемещения, м/мин	10	10	25

Ход работы

1. Провести предварительные обмеры поверхностей, подготовленных к восстановлению.
2. Закрепить в патроне токарного станка восстанавливаемую деталь – вал. Поджать его задним центром.
3. При выключенном токе обеспечить контакт анодного тампона и детали.
4. Включить привод станка, подать в зону обработки электролит и плавно довести величину тока до регламентируемой.
5. По истечении заданного времени отключить ток и выключить привод станка.
6. Промыв и просушив деталь, провести контрольные обмеры.

Вопросы для самопроверки

1. Какие преимущества имеют электролитические методы восстановления изношенных деталей перед другими методами?
2. Какой метод положен в основу восстановления деталей электронатира-нием?
3. От чего зависит количество металла, выделившегося на катоде при электролизе?
4. Как устроен анод для проведения процесса электронатирания?
5. Какие металлы рекомендуется наносить методом электронатирания?
6. Какие типовые детали можно восстанавливать электронатира-нием и с какими величинами износов?

Литература

1. Бабусенко, С.М. Современные способы ремонта машин / С.М. Бабусенко, В.А. Степанов. – Москва: Колос, 1977. – 272 с.
2. Практические работы по физической химии / под ред. К.П. Мищенко, А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Ленинград: Химия, 1982. – 400 с.
3. Бахвалов, Г.Т. Руководство к лабораторным работам по коррозии и гальваностегии / Г.Т. Бахвалов, А.В. Турковская. – Москва: Металлургия, 1965. – 184 с.

Лабораторная работа № 6

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Цель работы: ознакомиться с теоретическими аспектами плазменно-дуговой резки материалов и устройством портативного плазмотрона «Мультиплаз – 2500».

Плазменно-дуговая резка металлов – один из наиболее эффективных заготовительных процессов на современных металлообрабатывающих предприятиях. В отличие от газопламенной кислородной резки для этого процесса используют электрическую дугу и получаемую в ней струю плазмы рабочего газа, температура которой достигает десятков тысяч градусов, что позволяет обрабатывать не только конструкционные стали, но практически любые материалы. При этом могут быть достигнуты более высокие качество вырезаемых заготовок и производительность по сравнению с другими способами резки.

Теоретическая часть

Термическая резка – это способы удаления металла с поверхности тела или разделения металлического предмета на части путем его проплавления по заданной линии или объему. Если конечная цель – вырезка детали заданной конфигурации или получение отверстий и надрезов в заготовке, то используют разделительную резку. Проплавливая металл на некоторую глубину, можно в заготовке получать углубление в виде лунок или канавок, снимать с ее поверхности слои заданной толщины. Такой вид обработки называют поверхностной резкой.

Поверхностную и разделительную термическую резку выполняют местным проплавлением металла. Для этой цели используют такие источники теплоты, которые быстро нагревают до расплавления участки металла, необходимые для образования реза. Указанные источники должны обладать достаточно большой тепловой мощностью, т. е. выделять нужное количество теплоты за единицу времени, а также обеспечивать высокую концентрацию тепловой энергии с тем, чтобы нагрев и расплавление металла при резке происходили на участке заданной, обычно очень малой ширины. Ведь для разделения предмета на части достаточно очень узкой щели реза: чем больше ширина реза, тем больше отход металла.

Для повышения эффективности резки необходимо, чтобы источник теплоты равномерно (линейно) распределялся по толщине разрезаемого металла. Сосредоточенные (точечные) источники теплоты менее удобно использовать для резки. Нужно, чтобы теплота от линейного источника к разрезаемому металлу передавалась как можно быстрее. Как правило, чем выше температура источника, тем быстрее нагревается металл.

В качестве источников тепловой энергии для резки используют энергию химической реакции сгорания металла в кислороде или электрический дуговой

разряд. В первом случае говорят о так называемой кислородной (газовой) или кислородно-флюсовой резке; во втором – о способах электрической резки.

Источником тепловой энергии во всех современных способах электрической резки служит электрический дуговой разряд – физическое явление прохождения электрического тока через газовый промежуток. Известно, что проводниками электрического тока, как правило, являются металлы. Газ в нормальном состоянии – изолятор. Однако если на небольшом расстоянии друг от друга установить два электрода и подать на них высокое напряжение, возникнет сильное электрическое поле и может образоваться проводящий газовый промежуток, через который начнет проходить электрический ток. Электрический разряд возникает и в результате нагрева газа и электродов до высокой температуры, например, при размыкании токоведущей цепи.

Дуга характеризуется сильным током, относительно низким напряжением, а также высокими температурой и электропроводностью газа. Часть электрической дуги, которая имеет вид ярко светящейся струи, протянутой подобно шнуру между электродами, принято называть столбом дуги.

Температура газа, заполняющего столб дуги, составляет 4000-5000 °С и выше. При этой температуре молекулы и атомы газа в результате происходящих соударений могут распадаться и образовывать заряженные частицы. Если газ содержит множество положительно и отрицательно заряженных частиц и их соотношение таково, что общий заряд равен нулю, его принято называть плазмой. При температурах, соответствующих дуговому разряду, газ наряду с заряженными содержит и нейтральные частицы. Такой газ называют низкотемпературной плазмой.

Там, где столб дуги примыкает к твердым электродам, возникают переходные зоны, опирающиеся на активные пятна на поверхности электродов. Наряду с теплотой, излучаемой столбом, на эти поверхности приносят свою энергию заряженные частицы. Металл электродов в зоне активных пятен нагревается до расплавления. Более того, благодаря высокой концентрации энергии расплавленный металл может перегреться до температур кипения, а часть его превратиться в пар.

Наибольшее количество теплоты в дуге выделяется, как правило, в анодной области, примыкающей к положительному электроду; меньше теплоты выделяется на катоде. В столбе короткой дуги освобождается обычно относительно небольшое количество энергии.

Таким образом, всю электрическую дугу и ее отдельные участки можно рассматривать как интенсивный источник тепловой энергии для термической резки. Дуговой разряд, используемый для сварки в обычных условиях, можно расценивать как короткую дугу со столбом незначительной длины, в которой энергия выделяется преимущественно в приэлектродных пятнах. Размеры активных пятен ограничены и зависят от силы тока. Иначе говоря, дуга как источник тепловой энергии приближается, к точечному источнику. Однако, как отмечалось, особенности процессов резки заключаются в том, что по характеру введения энергии, необходимой для резки, источник теплоты должен быть распределенным, линейным.

Наряду с короткими дугами различают так называемые сжатые (стабилизированные) дуги, характеризующиеся развитым столбом разряда и происходящим в нем интенсифицированным плазмообразованием. Это достигается продуванием газа или жидкости сквозь столб дуги. Используя энергию внешнего источника тока, дуга испаряет жидкость, нагревает газ, ионизирует нейтральные частицы газа или пара и превращает их в поток плазмы. В современных устройствах дуга сжимается интенсивным обдувом дугового столба, концентричным к его оси, соосным или вихревым потоком рабочей среды.

Обычно дуговой разряд возбуждается в узких выходных каналах плазменных головок – плазмотронов, которые позволяют при сравнительно небольших расходах плазмообразующей среды получать большие скорости потоков плазмы.

В современной сварочной технике используют две схемы плазмообразования: первая соответствует схеме дуги прямого действия, возбуждаемой на обрабатываемом металле, который является одним из токоведущих электродов разряда; вторая – схеме косвенной (независимой) дуги, возбуждаемой между электродами, независимыми от обрабатываемого материала (рис. 6.1).

Когда теплота вводится только в обрабатываемую деталь, например, при резке, как правило, целесообразнее применять схему плазменной дуги, которая обеспечивает более полное использование энергии дугового разряда. Плазменную струю в области резки используют как вспомогательный разряд, а также при обработке неэлектропроводных материалов и иногда металлов небольшой толщины.

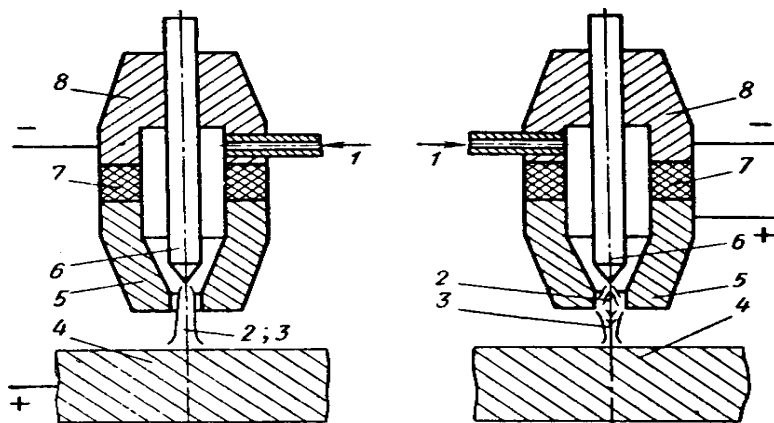


Рис. 6.1 Схемы плазмообразования:

- а – плазменная дуга; б – плазменная струя; 1 – подача газа; 2 – дуга; 3 – струя плазмы; 4 – обрабатываемый металл; 5 – наконечник; 6 – катод; 7 – изолятор; 8 – катодный узел

Когда сжатую плазменную дугу возбуждают на обрабатываемом металле, то ее основание в отличие от свободной дуги устанавливается на ограниченной площадке его поверхности. При этом по сравнению со свободной дугой сжатая дуга вводит в единицу поверхности большее количество теплоты в результате высокой концентрации дугового разряда и дополнительной передачи теплоты

плазменным потоком. Плазменная дуга, сжатая в плазмотроне, характеризуется особенно активным плавящим действием.

Плазменные дуги отличаются высокой стабильностью и могут быть большой длины. Длина дуги обуславливается ее напряжением и зависит от параметров и характеристики источника тока.

Если диаметр сопла, формирующего столб дуги, небольшой, а сила рабочего тока и расход газа велики, дуговой разряд начинает самопроизвольно углубляться в металл. Поток ионизированного газа выдувает расплавленный металл, а более холодные слои газового потока, окружающие проводящий плазменный шнур, препятствуют отклонению дуги в сторону. Дуга все глубже и глубже проникает в тело обрабатываемой детали. Сжатую плазменную дугу, обладающую такими свойствами, называют проникающей плазменной дугой. Для питания проникающей дуги обычно используют постоянный ток прямой полярности.

При этом глубина образующейся полости увеличивается до тех пор, пока проводимость плазменного шнура, расположенного по оси разряда, будет более высокой, чем суммарная проводимость разряда и окружающего его газа на пути возможного отклонения тока к стенкам выплавляемого углубления. Если источник электропитания и газовая струя обладают заданными параметрами, то в металле может быть проплавлено сквозное отверстие цилиндрической формы, т. е. выполнен дуговой прокол. Описанная картина наблюдается при действии неподвижной проникающей дуги. В результате перемещения дуги в каком-либо направлении толщина газовой оболочки, не проводящей тока, по сечению столба становится неодинаковой. Вследствие этого дуга отклоняется к лобовой поверхности реза.

Разделительная плазменно-дуговая резка состоит в сквозном прославлении металла и интенсивном удалении расплава сжатой плазменной дугой, перемещающейся по линии реза и проникающей на всю толщину разрезаемого элемента.

Кроме разделительной плазменно-дуговой резки применяют поверхностную резку. Для этого режущий плазмотрон устанавливают под острым углом к обрабатываемой поверхности с тем, чтобы расплавляемый металл удалялся струей плазмы после образования в нем несквозного углубления. Затем режущий плазмотрон под тем же углом перемещают в заданном направлении или перемещают обрабатываемую заготовку под неподвижно укрепленным плазмотроном.

Принцип работы плазмотрона

Достаточно широко известны плазменные горелки (плазмотроны), в которых плазмообразующей и защитной средой является аргон, аргон с добавками других газов, воздух. В настоящее время разработана технология, в которой не используются традиционные газы – плазму получают из водяного пара.

Плазменная горелка (рис. 6.2) портативного плазменного аппарата «Мультиплаз - 2500» выполнена в форме пистолета. Горелка присоединяется к

блоку питания с помощью электрического кабеля. Блок питания с помощью сетевого кабеля подключается к однофазной электросети с напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Все узлы плазменной горелки располагаются в пластмассовом корпусе. Металлический корпус-бачок заполнен влагопоглощающим материалом (минеральной ватой), который служит для равномерного распределения рабочей жидкости по всему объему бачка.

Сопло-анод совместно со вставкой и катодом образуют разрядную камеру, внутри которой за счет энергии электрической дуги пары рабочей жидкости нагреваются до температуры образования плазмы.

