

УДК 621. 791.G21.73

Богуцкий А. А., Власов А. Ф., Грановская Н. А.

ВИБРОДУГОВАЯ НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ

Технологический процесс вибродуговой наплавки основан на применении в качестве источника тепла искрового разряда при питании от специальной электрической схемы с конденсатором, подключенному параллельно к разрядному промежутку, или дуги очень малой длительности (тысячные доли секунды).

При каждом импульсе тока расплавляется и переносится с плавящегося электрода на изделие некоторое количество металла. Повторное возбуждение разряда производится путём прикосновения электрода к изделию и отвода его на некоторое расстояние (с помощью вибраторов различных конструкций). Выполняется оно специальной головкой, которая в процессе наплавки периодически замыкает и размыкает электрическую цепь в месте контакта электродной проволоки с наплавляемой деталью, при этом конец проволоки постоянно вибрирует. Процесс наплавки состоит с довольно коротких и непрерывно повторяемых циклов, каждый из которых можно разбить на три части:

1) короткое замыкание электрода с наплавляемой поверхностью. При коротком замыкании напряжение в сварочной цепи падает до нуля, а ток возрастает до 1000 А (при средней величине тока 160 А). При размыкании образуется дуга, напряжение достигает 28...30 В и происходит оплавление поверхности изделия и плавление электрода;

2) размыкание цепи, при которой возможно образование кратковременной дуги. При частоте тока вибратора 50 Гц продолжительность одного полного цикла равняется 0,01 с. Из этого времени 65...70 % приходится на холостой ход, поэтому коэффициент полезного действия процесса наплавки довольно низкий;

3) подача электрода к изделию.

Из электроимпульсных способов наибольшее распространение получила вибродуговая наплавка. Этот способ освоен для восстановления деталей на многих ремонтных заводах. Создана необходимая аппаратура и разработана технология восстановления деталей широкой номенклатуры [1–3].

Этот способ целесообразно применять при наплавке деталей малых диаметров (до 40 мм), тонких слоёв металла (0,5...1,0 мм), термически обработанных деталей, когда наличие дефектов не оказывает существенного влияния на свойства обрабатываемой поверхности и обеспечивается минимальная деформация.

При вибродуговой наплавке химический состав, структура и свойства наплавленного металла неоднородны; колебание твердости могут составлять 27...60 HRC, а потери электродного металла на разбрызгивание – от 8 до 25 %.

На рис. 1 приведена принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки. Во время наплавки (рис. 1) электродная проволока 4 непрерывно подаётся из кассеты 5 роликами 3 через вибрирующий мундштук 9, который придаёт концу электродной проволоки колебания в пределах 1,5...2,5 мм.

При таком колебании и происходит замыкание и разрыв электрической цепи в месте контакта конца электродной проволоки с наплавляемой

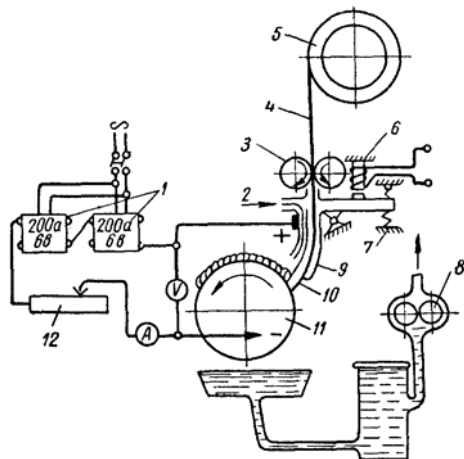


Рис. 1. Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки

деталью 10. Колебания осуществляются электромагнитом 6 и регулируются пружиной 7 или изменением напряжения в катушке электромагнита вибратора с помощью автотрансформатора. Сварочная цепь питается током от источника питания 1 через сопротивление 11. Охлаждающий раствор из бака нагнетается насосом 8 в шланг 2 и затем в мундштук вибратора 9.

Головка обеспечивает подачу электрода к изделию и его вибрацию вдоль оси электродной проволоки. Применяются механические и электромагнитные вибраторы. Источником тока служит выпрямитель или низковольтный генератор. В зону плавления непрерывно подаётся 20 %-й водный раствор глицерина, вода или 4 %-й раствор соды (от выбора жидкости зависит интенсивность закалки наплавленного слоя и его твёрдость).

Из общего теплового баланса около 10 % теплоты выделяется при коротком замыкании в цепи и 90 % – при дуговом разряде. Поэтому теплота короткого замыкания не оказывает существенного влияния на расплавление металла, а основное влияние на процесс и качество наплавки оказывает дуга.

Электрическая дуга более стабильна при постоянном токе с напряжением холостого хода 60 В и дуги 18...38 В. Чем выше напряжение, тем интенсивней капельный перенос металла и тем толще слой наплавленного металла. Так, при напряжении 18...20 В толщина слоя составляет 2,5...3,5 мм, а при напряжении 30...32 В достигает 4 мм.

Непрерывное охлаждение и прерывистый характер процесса способствует уменьшению зоны термического влияния (ЗТВ), уменьшению деформации наплавляемой детали, а также закалке наплавленного металла.

Процесс наплавки металла в основном характеризуется силой и родом тока, величиной напряжения и индуктивности цепи, величиной вибрации и скоростью подачи электродной проволоки, скоростью и шагом наплавки, толщиной слоя наплавляемого металла, расходом охлаждающего раствора и др.

Сила тока наплавки определяется диаметром электродной проволоки, скоростью её подачи при наплавке. При установленном режиме во время импульсного разряда она также зависит от частоты вибрации электрода, величины сопротивления в цепи, особенно сопротивления между электродом и наплавляемой деталью, и связанных с ним напряжений на электродах.

Вибродуговой наплавкой можно восстанавливать внешние поверхности цилиндрических и конических деталей, внутренние цилиндрические поверхности, плоские детали, шлицы валов и др. (рис. 2).

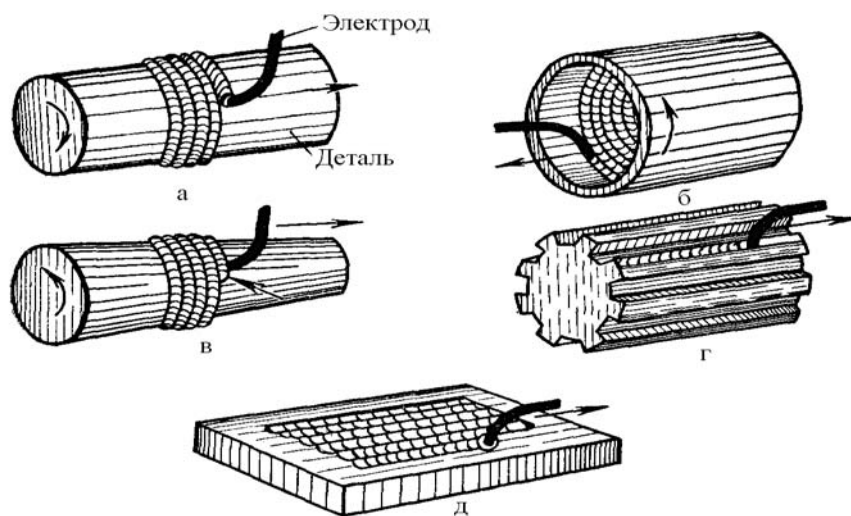


Рис. 2. Типы деталей, восстановленных вибродуговой наплавкой [4]:

а – валы; б – втулки; в – конические детали; г – шлицевые валы; д – плоские детали

Ток для наплавки можно определять и по величине его плотности. Последняя в среднем принимается равной $60...75 \text