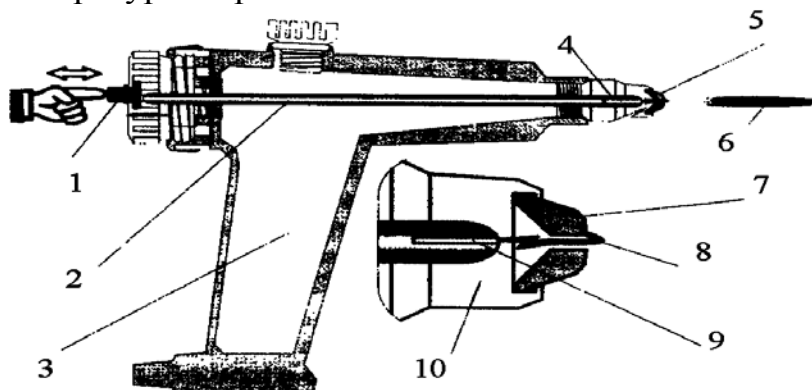


Рис. 6.2 Схема плазмотрона:

- 1 – кнопка начального запуска горелки; 2 – подвижный катодный узел;
3 – рабочая жидкость; 4 – катод; 5 – сопло; 6 – плазменный факел;
7 – сопло-анод; 8 – электрическая дуга; 9 – вставка катода; 10 – направленный
поток водяного пара

Запуск плазменной горелки, предварительно заправленной рабочей жидкостью, осуществляется после кратковременного нажатия кнопки начального запуска. При нажатии на кнопку подвижный катодный узел перемещается вперед и упирается наконечником-катодом в сопло-анод, т. е. электрическая цепь анод-катод замыкается. При отпускании кнопки катодный узел под действием возвратной пружины отходит от сопла-анода и в разрыве между катодом и внутренней поверхностью сопла-анода возникает электрическая дуга.

Тепловая энергия дуги испаряет окружающую воду и превращает её в пар, который под давлением устремляется к выходному отверстию в сопле. Проходя через зону электрической дуги пар отрывает ее от внутренней поверхности сопла, вытягивает дугу наружу и замыкает на внешнюю кромку сопла-анода. В узком сечении выходного отверстия пар обжимает электрическую дугу со всех сторон и центрирует её, не давая дуге замкнуться на боковые стенки выходного отверстия.

При взаимодействии с электрической дугой часть водяных паров переходит в плазму, температура, которой достигает 8000 °С.

Конструкция горелки обеспечивает ее работоспособность в любом пространственном положении.

В качестве рабочей жидкости при резке может быть использована вода, а при сварке и пайке – 40%-ная смесь спирта с водой.

В данной модификации плазмотрона реализовано два вида работ: режим косвенной дуги (электрическая дуга замыкается на сопло-анод) и режим прямой дуги (электрическая дуга под действием дополнительного напряжения отрывается от сопла-анода и попадает на обрабатываемый металл), отсюда и два режима эксплуатации плазмотрона.

Ход работы

1. Заправить плазмотрон дистиллированной водой.
2. Подготовить образцы и необходимые приспособления (линейки, лекала, циркули) для фиксации корпуса горелки относительно поверхности металла для проведения разделительной резки.
3. В зависимости от теплопроводности материала и толщины образцов отрегулировать режим мощности плазмотрона.
4. Для обеспечения резки в плазменно-дуговом режиме необходимо проводом заземления соединить корпус блока с разрезаемым металлом.
5. Провести несколько резов, выбирая такую скорость перемещения горелки, чтобы избежать искривления плазменного потока на выходе из металла.

Вопросы для самопроверки

1. Каким требованиям должны удовлетворять источники тепловой энергии для плазменно-дуговой резки?
2. Какими свойствами характеризуется электрическая дуга?
3. Поясните, что такое сжатая дуга?
4. Какие схемы плазмообразования применяются?
5. Поясните принцип использования проникающей плазменной дуги для разделительной резки.

Литература

1. Васильев, К.В. Плазменно-дуговая резка / К.В. Васильев. – Москва: Машиностроение, 1974. – 110 с.
2. Нойман, А. Сварка, пайка, склейка и резка металлов и пластмасс. Справочник / А. Нойман, Е. Рихтер. – Москва: Металлургия, 1985. – 480 с.

Лабораторная работа № 7

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНАЯ ОБРАБОТКА

Цель работы: изучение возможности использования энергии электрического разряда в жидкости для пластического деформирования.

Теоретическая часть

Процесс электровзрывной обработки относится к методу обработки давлением. Быстрая деформация заготовки 1 (рис. 7.1) вызывается силами F_3 , действующими на ее поверхности. Заготовка деформируется и при ударе о стенки матрицы 2 принимает ее форму. Силы F_3 создаются вследствие взрывного испарения некоторого вещества 3 при пропускании через него кратковременного импульса тока I . Жидкость 4 служит для передачи механических усилий к заготовке 1, фиксируемой уплотняющими деталями 6. Импульсный ток I получают при разряде конденсаторной батареи 7, которая подсоединяется к электродам 5 с помощью переключателя 9. Конденсаторы предварительно заряжаются до высокого напряжения от выпрямителя 8. При деформации заготовки воздух из полости матрицы удаляется через отверстия 10.

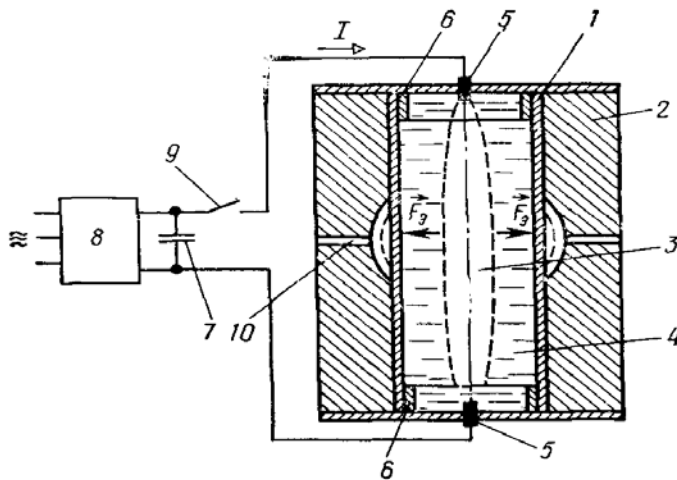


Рис.7.1 Принципиальная схема электрогидравлической штамповки

Электровзрывную обработку применяют как для формоизменения, так и для разделения заготовки, например для штамповки, гибки, чеканки, вытяжки, раздачи, а также для дробления хрупких материалов, очистки крупных отливок от пригара, резки, развальцовки труб. Оборудование просто переналаживается при мелко- или крупносерийном производстве. Сама обработка происходит очень быстро. Оптимальных показателей процесса добиваются подбором начальных условий.

Известны две основные разновидности электровзрывного формообразования, в которых применяют: высоковольтный разряд при пробое диэлектрической жидкости, использующейся как испаряемое вещество, а также для передачи механических усилий к заготовке, и электрический взрыв проводникового испаряемого вещества, помещенного в жидкость, которая необходима только для передачи усилий к заготовке.

При высоковольтном разряде, иначе называемом электрогидравлической обработкой, используют электрогидравлический эффект. Рабочим веществом, как правило, служит техническая вода. Электрический разряд протекает в герметичной камере. В окрестности канала разряда происходит почти мгновенное испарение жидкости, образуется ударная волна. Силы, деформирующие заготовку, создаются главным образом ударной волной, а также высоким давлением в возникающем газопаровом пузыре. Энергия разряда может достигать десятков килоджоулей, а длительность составляет несколько десятков микросекунд, мгновенная сила тока достигает 50 кА при длине разрядного промежутка в несколько сантиметров. Скорость фронта ударной волны заметно превышает скорость звука в воде и доходит до 3000 м/с. Начальная скорость стенок газового пузыря может быть больше 100 м/с, наибольший радиус пузыря – несколько сантиметров, максимальное давление в нем – до 10^{10} Па. Размеры обрабатываемых листовых заготовок толщиной до 5 мм могут превышать 1 м.

При электрическом взрыве конденсатор разряжается на проводник в виде тонкой проволоки, нескольких проволок, фольги или сетки. Проводник располагают в диэлектрической жидкости. Начальное напряжение разряда в данном случае несколько киловольт (значительно меньше, чем в первой разновидности процесса).

При протекании тока большой силы проводник нагревается и происходит его взрывное испарение. Возникает газопаровой пузырь, давление в котором достигает 10^{10} Па. В качестве материала проводников применяют медь, константан, нихром и др. Длина прямой проволоки – до нескольких десятков сантиметров, диаметр 0,1 ... 0,3 мм.

К достоинствам электрогидравлического формообразования относятся: а) простота оснастки; б) равномерность нагружения заготовки; в) сохранение исходного качества поверхности листовой заготовки; г) возможность изготовления разнообразных деталей из заготовок одного вида. Электровзрывная обработка избавляет от выполнения дополнительных операций, а оборудование легко встраивается в автоматические линии.

Электрогидравлические установки в зависимости от назначения различаются устройством камер, расположением заготовки, конфигурацией электродов. Ударная волна может иметь сферическую, цилиндрическую или плоскую форму.

В устройстве для штамповки (рис. 7.1) к конденсаторной батарее 7 подключают электроды 5, которые вместе с заготовкой 1 установлены в камере, заполненной диэлектрической жидкостью 4 (водой). Напряжение U_c на обкладках конденсатора должно быть достаточным для пробоя межэлектродного промежутка. Когда напряжение U_c достигнет пробивного значения $U_{пр}$, в разрядной цепи быстро нарастает сила тока I . В жидкости возникает канал разряда и газопаровой пузырь. Вследствие высокого давления в рабочей камере заготовка 1 деформируется и заполняет полость в матрице 2.

Начальную энергию конденсаторов подсчитывают по формуле $E_c = CU_c^2/2$, где C – емкость батареи. Полагают, что начальное напряжение батареи $U_c = U_{пр}$. Механизм пробоя рабочей среды в общем такой же, как при

электроэрозионной обработке. Однако техническая вода обладает некоторой электропроводностью, благодаря чему происходит ее местное вскипание еще тогда, когда напряжение на электродах $U_c < U_{пр}$. Поэтому заметная часть энергии расходуется еще до пробоя.

После пробоя в жидкости образуется канал разряда начальным диаметром в десятые доли миллиметра. В окружающей жидкости возникает ударная волна. Чтобы большая часть энергии конденсаторов преобразовалась в энергию ударной волны, необходим разряд с высокой скоростью нарастания силы разрядного тока I . Этого добиваются подбором параметров разрядной цепи.

После разрядов в воде накапливаются продукты эрозии электродов и газовые пузырьки. Если жидкость не менять, то продолжительность ее использования влияет на значение пробивного напряжения, на устойчивость пробоя и последующего разряда, а также на показатели самой обработки. Разряд иногда стабилизируют продольным магнитным полем.

Ударная волна – это область повышенного давления, распространяющаяся в жидкости в радиальном направлении от канала разряда. На небольшом расстоянии от канала ударная волна имеет форму цилиндра, а при удалении от области разряда становится сферической.

На фронте ударной волны величины, описывающие состояние жидкости, изменяются скачком. В частности, давление увеличивается от исходного атмосферного p_a до очень высокого давления на фронте $p_f > p_a$. Вследствие сжатия повышается плотность жидкости от нормальной $\rho_{ж}$ до ρ_f . На фронте ранее неподвижные частицы жидкости приобретают скорость v_f . Фронт ударной волны движется со скоростью $v_{v.в.}$

Для расчета показателей электрогидравлической обработки необходимо знать значения указанных величин на фронте ударной волны.

После того, как рост мощности разряда прекращается, скорость фронта, давление и скорость частиц жидкости начинают уменьшаться. На расстоянии, в несколько раз превышающем длину межэлектродного промежутка, фронт ударной волны начинает приобретать сферическую форму. При большом удалении от оси канала ударная волна переходит в мощную акустическую волну, скорость фронта которой немного превышает скорость звука (в воде около 1500 м/с).

В течение первого полупериода колебаний (несколько микросекунд) в разрядный промежуток поступает до 80% энергии, запасенной конденсаторами. Эта доля энергии тем больше, чем больше длина промежутка и чем меньше напряжение, индуктивность и емкость разрядной цепи.

В течение первых десяти микросекунд разряда ударные волны многократно отражаются от заготовки и стенок камеры и рассеиваются. Давление в рабочей камере выравнивается, оставаясь довольно высоким. Если камера замкнутая, газопаровой пузырь расширяется слабо. Следовательно, динамическое течение жидкости незначительно и вызывается лишь деформацией заготовки и сжатием газа, находившегося в камере до разряда. Если камера большая, то сила тока разряда слабо зависит от её размеров. В малом объеме ток может пре-

кратиться уже после первого полупериода; возможно, это объясняется действием отраженных ударных волн.

Объем парогазового пузыря увеличивается с ростом начального напряжения и емкости конденсаторной батареи. При формообразовании в воде газовыделение невелико ($\sim 10^{-6}$ м³ за один разряд).

Деформация заготовки вызывается силами, возникающими при подходе к заготовке фронта ударной волны. Как известно из физики, сила, с которой поток действует на неподвижную преграду (в данном случае заготовку), представляет сумму гидростатического $p_{\text{ф}}$ и динамического давлений. Когда поверхность заготовки в процессе деформации приобретает скорость v_3 , то динамическое давление равно $0,5(v_{\text{ф}} - v_3)^2$.

Давление на фронте сохраняется постоянным примерно всю первую четверть периода, т. е. до тех пор, пока ударная волна не отойдет от оси канала.

По мере увеличения скорости деформации заготовки и затухания ударных волн плотность поверхностных сил снижается и формообразование продолжается благодаря инерции заготовки и высокому гидростатическому давлению в камере.

Согласно энергетической теории прочности, если плотность потенциальной энергии для линейно-напряженного состояния меньше допустимого предела, то деформация упругая. Предел текучести σ_T зависит от температурно-скоростных условий, а также степени деформации, в частности для алюминиевого сплава $\sigma_T \approx 300$ МПа. Плотность поверхностных сил должна превышать предел текучести, т.е. $f_{\text{п}} > \sigma_T$. Экспериментально установлено, что давление на фронте ударной волны в десятки и сотни раз превышает предел текучести.

Когда фронт ударной волны достигнет поверхности заготовки, то спустя некоторое время (~ 100 мкс) начинается само формообразование. Ударная волна частично отражается, а частично переходит в заготовку, где распространяются продольные и поперечные волны. При отражении ударной волны от заготовки в жидкости возможна кавитация.

Абсолютные скорости деформации заготовки превосходят 100 м/с. Процесс деформации определяется значениями трех главных напряжений, инерцией, температурой и временем. Вид напряженного состояния в ходе процесса меняется: начальное неравновесное объемное сжатие (с возможными сдвиговыми деформациями) переходит в объемное равновесие. Объем материала заготовки в процессе деформации сохраняется постоянным.

Таким образом, деформация данной заготовки определяется параметрами разряда, в частности напряжением пробоя и емкостью конденсатора; при определенных их значениях деформация наибольшая.

Чтобы уменьшить скольжение заготовки в матрицу, специальными деталями 6 (см. рис. 7.1) края заготовки 1 прижимают к матрице 2. Недостаточный прижим может вызвать коробление заготовки и износ матрицы. Если прижим слишком сильный (скольжение между заготовкой и матрицей отсутствует), то формообразование сводится к растяжению листовой заготовки. В таком случае трудно добиться большой глубины прогиба.

В процессе формообразования заготовка нагревается вследствие пластической деформации и вихревых токов, которые наводятся быстроизменяющимся магнитным полем тока разряда. Помимо нагрева возможны остаточный наклеп и наведение внутренних напряжений, в том числе структурных.

Если энергия конденсаторной батареи мала, а глубина штамповки велика, то формообразование проводят несколькими последовательными разрядами.

Как и при электроэрозионной обработке, происходят эрозия электродов (особенно при энергии конденсаторов $CU_c^2 / 2 > 20$ кДж) и распыление их материала в рабочей среде. Условия разряда подбирают так, чтобы эрозия электродов была наименьшей, например, увеличивают длину промежутка (более 20...25 мм). Электроды обычно изготавливают из латуни, металлокерамических сплавов на основе вольфрама и др. Из-за эрозии электродов увеличивается удельная проводимость рабочей жидкости примерно обратно пропорционально энергии разрядов, приходящейся на единицу объема камеры. В результате со временем разрядный ток уменьшается, а процесс обработки становится неустойчивым.

КПД процесса. Полезная работа W_ϕ , необходимая для формообразования, определяется как произведение объема заготовки на удельную работу деформации. Последнюю величину рассчитывают по истинному растягивающему напряжению и действительной деформации. КПД $\eta = W_\phi / E$, где E – энергия, которая потреблена за время изготовления одной детали. Часть этой энергии расходуется в процессе зарядки конденсаторной батареи. При электрическом разряде в воде на предпробойной стадии может теряться 10...50% энергии, накопленной конденсаторами. При разряде энергия конденсаторов, кроме деформации заготовки, затрачивается на разложение и нагревание жидкости, на сообщение ей кинетической и потенциальной энергии. КПД зависит от емкости рабочей камеры и длины разрядного промежутка. При оптимальных параметрах процесса $\eta_{\max} = 0,3$.

Формообразование при электрическом взрыве проводников состоит в следующем.

В установке (см. рис.7. 2) для формовки электрическим взрывом сила тока I при разряде конденсатора протекает по прямолинейной проволоке 1. При ее взрыве на стенки трубчатой заготовки 2 действуют поверхностные силы F_n , благодаря которым производится деформация заготовки 2 по форме матрицы 3. Этот процесс происходит более стабильно, поскольку его параметры не зависят от электропроводности рабочей жидкости.

Начальное напряжение конденсаторной батареи не превышает нескольких киловольт. Как и при электрогидравлическом формообразовании, параметры разрядной цепи подбирают так, чтобы наибольшая часть энергии конденсаторов выделилась в проволоке за первый полупериод разрядного тока.

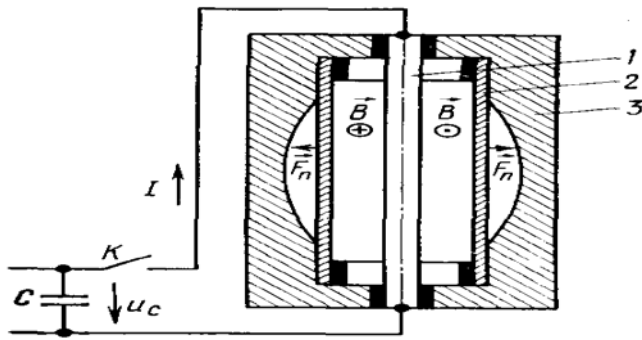


Рис. 7.2 Принципиальная схема электрогидравлической штамповки при взрыве проводника

За это время в промежуток поступает 30...40% энергии, накопленной в конденсаторах. При разряде конденсаторов резкое нарастание тока вызывает быстроменяющееся магнитное поле. Это поле создает поверхностный эффект, благодаря которому ток сосредоточен в узком внешнем слое проволоки. В этом слое выделяется теплота, которая передается как во внутренние области проволоки, так и в жидкость. Проволока плавится, окружающая жидкость испаряется – от проволоки отходит ударная волна. Скорость ее фронта тем больше, чем больше начальное напряжение. Начинается тепловой взрыв проволоки: ток разряда очень быстро падает (рис. 7.3), внешние слои проволоки испаряются, а фронт испарения перемещается к оси проволоки. Электропроводность насыщенного пара невелика, но иногда наблюдается образование плазмы.

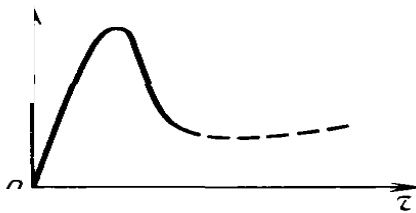


Рис.7.3 Зависимость величины силы тока разряда от времени

Разлет расплавленной перемычки предотвращается силами отдачи паров и индукцией B магнитного поля, создаваемого разрядным током (рис. 7.2). Благодаря взаимодействию тока и поля, на проволоку в радиальном направлении действуют сжимающие силы.

После падения тока возможен электрический разряд в канале, заполненном паром (рис. 7.3). Характер изменения силы тока I зависит от параметров разрядной цепи и продолжительности движения по проволоке фронта испарения. Тепловой взрыв проволоки обычно продолжительнее разряда в жидкости.

Параметры электрического взрыва прямолинейного проводника определяются индуктивностью и емкостью разрядной цепи, начальным напряжением конденсатора, длиной, диаметром и числом проволок. Спиральная проволока взрывается несколько быстрее, чем прямолинейная. Это объясняется тем, что магнитное поле B , вызываемое током I , имеет конфигурацию, которая слабее препятствует разлету электропроводной перемычки.

Явления, следующие за взрывом электропроводного вещества, в общем такие же, как после электрического разряда в жидкости. Возникают ударная волна и газопаровая полость с высоким давлением. Как правило, КПД процесса выше, чем при разряде в жидкости. При определенных длине и диаметре про-

волоки КПД наибольший. Объем взрываемой проволоки должен быть пропорциональным энергии, накопленной в конденсаторах.

Для электрогидравлической штамповки применяют импульсы высокого напряжения, получать которые можно, например по типовой схеме рис. 7.4. При повышении напряжения растет КПД процесса.



Рис. 7.4 Функциональная схема генератора импульсов

Батарея конденсаторов подключена к выходу выпрямителя через зарядный резистор, сопротивление которого $R_3 = U_3 / I_{\text{доп}}$, где U_3 – выходное напряжение выпрямителя; $I_{\text{доп}}$ – допустимая сила тока выпрямителя, равная силе зарядного тока I_3 в начале зарядки конденсатора, когда напряжение $U_c \approx 0$. По мере увеличения напряжения U_c сила тока I_3 падает.

Средняя мощность ввода энергии в разрядную цепь $P_p = (C U_c^2 / 2) / T_\phi$, где T_ϕ – время между разрядами, которое в автоматизированных установках равно периоду формообразования. Входная мощность выпрямителя $P_v = P_p / \eta_3$, где η_3 – КПД зарядного устройства.

С ростом силы зарядного тока I_3 и уменьшением времени зарядки батареи КПД падает, так как увеличивается мощность преобразования электрической энергии в тепловую на зарядном резисторе R_3 . Таким образом, производительность установки можно повысить лишь ценой снижения ее КПД, т. е. в конечном счете увеличением затраченной энергии. КПД данного генератора достигает 90% благодаря стабилизации зарядного тока I_3 с помощью регулируемого автотрансформатора.

Технология электровзрывной штамповки

Одна из схем технологического процесса листовой штамповки электрическим разрядом представлена на рис. 7.5.

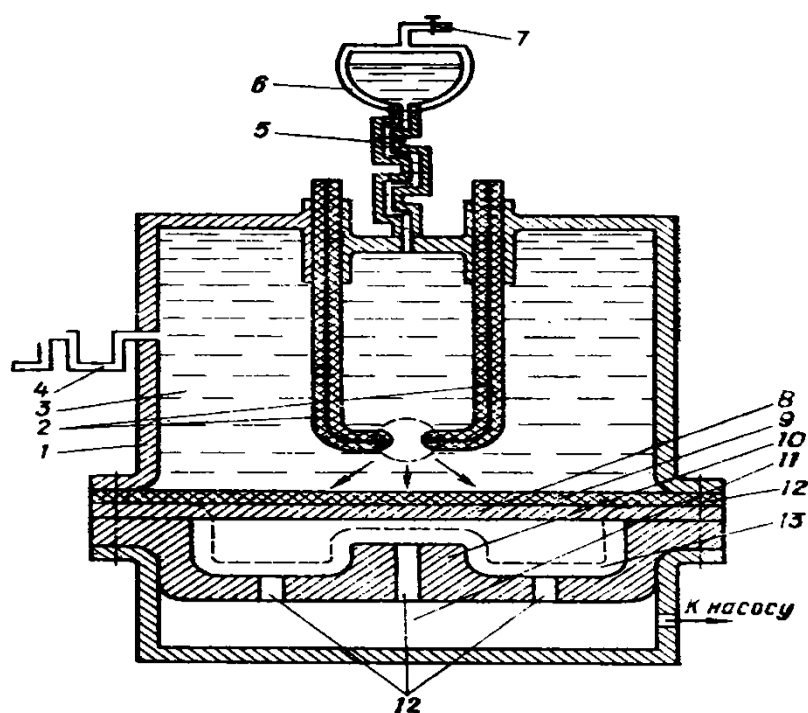


Рис. 7.5 Схема лабораторной установки

В камере 1 установлены изолированные электроды 2. Камеру 1 герметизируют от заготовки 8 резиновой прокладкой 9. Заготовку 8, прокладку 9 и камеру 1 крепят к матрице 10. При подаче напряжения от конденсаторной батареи на электроды 2 в жидкости 3 происходит электрический разряд. Механическое усилие через резиновую прокладку 9 передается на заготовку 8, которая прилегает к стенкам матрицы 10, образуя деталь 13 (на рисунке показана пунктиром).

Для удаления газа, возникающего после разряда, служит ресивер 6. Канал 5, соединяющий рабочую камеру 1 с ресивером 6, имеет криволинейную ось, чтобы погасить ударную волну. С помощью крана 7 накопившийся газ периодически удаляют. При отражении ударной волны в камере 1 могут образовываться кавитационные полости, что снижает общее усилие деформации. Для устранения кавитации в камеру 1 по каналу 4, который также выполнен с криволинейной осью, под давлением нагнетают рабочую жидкость. Её можно вводить периодически, согласуя во времени с разрядом.

При деформации скорость перемещения заготовки $v_3 > 100$ м/с. Воздух в пространстве между заготовкой и матрицей не успевает вытесняться через технологические отверстия 12 и создает противодействие, препятствующее плотному прилеганию заготовки 8 к матрице 10. Для повышения точности обработки воздух из камеры 1 откачивают вакуумным насосом. При штамповке особо точных деталей матрицу изготавливают из мелкопористого материала или создают на ее поверхности повышенную шероховатость.

Межэлектродный промежуток может располагаться как горизонтально, так и вертикально. Во втором случае одним из электродов обычно служит сама заготовка. При обработке крупных заготовок штамповка одним разрядом неце-

лесообразна, так как при этом необходимы мощные и громоздкие электрические устройства. Для обработки больших заготовок в различных местах камеры размещают несколько пар электродов или передвигают одну пару электродов вдоль поверхности заготовки. При первом способе возможна одновременная обработка всей заготовки благодаря сразу нескольким разрядам, при втором – обработка ведется последовательными разрядами.

Как упоминалось, деформация заготовки – процесс инерционный, т. е. деформация продолжается и после непосредственного воздействия на нее ударной волны. Это явление используют, включая последовательно несколько пар электродов по заданной программе. В местах значительных деформаций следует предусмотреть либо многократные разряды, либо повысить энергию одного разряда.

При штамповке цилиндрических заготовок электроды помещают по оси симметрии, как показано. Эту технологическую схему применяют для получения гофров, конических или конусных деталей.

Благодаря резиновой прокладке 9 сокращается время установки заготовки, так как при этом можно не сливать рабочую жидкость из камеры 1.

При обработке крупных заготовок можно использовать принцип «стакана» с резиновым дном, внутри которого находится жидкость и установлены электроды. Перемещая стакан по заготовке, можно последовательными разрядами произвести деформацию по всей поверхности.

Ход работы

1. Вырезать из алюминиевой фольги заготовку, по заданным размерам.
2. Установить и закрепить заготовку на матрице с помощью зажимного кольца, обеспечить плотное прилегание всех элементов.
3. Поместить матрицу вместе с заготовкой в рабочую камеру, наполнить камеру водой.
4. Ввести в рабочую камеру блок электродов.
5. Подключить электроды к генератору высоковольтных импульсов.
6. Провести зарядку блока конденсаторов до напряжения 8000В.
7. Включением пусковой кнопки подать напряжение на рабочие электроды.

Вопросы для самопроверки

1. К каким методам относится электровзрывная обработка?
2. Какой эффект применяется при электровзрывном формообразовании?
3. Для каких целей можно применять электровзрывную обработку?
4. Какие достоинства имеет электровзрывная обработка?
5. Какие элементы включает в себя функциональная схема генератора высоковольтных импульсов?

Литература

1. Попилов, Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов / Л.Я. Попилов. – Москва: Машиностроение, 1969. – 297 с.
2. Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов / под ред. Л.Я. Попилова. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 360 с.

Лабораторная работа № 8

МЕХАНИЗИРОВАННАЯ НАПЛАВКА В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Цель работы: ознакомиться с оборудованием и технологией восстановления изношенных деталей наплавкой полуавтоматом в среде CO_2 .

Дуговая сварка и наплавка в среде защитных газов нашла широкое применение при ремонте машин благодаря ее техническим и экономическим преимуществам. Особенность этого вида сварки и наплавки заключается в том, что в зону горения дуги подается защитный газ, который вытесняет воздух и защищает расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха. Технологическими преимуществами является простота процесса сварки (наплавки), возможность автоматической и полуавтоматической сварки швов, находящихся в различных пространственных положениях, и наблюдения за процессом сварки, отсутствие необходимости очищать от шлака наплавленный слой, что важно при многослойной наплавке, и др.

В качестве защитных газов используют аргон и гелий (для сварки всех металлов), азот (для сварки меди и ее сплавов), углекислый газ (для сварки стали и чугуна). Наибольшее распространение при ремонте машин получили сварка и наплавка в углекислом газе, как наиболее простой и экономичный способ.

Сварку в среде углекислого газа применяют при ремонте деталей и конструкций из тонколистовой стали при заварке трещин, приварке заплат (ремонт кабин, кузовов, облицовка и т. д.). Сварка в углекислом газе осуществляется полуавтоматическим способом, при котором механизированы операции подачи электродной проволоки и газа.

Наплавку в среде углекислого газа применяют при восстановлении деталей цилиндрической формы диаметром более 10 мм, при устранении дефектов резьбы, заварке шпоночных пазов, наплавке изношенных шлицевых валов и т. д.

Теоретическая часть

При высокой температуре углекислый газ диссоциирует с образованием активных атомов кислорода и окиси углерода, обладающих высокими окислительно-восстановительными свойствами. Присутствие атомов кислорода приводит к окислению (выгоранию) углерода и легирующих элементов, входящих в состав сварочной проволоки и основного металла. Окисленный углерод (окись углерода) при кристаллизации сварочной ванны стремится выделиться из нее. Однако процесс кристаллизации идет настолько быстро, что газы частично остаются в металле в виде пор. Для подавления реакции образования окиси углерода при сварке (наплавке) в среде углекислого газа используют проволоку с раскислителями (кремний, марганец и др.), которые взаимодействуют с атомами кислорода. Содержание в наплавленном металле 0,2% кремния и 0,4% марганца предупреждает образование пор.

Необходимая твердость наплавленного металла достигается за счет применения соответствующей наплавочной проволоки. При наплавке деталей из сталей 30, 40, 45 проволокой Св-08Г2С, Св-ЮГС, Св-10ХГ2С твердость наплавленного металла находится в пределах НВ 200-250. Наплавка деталей из тех же сталей проволокой Св-18ХГСА, Св-30ХГСА обеспечивает твердость НВ 300-350, а после закалки – HRC 42-45. Наряду с электродной проволокой сплошного сечения используются порошковые проволоки с введением титана и углерода ПП-АН10, ПП-АН21, ПП-АН22, ПП-АН54 и др.

Поверхность электродной проволоки должна быть чистой и гладкой, без окалины и масла.

Для сварки в среде углекислого газа применяют полуавтоматы с подачей проволоки через шланг (шланговые полуавтоматы). Полуавтомат (рис. 8.1.) состоит из источника питания (сварочного выпрямителя) 7 с пультом управления 8, механизма подачи проволоки 9, газoeлектрической горелки 10. В комплект входит баллон с углекислотой 1, подогреватель газа 2, осушитель 3, редуктор 4, расходомер газа 5 и газoeлектрический клапан 6.

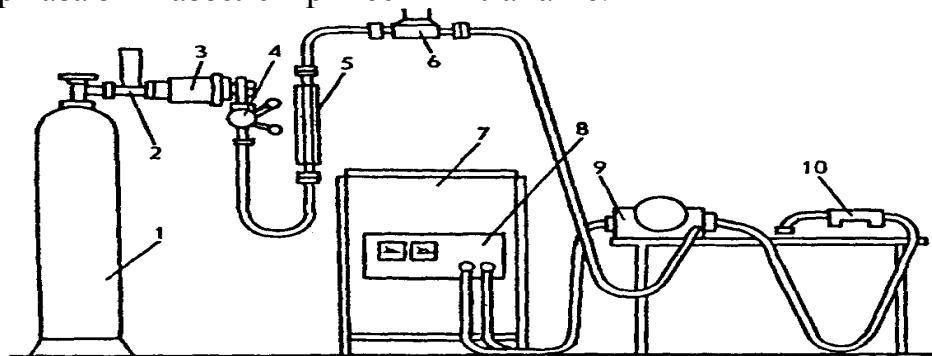


Рис. 8.1. Рабочее место для сварки в среде углекислого газа:

1 – баллон; 2 – подогреватель газа; 3 – осушитель; 4 – редуктор; 5 – расходомер; 6 – газoeлектрический клапан; 7 – источник питания; 8 – пульт управления; 9 – механизм подачи проволоки; 10 – газoeлектрическая горелка

Углекислый газ поставляется в баллонах вместимостью 40дм³. В баллоне 20-25 кг жидкой углекислоты под давлением 5-6 МПа. Из 1 кг жидкой углекислоты при ее испарении образуется 509 дм³ углекислого газа.

Температура газа при выходе из баллона резко падает, поскольку при испарении жидкой углекислоты поглощается теплота. Понижение температуры газа может привести к замерзанию влаги, содержащейся в нем, и к закупорке каналов газовой аппаратуры. Поэтому газ после выхода из баллона пропускают через подогреватель 2 и осушитель 3.

Подогреватель (рис. 8.2) соединяется с вентилем баллона накидной гайкой 4. Газ, поступивший в патрубок 3, проходит по змеевику 10 и штуцеру 1.

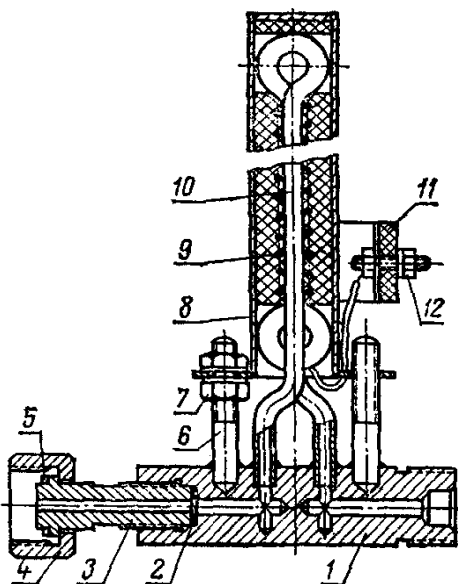


Рис. 8.2 Подогреватель углекислого газа: 1 – штуцер; 2 и 5 – прокладки; 3 – патрубок; 4 – накидная гайка; 6 – стойка; 7 – гайка; 8 – кожух; 9 – нагревательный элемент; 10 – змеевик; 11 – панель; 12 – зажим подогревателя

От спирали 9 змеевик 10 нагревается и нагревает газ, который затем подается в редуктор.

Осушители необходимы для удаления влаги из углекислого газа. Их наполняют силикагелем или порошкообразным медным купоросом. Перед употреблением осушители рекомендуется прокалить при температуре 200-250°C в течение 1-1,5 ч. Эту операцию повторяют через 5-10 дней, в зависимости от нагрузки наплавочных установок.

Для понижения давления газа до рабочего (0,1-0,3 МПа) применяют редуктор. Газоэлектрический клапан (отсекатель) служит для включения подачи газа в зону горения дуги перед началом наплавки и прекращения подачи при остановке процесса. Подача газа опережает подачу проволоки. Газ в зону сварки (наплавки) подается с помощью специальной горелки. Схема процесса наплавки в среде углекислого газа показана на рис. 8.3.

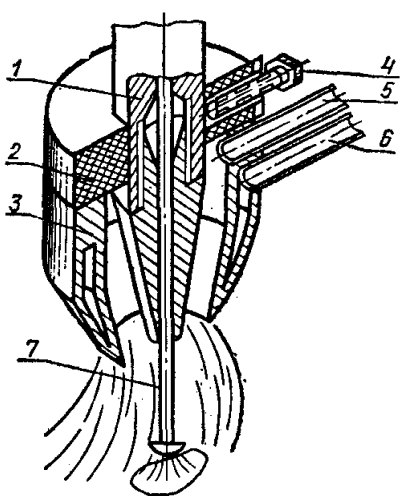


Рис. 8.3 Схема наплавки в углекислом газе: 1 – мундштук; 2 – изоляционная шайба; 3 – корпус горелки; 4 – винт; 5 – труба подвода газа; 6 – труба подвода воды; 7 – электродная проволока

Углекислый газ поступает в корпус горелки по трубе 5 и, выходя из кольцевого наконечника горелки 3, направляется в зону горения дуги. Подводом воды по трубе 6 охлаждают наконечник и мундштук, что увеличивает срок их службы.

Оборудование и технологическая оснастка

Для сварки и наплавки в среде углекислого газа выпускается специальное оборудование и переоборудуются существующие автоматы.

Детали цилиндрической формы наплавляют на установке, созданной на базе переоборудованного токарного станка, который оснащают редуктором или специальным приводом для уменьшения частоты вращения шпинделя. Восстанавливаемую деталь закрепляют в патроне станка. На суппорте станка устанавливают наплавочную головку или закрепляют газозлектрическую горелку полуавтомата для сварки в среде углекислого газа. Схема наплавки показана на Рис.8.4. В качестве источника питания дуги используют сварочные выпрямители или специальные преобразователи.

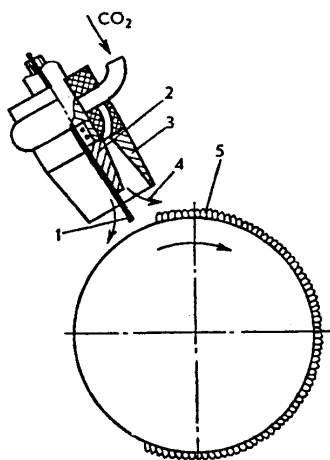


Рис. 8.4 Наплавка в среде углекислого газа:
1 – электродная проволока; 2 – мундштук;
3 – сопло горелки; 4 – поток газа; 5 – наплав-
ленный металл

Технология восстановления деталей

Перед наплавкой детали очищают от грязи, масла и ржавчины. Валики на изношенную поверхность наплавляют так, чтобы каждый последующий перекрывал предыдущий не менее чем на $\frac{1}{8}$ ширины. Наплавленный слой получают толщиной 0,8-1,5 мм за один проход.

Наплавка в среде углекислого газа ведется на постоянном токе обратной полярности. Режимы наплавки приведены в табл. 8.1. Вылет электрода принимают в пределах 8-15 мм. Увеличение вылета приводит к ухудшению защиты расплавленного металла из-за удаления сопла от поверхности детали, что может привести к образованию пор. Уменьшение вылета ведет к забрызгиванию сопла и подгоранию наконечника мундштука. Расход углекислого газа устанавливают в пределах 6-8 л/мин. С увеличением скорости наплавки и вылета электрода увеличивают расход газа.

Таблица. 8.1 Режимы наплавки в среде углекислого газа

Диаметр детали, мм	Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А	Скорость наплавки, м/ч	Напряжение дуги, В
10-20	0,8- 1,0	70-80	20-60	17-18
20-30	0,8- 1,0	80-100	30-60	18-19
30-40	0,8- 1,0	90-120	40-60	18-19
40-50	1,0- 1,2	100-150	40-70	18-20
50-70	1,2- 1,6	140-170	50-70	19-31
70-100	1,2- 1,6	160-200	60-80	20-21

Ход работы

1. В патрон переоборудованного под наплавочные процессы токарного станка установить подготовленную для восстановления деталь.
2. На суппорте станка установить газозлектрическую горелку полуавтомата.
3. Включить привод станка и отрегулировать обороты шпинделя и скорость подачи.
4. Выставить силу сварочного тока, скорость подачи электродной проволоки и расход газа CO_2 .
5. Провести пробную наплавку. Откорректировать выбранные режимы наплавки. Повторить процесс наплавки.

Вопросы для самопроверки

1. Какие газы могут использоваться для защиты зоны сварки?
2. Какие виды электродной проволоки применяются для сварки в среде CO_2 ?
3. Поясните устройство сварочного полуавтомата, работающего в среде CO_2 .
4. Какое оборудование необходимо для наплавки цилиндрических деталей?
5. Поясните технологию восстановления деталей наплавкой в среде CO_2 .

Литература

1. Баранов, Л.Ф. Техническое обслуживание и ремонт машин / Л.Ф. Баранов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2001. – 416 с.
2. Потапьевский, А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А.Г. Потапьевский. – Москва: Машиностроение, 1974. – 234 с.
3. Никифоров, Г.Д. Технология и оборудование сварки плавлением / Г.Д. Никифоров, Г.В. Бобров, В.М. Никотин. – Москва: Машиностроение, 1978. – 327 с.

Лабораторная работа № 9

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Цель работы: ознакомиться с принципиальной схемой и устройством установки для проведения восстановления деталей методом электрической дуговой металлизации.

Металлизация – один из способов восстановления деталей, сущность которого заключается в следующем. Расплавленный материал распыляется струей инертного газа или воздуха на частицы размером от 3 до 300 мкм и со скоростью 100-300 м/с наносится на специально подготовленную поверхность. Напылять частицы металла можно на поверхность деталей любой конфигурации. Металлизация позволяет получить слой металла толщиной от 0,10 до 10 мм с высокой производительностью процесса.

В зависимости от способа расплавления наносимого материала металлизацию называют электрической (расплавление электрической дугой или токами высокой частоты), газопламенной (расплавление газовым пламенем) и плазменной (расплавление плазменной струей).

Соединение металлизационного покрытия с основным металлом детали происходит за счет механических и частично молекулярных связей, а также вследствие усадки покрытия при охлаждении. Нанесенное покрытие представляет собой пористый, хрупкий слой металла сравнительно высокой твердости и низкой механической прочности. Слой хорошо пропитывается смазкой и в условиях небольших удельных нагрузок имеет высокую износостойкость. Но при больших удельных нагрузках на сдвиг и сжатие (зубья шестерен, кулачки распределительных валов, резьбы и т. п.), а также в условиях полного отсутствия смазки (тормозные барабаны и т. п.) металлизационное покрытие быстро разрушается (выкрашивается).

Теоретическая часть

Сущность процесса дуговой металлизации заключается в расплавлении двух проволочных электродов образующейся между ними электрической дугой и распылении расплавленного металла струей сжатого воздуха. Металлические частицы, попадая на покрываемую поверхность, сцепляются с ней, образуя сплошное покрытие, при этом толщина слоя регулируется производительностью распыления и скоростью перемещения покрываемой поверхности относительно металлизатора.

Прочность сцепления напыляемого слоя с основным металлом детали в большой степени зависит от подготовки поверхности. Поверхность под металлизацию тщательно очищают от грязи, влаги, окислов и обезжиривают. Прочное сцепление покрытия достигается главным образом за счет имеющихся на поверхности шероховатостей, которые создаются специальной обработкой.

Поверхность детали из пористого металла обезжиривают нагревом. Например, чугунные детали нагревают до температуры 200-250°C и выдерживают до полного удаления смазки в течение 2-8 ч.

Детали с односторонним износом подвергают предварительной механической обработке для получения правильной геометрической формы и равномерной толщины покрытия после окончательной обработки. Необходимой шероховатости поверхности добиваются пескоструйной обработкой, обдувкой металлической крошкой, нарезанием круглой и «рваной» резьбы, накаткой, а также электрическими способами.

Для повышения прочности сцепления наносимого слоя с основным металлом применяют в качестве промежуточного слоя смесь никеля с алюминием. При нанесении этой смеси, также способом металлизации, между никелем и алюминием происходит экзотермическая реакция, и протекает она довольно медленно. В момент удара наносимых частиц о поверхность детали и на самой поверхности их температура достигает 1450°C. В результате этого слой, состоящий из никеля, алюминия и их окислов, прочно приваривается к поверхности и образует очень хорошую шероховатость, которая создает условия для надежного сцепления последующего металлизационного слоя с этой поверхностью. Смесь никеля с алюминием применяют в виде порошка и порошковой проволоки, у которой оболочка выполнена из никеля, а в качестве наполнителя взят алюминиевый порошок.

Поверхности, не подлежащие металлизации, изолируют специальной пастой, бумагой, картоном или листовым железом. Отверстия, пазы, шпоночные канавки и аналогичные элементы закрывают деревянными или резиновыми пробками.

Поверхность лучше всего готовить непосредственно перед металлизацией. Чем меньше разрыв во времени между подготовкой и самим процессом металлизации, тем надежнее прочность сцепления нанесенного слоя.

Электродуговые аппараты серийно выпускаются в двух вариантах: для ручных и станочных работ. Для нанесения покрытий в этих аппаратах используется только проволока.

Проволока подается механизмами с приводом от пневматического или электрического двигателей.

Две изолированные одна от другой проволоки 1 (см. рис. 9.1) подаются с одинаковой скоростью специальным механизмом подачи 2. При выходе из наконечников 3 между проволоками зажигается электрическая дуга. Газ, подаваемый под давлением по каналу 4 в зону дуги 5, распыляет расплавленный металл на частички размером от 10 до 150 мкм (в зависимости от давления) и напыляет их на деталь 6. Скорость полета частиц составляет 140-300 м/с.

Аппарат ЭМ-14 – наиболее совершенная модель ручного электродугового металлизатора. Для привода механизма подачи проволоки диаметром 1,2-2,0 мм служит газовая турбина, которая плавно регулирует скорость подачи проволоки в пределах от 1 до 12 м/мин.

Аппарат ЭМ-17 предназначен для выполнения станочных работ. Он используется для нанесения покрытий из стали с целью восстановления и упроч-

нения различных деталей и механизмов, а также для нанесения антикоррозионных покрытий из цинка и алюминия. Проволока диаметром 1,5-3,0 мм подается механизмом с приводом от электродвигателя. Скорость ее подачи регулируется при помощи электронного регулятора.

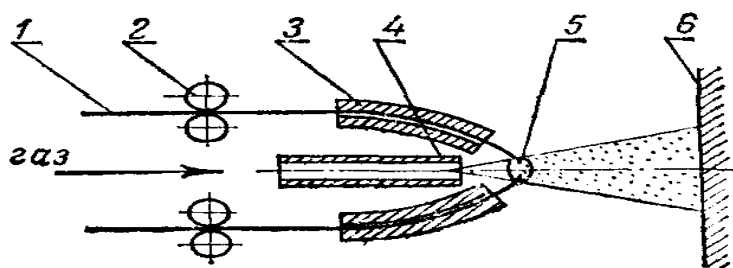


Рис. 9.1 Схема электродуговой металлизации:

1 – электродная проволока; 2 – механизм подачи проволоки;
3 – наконечник; 4 – канал газа; 5 – электрическая дуга; 6 – деталь

Электродуговая металлизация проста в эксплуатации, сравнительно экономична, позволяет достигать высокой производительности процесса. Однако имеет и недостатки: большие потери при напылении, значительное выгорание химических элементов и окисление наращиваемого металла. При наращивании цилиндрических деталей потери электродного материала достигают 40-60%. Главная причина таких потерь – большой угол конуса распыла. При использовании воздуха в процессе электродуговой металлизации выгорает до 35% углерода, до 40 – марганца и до 50 – кремния. Прочность покрытия на разрыв составляет 0,8-1,8 МПа. Применение азота вместо воздуха значительно снижает выгорание химических элементов и почти в 2 раза увеличивает прочность покрытия.

Устройство стационарного аппарата ЭМ-17

Аппарат (см. рис. 9.2) состоит из металлизатора, блока управления, рукавов для проволоки и кабелей.

В металлизатор входит привод, распылительная головка и воздухопровод. Регулирование скорости подачи проволоки производится тиристорным приводом, расположенным в блоке управления.

Привод металлизатора (см. рис. 9.3) состоит из электродвигателя, одноступенчатого червячного редуктора и рукавов для проволоки.

Подача проволоки осуществляется ведущими роликами, расположенными на валу червячного колеса за счет прижима проволоки прижимными роликами, поджимаемыми пружинами, при этом ручка, выступающая над кожухом, должна быть повернута влево.

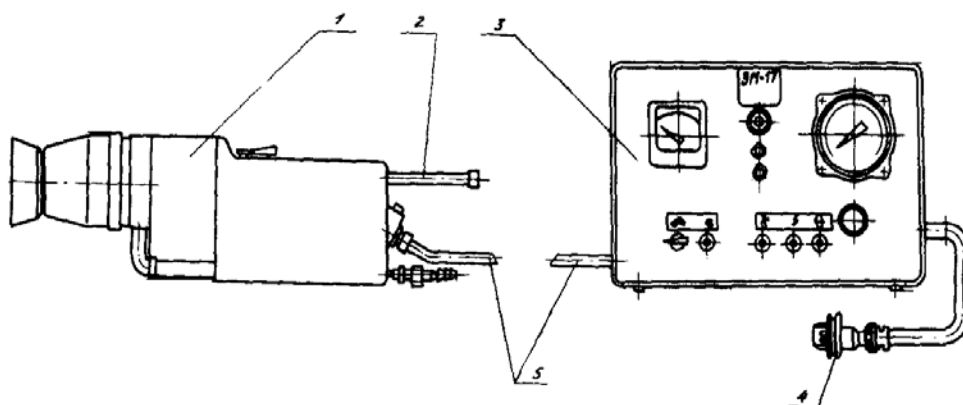


Рис. 9.2 Аппарат стационарный ЭМ-17:

1 – металлизатор; 2 – рукав для проволоки; 3 – блок управления; 4, 5 – кабели

На панели привода установлена кнопка «Наладка» для подачи проволоки при наладке металлизатора.

Головка распылительная через переходник крепится к корпусу привода металлизатора тремя винтами.

На изоляционной панели закреплена платформа с распределителями и токоподводящими вставками, через которые проходят распыляемые проволоки. При износе рабочего отверстия вставки она поворачивается на 90° и закрепляется через фиксатор накладной гайкой.

Токоподвод осуществляется через шины. Точность скрещивания проволок обеспечивается технологией изготовления.

Распыление расплавленного металла осуществляется струей сжатого воздуха через сопло. Для лучшего охлаждения токоподводов предусмотрена подача на них сжатого воздуха.

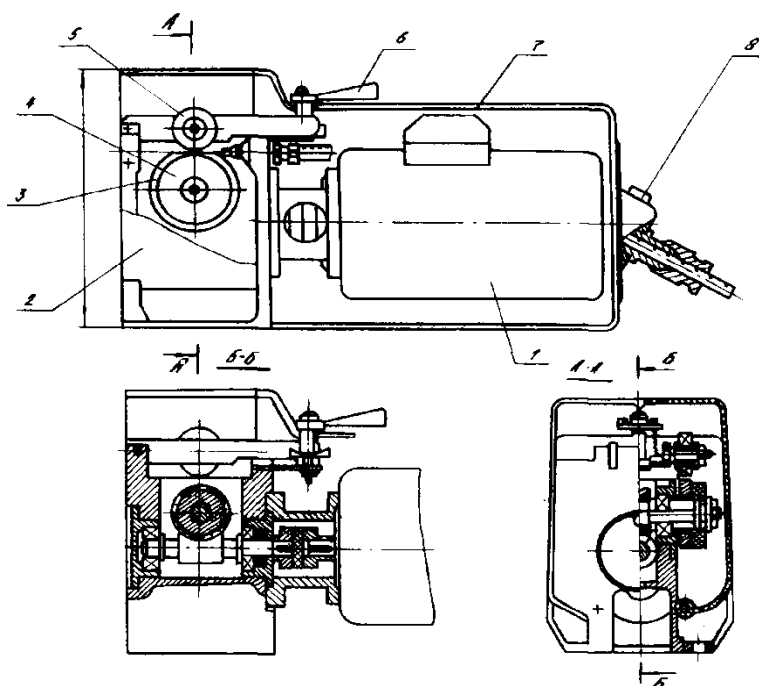


Рис. 9.3 Привод металлизатора:

1 – электродвигатель;
 2 – редуктор; 3 – ролик ведущий;
 4 – колесо червячное;
 5 – ролик прижимной; 6 – ручка;
 7 – кожух; 8 – кнопка

Блок управления обеспечивает: контроль давления сжатого воздуха, дистанционное включение источника тока, плавную регулировку скорости подачи проволоки.

Датчик-реле давления обеспечивает поддержание давления в рабочем режиме и отрегулирован на включение источника тока при достижении давления 0,35 МПа и отключение при давлении 0,3 МПа.

Технология напыления покрытий

Технология напыления металлических покрытий складывается из подготовки поверхности, напыления покрытий и, в случае необходимости, его последующей обработки.

Подготовка поверхности имеет целью удалить с нее всякого рода загрязнения и окисную пленку, а также придать ей возможно большую шероховатость.

Режим работы аппарата устанавливается в зависимости от источника электрического питания, применяемого металла, диаметра проволоки, давления сжатого воздуха и размеров изделия. С увеличением давления сжатого воздуха плотность покрытия возрастает и повышается стабильность работы аппарата.

Режим электродуговой металлизации предлагается следующий: переменный ток силой 110-250 А, постоянный – 55-160 А, напряжение 25-35 В, давление газа 0,4-0,6 МПа, расстояние от сопла до поверхности детали 80-100 мм, скорость перемещения детали 15-20 м/мин, продольная подача металлизатора при напылении круглых деталей 1-10 мм/об. Удельный расход электроэнергии с учетом подачи газа 2,7-3,5 кВт-ч/кг.

Напряжение на дуге устанавливается в зависимости от требований, предъявляемых к покрытию (табл. 9.1).

Таблица 9.1 Рекомендованные интервалы напряжений

Материал проволоки	Интервал напряжений, В
Цинк	17-24
Алюминий и его сплавы	23-35 до 40
Сталь	25-35

Если антикоррозионное покрытие из цинка и алюминия работает в обычных условиях, то напыление следует производить на возможно меньшем напряжении, в этом случае коэффициент использования металла при распылении будет наибольшим. Для алюминиевых покрытий, работающих в тяжелых условиях, напыление рекомендуется производить на повышенном напряжении. Величина рабочего тока примерно пропорциональна выбранной производительности напыления.

Расстояние от точки плавления проволоки до металлируемой поверхности следует выдерживать в пределах 80-100 мм.

Толщина слоя при напылении покрытий на плоские поверхности не должна превышать 0,5 мм. Для тел вращения при восстановлении изношенных поверхностей или при нанесении антифрикционных покрытий толщина слоя может быть несколько миллиметров.

Ход работы

Произвести металлизацию тела вращения для чего:

1. Установить деталь в патрон, модернизированного соответствующим способом, токарного станка и поджать задним центром.

2. Установить необходимые обороты шпинделя и подачу суппорта.

Включение аппарата в работу провести в следующей последовательности:

1. Концы проволок развести или откусить, чтобы они были разомкнутыми.

2. Включить тумблером сеть.

3. Открыть вентилем подачу воздуха.

4. Включить тумблером напряжение дуги (при этом включение напряжения заблокировано с датчиком-реле давления).

5. Включить тумблером подачу проволоки.

Остановку аппарата провести в следующей последовательности:

1. Отключить подачу проволоки.

2. Отключить ток.

3. Закрыть подачу сжатого воздуха.

4. Отключить сеть.

Осмотреть и обмерить поверхности, восстановленные металлизацией.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните, что такое металлизация?

2. Как подразделяются методы металлизации в зависимости от метода расплавления наносимого металла?

3. Как готовится поверхность деталей под металлизацию?

4. Какие недостатки свойственны электродуговой металлизации?

5. С какой целью перед металлизацией на восстанавливаемую поверхность наносят слой никеля с алюминием?

Литература

1. Кравцов, Т.Г. Восстановление деталей при ремонте судов / Т.Г. Кравцов, В.П. Сторожев. – Москва: Транспорт, 1981. – 119 с.

2. Ландо, С.Я. Восстановление автомобильных деталей / С.Я. Ландо. – Москва: Транспорт, 1987. – 112 с.

3. Бабусенко, С.М. Современные способы ремонта машин / С.М. Бабусенко, В.А. Степанов. – Москва: Колос, 1977. – 270 с.

Лабораторная работа № 10

НАПЫЛЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: изучить устройство установки УГПЛ-П, принцип её работы и технологию нанесения полимерных покрытий.

Теоретическая часть

Пластмассы нашли широкое применение в качестве антикоррозионных, влагозащитных, декоративных, износостойких, ударопрочных и других покрытий на металлических изделиях, тканях, бумаге, дереве, стекле, бетоне и других материалах. С использованием полимеров в качестве покрытий выпускаются в серийном и массовом производстве: кожзаменители; клеенка; моющиеся обои; дублированная пленками тароупаковочная бумага; линолеум; химическая аппаратура; трубы и запорная арматура к ним; ставинил – листовая сталь, покрытая с одной или двух сторон поливинилхлоридной пленкой; стойкая к ударам стеклотара для аэрозольной упаковки и хранения агрессивных химических продуктов и многое другое.

Особо важное значение придается антикоррозионным пластмассовым покрытиям для защиты черных металлов. Подсчитано, что около одной пятой мировой добычи черных металлов гибнет от коррозии. А существующие лакокрасочные и гальванические покрытия не являются высоконадежной защитой от коррозии. Гальванические покрытия нестойки к кислотам, щелочам, их нанесение трудоемко и связано с использованием дефицитных материалов (цветных металлов и химикатов). Лакокрасочные покрытия неустойчивы к удару, износу; их пленки при разовом покрытии слишком тонки: 50-80 мкм, в то время как для обеспечения надежной защиты металлов от атмосферных воздействий они должны быть толщиной 150-250, а от воздействия жидких агрессивных сред 300 мкм.

Пластмассовые покрытия дешевле и более устойчивы к агрессивным средам, чем гальванические. Например, покрытие из полиэтилена стойко ко всем концентрированным щелочам, кислотам (кроме азотной), а фторопластовые – к большинству агрессивных сред.

Пластмассовые покрытия прочнее и долговечнее лакокрасочных. Требуемая толщина пластмассового покрытия в большинстве случаев получается за один прием. А при производстве покрытий на некоторых усовершенствованных установках, с использованием передовых методов нанесения, они дешевле лакокрасочных в 1,2 раза и гальванических в 2-3 раза.

Пластмассовые покрытия могут служить одновременно прочным электроизоляционным слоем.

Покрытия из порошков. Для нанесения покрытий на металлы и другие теплоемкие и термостойкие материалы применяются многие термопласты, выпускаемые в виде гранул и порошков. Используемые для покрытий пластмассы должны иметь хорошую растекаемость при оплавлении на горячей поверхности

металла, удовлетворительную термостабильность и хорошую адгезию. Порошки должны быть тонкодисперсными с размерами частиц не более 0,25 мм. Удовлетворительные по физико-механическим показателям и внешнему виду покрытия получают из порошков, приведенных в табл. 10.1.

Таблица 10.1 Свойства порошкообразных пластмасс, применяемых для нанесения покрытий на металлы

Полимер	Размер частиц, мкм	Коэффициент разбухания слоя	Температура плавления, °С	Температура нагрева, металла перед напылением, °С	Показатель адгезии к стали, кгс/см ²
Поливинилбутираль	160-300	1,35-1,55	160-167	320-340	275
Полипропилен	200	1,3	164-170	320-350	42
Полиэтилен	200-350	1,45	120	320-360	34
Поликапролактан	100-200	1,45	215	240-370	-

Качество покрытий из порошкообразных полимеров определяется соответствующим внешним видом, адгезией к подложке, прочностью на удар и сплошностью покрытия.

Покрытия из порошков наносят следующими способами: 1) вихревым; 2) струйным; 3) электростатическим.

Струйный способ применяется в двух разновидностях: газопламенный и холоднотруйный, в одном и другом случаях может применяться установка УГПЛ-П.

При газопламенном способе порошок полимера из бачка сжатым воздухом по шлангу через пламя горелки, где он расплавляется, выбрасывается в виде капель расплава на предварительно нагретую поверхность металлического изделия, образуя при этом сплошное пленочное покрытие.

При холоднотруйном способе ацетилен в горелку не подается и порошок выходит из нее холодным. Изделие перед покрытием нагревают несколько выше температуры плавления полимера. Порошок прилипает к горячей поверхности изделия и за счет избытка тепла оплавляється в сплошную пленку.

Чаще применяется газопламенный способ.

Устройство и принцип работы установки УГПЛ-П

Принцип работы установки УГПЛ-П заключается в том, что порошок, транспортируемый воздухом, пропускается через факел пламени. Частицы порошка, проходя через пламя, нагреваются до пластического состояния и при ударе о специально подготовленную поверхность, сцепляются с ней, образуя покрытие. Установка состоит из аппарата газопламенного напыления (горелки), питателя, редукторов и шлангов. На рис. 10.1 приведена схема соединения установки.

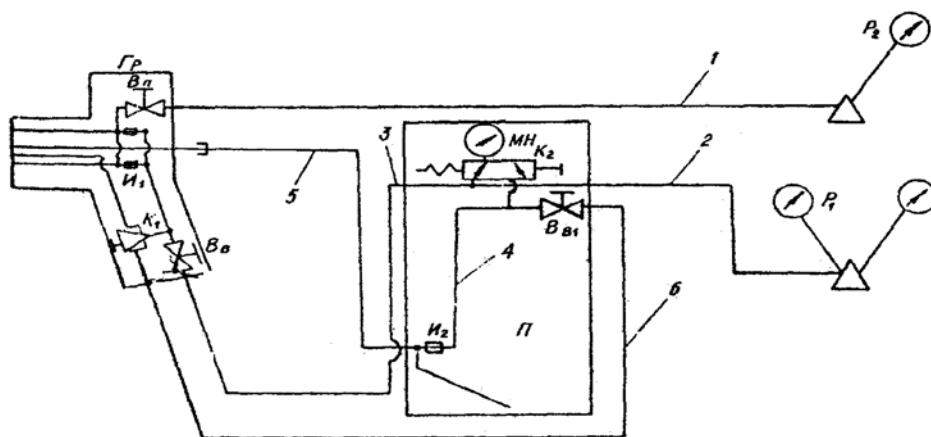


Рис. 10.1 Принципиальная схема соединения:

Гр – горелка; И₁, И₂ – инжекторы; П – питатель порошковый;
 К₁ – клапан перепуска; К₂ – клапан переключения канала;
 МН – манометр МТ-1 кл. 1.0-10 кгс/см²; Р₁ – редуктор кислородный;
 Р₂ – редуктор пропановый; В_п, В_в, В_{в1} – вентили; 1 – шланг пропановый;
 2, 3, 4, 6 – шланги воздушные; 5 – трубка порошковая

Аппарат газопламенного напыления (горелка) (рис. 10.2) состоит из корпуса горелки с свернутыми в него двумя инжекторами, ствола для подачи порошка, сопла, пропанового и воздушного вентилялей, рукоятки со встроенным в нее курком и клапаном перепуска и штуцером.

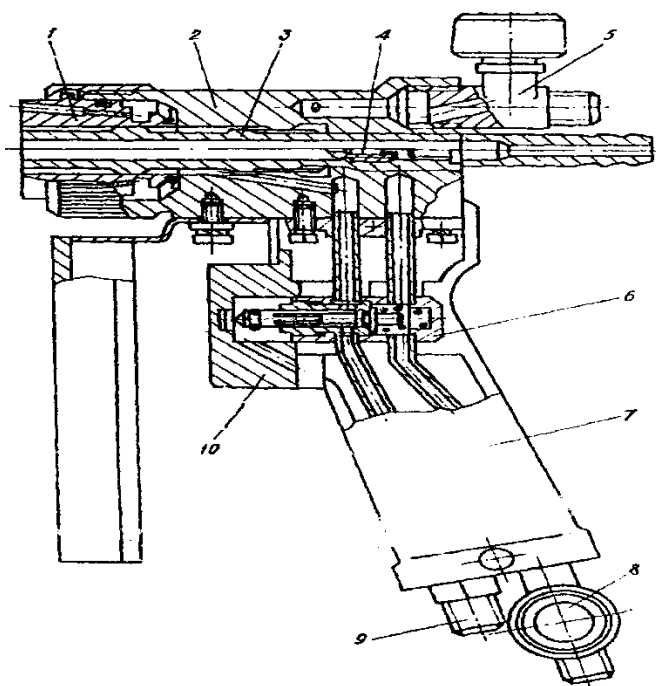


Рис. 10. 2 Горелка распылительная:

1 – сопло; 2 – корпус горелки;
 3 – ствол для подачи порошка;
 4 – инжектор; 5 – вентиль пропановый;
 6 – клапан перепуска; 7 – рукоятка;
 8 – вентиль воздушный;
 9 – штуцер; 10 – курок

Сжатый воздух, поступая на два инжектора в корпусе горелки, подсасывает пропан и, смешиваясь с ним, выходит из газового мундштука по 24 отверстиям. Расход воздуха и пропана регулируется вентилями в корпусе горелки и рукоятке. При нажатии курка сжатый воздух через клапан перепуска поступает на инжекторный узел питания.

Питатель (рис. 10.3) состоит из корпуса и крышки бачка. Снаружи в нижней части корпуса бачка расположен инжекторный узел, который состоит из корпуса, смесительной камеры, инжектора, заборника и демпфера. Инжекторный узел установлен в корпусе бачка таким образом, что образует зазор 10 мм между днищем бачка и заборником. На уровне среза заборника в обечайке бачка установлены дюзы дюзы.

Сжатый воздух, поступая на инжектор питателя, создает в заборнике разрежение, вследствие чего происходит подсос воздуха из атмосферы через дюзы, и порошок транспортируется через смесительную камеру по полимерному шлангу в горелку.

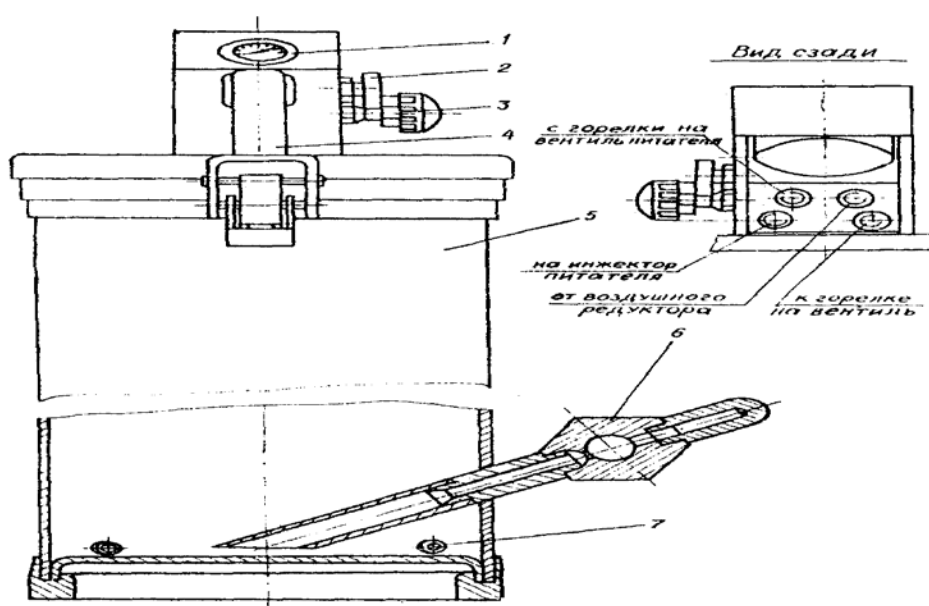


Рис. 10.3 Питатель:

- 1 – манометр; 2 – клапан переключения канала; 3 – вентиль воздушный;
4 – крышка бачка; 5 – корпус бачка; 6 – узел инжекторный; 7 – дюза

В крышке питателя вмонтирован манометр с клапаном переключения канала и воздушный вентиль, позволяющий регулировать подачу порошка в горелку. Клапан переключения канала позволяет при нажатии штока контролировать давление сжатого воздуха, идущего на инжектор порошкового питателя. В свободном положении контролируется давление воздуха, подводимого к горелке.

Применяемые газы и материалы для нанесения покрытий

Для работы установки необходимы: сжатый воздух, пропан-бутан, материал для нанесения покрытия. Сжатый воздух, предварительно очищенный от влаги и масла с помощью постового масловодоотделителя, подводится под давлением 300-600 кПа (3-6 кгс/см²) от общезаводской сети или от самостоятельного компрессора. Пропан-бутан должен подаваться под давлением 50-150 кПа (0,5-1,5 кгс/см²).

Применяемый материал для нанесения покрытия должен быть в мелкоизмельченном виде, порошок сухим, не содержать комков и свободно просеиваться через сита. Порошки, склонные к слеживанию, перед загрузкой обязательно повторно просеять.

Для покрытий пригодны материалы, которые обладают способностью при нагреве размягчаться и имеют значительный температурный интервал между началом пластического размягчения и началом разложения. Такими материалами являются: поливинилбутираль, полистирол, полиэтилен, полиамиды и некоторые композиционные смеси на их основе (ПФН-12, ТПФ-37 и др.).

Подготовка к работе

Прежде чем приступить к работе на установке, необходимо подсоединить ее в соответствии со схемой рис. 10.1. Присоединить редуктор кислородный и пропановый к источникам питания, затем соединить шлангами редукторы, горелку и питатель. Установить кислородным редуктором давление воздуха 300-600 кПа (3-6 кгс/см²). Проверить разрежение в пропановом канале. В рабочих условиях разрежение обычно проверяют прикосновением пальца к пропановому штуцеру горелки. Прилипание пальца достаточно ощутимо. Подсоединить пропановый шланг к горелке. Установить пропановым редуктором давление пропана 50-150 кПа (0,5-1,5 кгс/см²). Засыпать порошок в питатель и закрыть плотно крышку.

Порядок работы

Открыть незначительно воздушный вентиль в рукоятке горелки, затем пропановый вентиль в корпусе горелки.

Зажечь горючую смесь и отрегулировать пламя.

Нажать курок горелки и плавно отрегулировать вентилем в крышке бачка требуемую производительность.

Для кратковременного прекращения подачи порошка отпустить курок.

При кратковременных перерывах в работе погасить пламя, закрыв сначала пропановый, а затем воздушный вентиль горелки, и в конце закрыть вентиль в крышке питателя.

При длительной остановке сбросить давление на редукторах.

Технология нанесения покрытия

Технология нанесения покрытий, складывается из подготовки поверхности, нанесения покрытия и, в случае необходимости, последующей обработки покрытой поверхности.

Обычным средством подготовки поверхности изделий со сложной конфигурацией является очистка ее от загрязнений, снятие окисной пленки и придание поверхности шероховатости с помощью дробеструйной обработки. При этом сжатый воздух должен быть очищен от влаги и масла.

Подготовленную поверхность следует покрывать пластмассами не позднее двух часов после окончания подготовки. При нанесении покрытия мощность пламени необходимо регулировать таким образом, чтобы частицы порошка не возгорались и в то же время имели температуру, достаточную для сцепления с покрываемой поверхностью.

Горелка устанавливается под углом 70-90° к покрываемой поверхности на расстоянии 100-150 мм, скорость перемещения должна быть такой, чтобы толщина напыленного слоя за один проход была не более 0,3 мм.

Ход работы

1. Подготовить опытные образцы согласно разделу «Технология нанесения покрытия».
2. Подготовить установку УГПЛ-П согласно разделу «Подготовка к работе».
3. Нанести покрытие согласно разделу «Порядок работы».

Вопросы для самопроверки

1. Поясните для чего применяются покрытия пластмасс на металлах.
2. Какие термопласты используются в качестве напыляемых покрытий?
3. Какими способами наносят порошковые покрытия на металлы?
4. Какие существуют разновидности нанесения покрытия струйным способом?
5. Как определяется качество нанесенных порошкообразных полимеров, используемых в качестве покрытия?

Литература

1. Яковлев, А.Д. Технология изготовления изделий из пластмасс / А.Д. Яковлев. – Ленинград: Химия, 1968. – 304 с.
2. Дубасов, А.А. Применение пластмасс при ремонте строительных машин / А.А. Дубасов. – Москва: Стройиздат, 1965. – 195 с.

Лабораторная работа № 11

ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕМ

Цель работы: изучение возможностей по использованию пайки электросопротивлением для соединения различных металлов и сплавов.

Пайка электросопротивлением – традиционный и широко применяемый процесс при изготовлении изделий в серийном и массовом производстве, протекающий за счет теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока через паяемые детали и токоподводящие элементы, при этом соединяемые детали служат частью электрической цепи. Так как наибольшее переходное сопротивление имеет место между соединяемыми поверхностями, то на этом участке выделяется наибольшее количество теплоты, поддающееся регулированию для осуществления процесса.

Нагрев электросопротивлением осуществляют ручными клещами, на машинах для контактной сварки, специальных устройствах и в электролитах.

Теоретическая часть

Пайка ручными клещами. Ни один способ локального нагрева до высокой температуры не обладает такой гибкостью, как нагрев электросопротивлением с помощью ручных клещей. Роль и значение такого нагрева особенно проявляются при пайке в монтажных условиях, а также при невозможности перемещения изделия к стационарному нагревательному оборудованию и необходимости соединения элементов конструкции в труднодоступных местах.

Пайка на машинах для контактной сварки. Если ручные клещи для пайки электросопротивлением нашли применение для соединения немассивных деталей, то при больших объемах выпуска изделий разной толщины, элементов или конструкций с материалами, имеющими разные теплофизические свойства, чаще всего применяют сварочное оборудование — машины для контактной сварки.

При пайке электросопротивлением на контактных сварочных машинах передаваемые давления обеспечивают электрический контакт и выдавливание расплавленного припоя и продуктов флюсования из зоны шва. Благодаря такой особенности процесса образуются соединения с узкой зоной кристаллизации, сравнительно большой плотностью металла шва и, что особенно важно, для работы изделий в тяжелых условиях эксплуатации (динамических и знакопеременных нагрузках) – с плавными галтелями припоя по всему периметру соединения.

Пайка на специальных установках. Для производства изделий в промышленных масштабах используют специальные полуавтоматические установки пайки электросопротивлением в контролируемой среде. Напряжение между электродами регулируется трансформатором. Паяемый узел с двумя графитовыми нагревателями вставляют между электродами на неподвижном основании

с изолирующей прокладкой. Сверху пакет сжимают подвижным штоком, под действием которого происходит сжатие деталей при плавлении припоя. Для предотвращения окисления в зону пайки подается углекислый газ с парами спирта, поступающий из специального резервуара.

Нагрев в электролите, также относится к нагреву сопротивлением. В последнем случае тепловой эффект возникает за счет высокого электрического сопротивления водородной оболочки, образующейся вокруг паяемого узла (катода), погруженного в электролит. При этом методе нагрева ток, протекая через электролит, вызывает разложение воды. На детали образуется водородная оболочка с большим сопротивлением, проходя через которую ток разогревает деталь. Скорость нагрева зависит от состава и концентрации электролита, а также от напряжения и плотности тока.

Технология пайки

Пайка представляет собой процесс соединения металлов, находящихся в твёрдом состоянии, посредством расплавленного присадочного металла, называемого припоем и имеющего температуру плавления, меньшую температуры плавления основного металла. Пайка представляет некоторое сходство со сваркой плавлением; отличием служит отсутствие расплавления основного металла, всегда имеющегося при сварке плавлением. На практике не всегда возможно провести границу между этими двумя методами, так как существуют промежуточные процессы, например, при изготовлении медных и латунных изделий, соединяемых медными припоями, при которых часто трудно определить, относятся ли они к сварке или пайке. В процессе пайки существенное значение имеют взаимное растворение и диффузия основного металла и припоя.

Припой должен хорошо смачивать основной металл, легко растекаясь по его поверхности, и, кроме того, удовлетворять ряду технических и экономических требований, быть дешёвым и недефицитным. Обычно припои представляют собой сплавы различных цветных металлов, иногда довольно сложного состава. Большое значение для припоев представляют сплавы эвтектического состава, имеющие, помимо пониженной температуры плавления, минимальный интервал между температурами начала и конца плавления, что часто весьма желательно. Тесное соприкосновение жидкого припоя с основным металлом и хорошее смачивание его поверхности возможны лишь при полной чистоте последней.

Для растворения и удаления окислов и загрязнений с поверхности металла, защиты его от окисления, уменьшения поверхностного натяжения, улучшения смачиваемости и растекания припоя служат флюсы. Они применяются при пайке весьма широко и часто играют исключительно важную роль. В большинстве случаев пайка без соответствующего флюса практически невыполнима. Флюсы для пайки, имеющие разнообразные, часто довольно сложные составы, должны полностью расплавляться и проявлять активное химическое и физическое действие при сравнительно низких температурах пайки. Процесс пайки, не требующий высоких температур, известен давно и широко применяется на

практике. В последние годы в процесс пайки, в составы припоев и флюсов внесены многочисленные существенные улучшения и усовершенствования, которые открывают новые возможности широкого внедрения пайки в различные отрасли промышленности. В ряде случаев пайка начинает вытеснять другие способы соединения металлов, в том числе иногда и сварку.

К преимуществам пайки относятся отсутствие расплавления и незначительный нагрев основного металла, что обеспечивает неизменность его химического состава, сохранение структуры и механических свойств. Пайка во многих случаях даёт чистые соединения хорошего внешнего вида, не требующие какой-либо последующей обработки, позволяет сохранять точные размеры и форму изделий и во многих случаях обеспечивает получение соединений равнопрочных основному металлу, при отсутствии заметных внутренних напряжений. Эти преимущества, в связи с дешёвизной процесса и возможностью широкой его механизации и автоматизации, обеспечивают широкое промышленное использование процессов пайки.

К недостаткам способа следует отнести возможность перегрева контактирующих поверхностей массивных деталей, например медных массивных проводников, вследствие чего происходит неравномерный нагрев паяемого соединения: возникает нестабильность контакта электрод – деталь, трудности в воспроизведении постоянного режима, неравномерности в подводе теплоты, из-за прерывистого включения источника питания для предотвращения перегрева угольных электродов.

Современные методы пайки весьма разнообразны и охватывают все марки углеродистых и легированных сталей, в том числе инструментальных и нержавеющей, твёрдые сплавы, серые и ковкие чугуны, все цветные металлы и их сплавы, благородные и редкие металлы и т. д., причём в широких пределах возможна прочная пайка разнородных металлов.

Процесс пайки можно разделить на два основных вида: пайка твёрдыми припоями и пайка мягкими припоями.

Оба вида пайки различаются прежде всего температурой плавления припоев: к твёрдым припоям обычно относят припой с температурой плавления выше 500°C , мягкие припои имеют температуру плавления ниже 400°C . Твёрдые припои обладают значительной механической прочностью и могут иметь предел прочности при растяжении до 50 кг/мм^2 ; мягкие припои обычно имеют предел прочности не выше $5\text{-}7\text{ кг/мм}^2$. Указанное деление припоев на твёрдые и мягкие не имеет особого принципиального значения, и применяется в целях практического удобства.

Электрическая пайка сопротивлением может выполняться на нормальных сварочных контактных машинах или на специальных электрических аппаратах для пайки. Нагрев места пайки производится пропусканием через него тока большой силы. Ток получается от низковольтного трансформатора, встроенного в корпус аппарата для пайки и составляющего с ним одно целое.

Более универсальными электрическими аппаратами для пайки являются аппараты, работающие по способу горячего контакта между угольным или графитным электродом и изделием. Такой аппарат состоит из двух основных ча-

стей: понижающего трансформатора, подвижного или стационарного, и клещей для пайки, соединяемых с зажимами трансформатора гибкими проводами, которые могут иметь значительную длину, что придаёт установке гибкость и универсальность применения.

Понижающий трансформатор изготавливается по типу трансформаторов для электрических контактных сварочных машин. Первичная обмотка трансформатора делается секционированной, что даёт возможность регулировать напряжение вторичной обмотки и рабочую силу тока путём переключения витков первичной обмотки, как это делается в контактных машинах. Первичная обмотка трансформатора включается в электрическую цепь контактором с кнопочным управлением. Кнопка включения помещается на ручке паяльных клещей (рис. 11.1) или выносится в форме отдельной переносной педали. Рабочие токоподводящие контакты паяльных клещей выполнены в форме сменных блоков. Зажатие детали производится зажимным винтом, включение нагревающего тока – кнопкой на ручке клещей. Рабочие токи для пайки обычно находятся в пределах 500-1000 А.

Паяльные клещи присоединяются ко вторичной обмотке трансформатора гибкими проводами достаточного сечения и требующейся длин (обычно до 2-3 м).

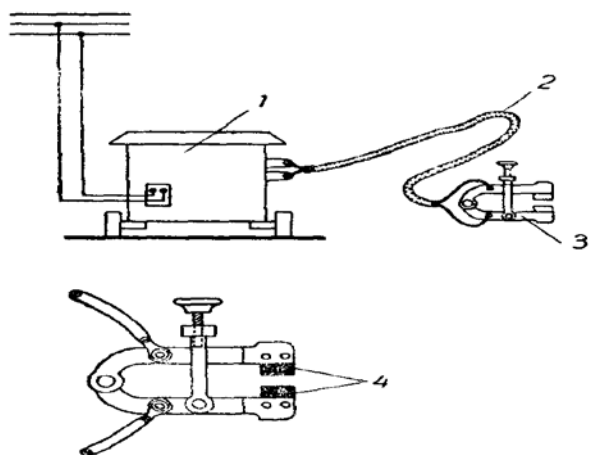


Рис. 11.1 Схема электрического аппарата для пайки с использованием паяльных клещей:

1 – питающий трансформатор; 2 – гибкий кабель; 3 – паяльные клещи; 4 – графитовые или угольные контакты

Нагрев в процессе пайки сопротивлением осуществляется за счет выделения тепла при протекании электрического тока через паяемую деталь, установленную между электродами. В случае применения графитовых электродов она дополнительно нагревается от раскаленных электродов.

Пайка с применением нагрева сопротивлением на контактных машинах легко поддается автоматизации. Контактные машины могут устанавливаться в поточную линию.

Схема установки для контактной пайки приведена на рис. 11.2. Переменный ток (2000-3000А, 5-8В) от вторичной обмотки трансформатора 5 подводится к электродам 2, между которыми зажимается паяемая деталь 1. Верхний электрод подвижный. При нажатии педали 3 верхний электрод опускается и сжимает паяемые детали, контакт 4 замыкается и включается ток. Регулирование величины давления на электроды осуществляется специальным устройством 6.

При пайке методом сопротивления при зажатии паяемых деталей в электроды из-за неровностей на поверхности электродов и деталей, а также наличия флюса нагрев может быть неравномерным. Для более плавного нагрева ток иногда пропускают через одну из паяемых деталей, а вторая нагревается за счет теплопроводности. Такой способ пайки нашел особенно широкое применение при соединении пластин твердого сплава с корпусом инструмента. В этом случае ток пропускается только через стальной корпус, от которого нагревается пластинка твердого сплава. Этот метод нагрева позволяет без особых затруднений паять на контактных машинах детали из разнородных материалов, а также детали с большой разницей в толщинах соединяемых элементов.

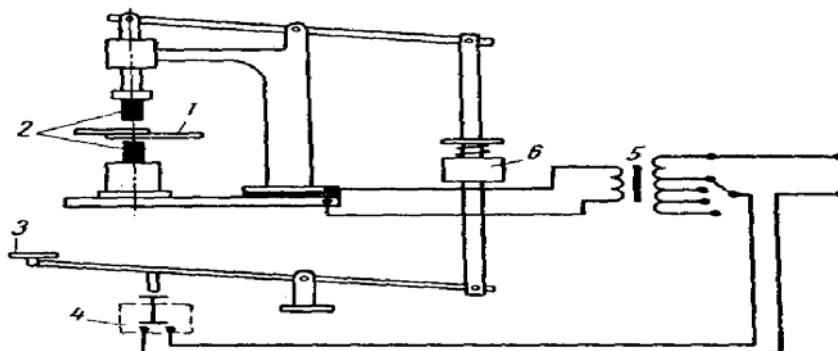


Рис. 11.2 Схема установки для контактной пайки

Нагрев при пайке может быть осуществлен как при прохождении тока параллельно паяемому зазору, так и перпендикулярно к нему.

Если электрический ток течет параллельно паяльному зазору и металл соединяемых деталей нагревается только теплотой от нагретого электрода, то создаются наиболее стабильные условия пайки. При этом давление на паяемые детали не оказывает особого влияния на их нагрев и может регулироваться независимо от него. При такой разновидности пайки электросопротивлением можно использовать переменный ток небольшого напряжения (2,4-10 В). Плотность тока при этом зависит от площади поперечного сечения нагреваемой детали: с увеличением площади поперечного сечения плотность тока снижается.

Нагрев паяемых деталей током, проходящим поперек паяльного зазора, происходит главным образом вследствие возникновения переходного электросопротивления на границе паяемых деталей и припоя и может быть более неравномерным и труднорегулируемым. Для такого нагрева наиболее пригоден ток малого напряжения и большой силы.

Величина переходного электросопротивления при одинаковом токе и времени нагрева зависит от площади и плотности прилегания электроконтактов, а следовательно, от величины давления на детали. После расплавления припоя переходное электросопротивление резко снижается, и дальнейший нагрев происходит за счет электросопротивления материала деталей и жидкого припоя (для металлов возрастающего с повышением температуры).

Выбор материала электродов определяется рядом факторов: материалом паяемых деталей, их сечением, величиной переходного сопротивления паяемого металла и требуемого давления на электроды. Для медных деталей малого

сечения применяют электроды из графита, для пайки нелегированных сталей с повышенным электросопротивлением – электроды из меди, жаростойкой стали.

При использовании графитовых электродов, вследствие их относительной хрупкости, необходим более слабый прижим места пайки. При нагреве деталей одинаковой толщины, но из материалов с разными физическими свойствами, используют электроды с хорошей теплопроводностью и высокой температурой плавления, а при различной толщине и одинаковых физических свойствах со стороны более тонкой детали устанавливают электрод с более высоким электросопротивлением. Для повышения долговечности электродов на их поверхности напыляют слой хрома или молибдена. При пайке в ручных клещах угольные электроды для ограничения их чрезмерного расхода покрывают слоем хромистой стали.

При нагреве деталей из металлов с различной теплопроводностью и электрической проводимостью, особенно в труднодоступных местах, пайку можно проводить, подводя электрический ток к графитовой или нихромовой пластине и установив на нее паяемое изделие. Обжим места спая возможен специальными прижимами, не включенными в общую электрическую цепь.

Схема расположения электродов, паяемых деталей и припоя дана на рис. 11.3.

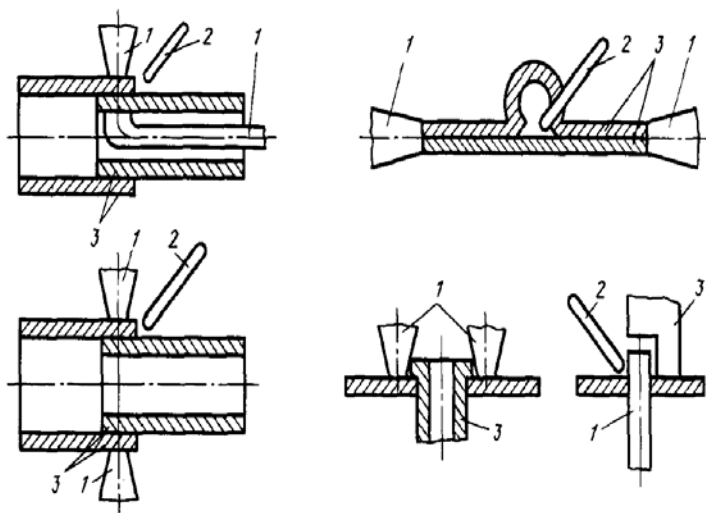


Рис. 11.3 Схема расположения электродов (1), припоя (2) и паяемых деталей (3) при пайке электросопротивлением

Наиболее удобно применять припой в виде проволоки, так как фольга, уложенная в зазор, может пружинить и не обеспечивает надежного электроконтакта при прохождении тока. При достаточном прижме между соединяемыми деталями укладывают припой, покрытый флюсом, или используют паяемый металл, плакированный припоем, который покрывают флюсом. Для увеличения переходного электросопротивления при пайке металла, покрытого припоем, между деталями укладывают пористый металлический вкладыш и сжимают их осевым давлением.

Изготовлены машины для пайки электросопротивлением с регулируемой температурой и возможностью автоматического поддержания параметров в течение 1,5-10 с. Мощность таких машин 2 и 5 кВт. На них паяют термостаты, детали измерительных приборов, мембраны и арматуру точных механических устройств, переключателей, штепселей, твердосплавного инструмента, оптиче-

ских приборов и др. При монтаже интегральных схем и микроминиатюрных контактных деталей находит применение импульсная пайка легкоплавким припоем.

Ход работы

1. Установить между рабочими электродами ручных клещей державку резца.
2. Обеспечить гарантированное давление электродов на заготовку.
3. Насыпать в зону пайки порошок припоя с флюсом.
4. Поместить поверх самофлюсующегося припоя твердосплавную пластину.
5. Включить ток и провести пайку (дождаться равномерного растекания припоя между соединяемыми поверхностями).

Вопросы для самопроверки

1. Какие способы пайки электросопротивлением применяются в промышленности?
2. Какими основными свойствами должны обладать припой и флюсы?
3. Какие преимущества имеет пайка перед другими способами получения неразъемных соединений?
4. Какие особенности имеет пайка при прохождении тока параллельно паяемому зазору и перпендикулярно к нему?
5. Как выбирают материал электродов для пайки электросопротивлением?

Литература

1. Лашко, С.В. Пайка металлов / С.В. Лашко, Н.Ф. Лашко. – Москва: Машиностроение, 1988. – 376 с.
2. Гржимальский, Л.Л. Технология и оборудование пайки / Л.Л. Гржимальский, И.И. Ильевский. – Москва: Машиностроение, 1979. – 240 с.

Учебное издание

Марк Борисович Лещинский

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Редактор Е. Билко

Подписано в печать 27.05.2014 г. Формат 60x90 (1/16). Уч.-изд. л. 5,2.
Печ. л. 4,8. Тираж 50 экз. Заказ № 33.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1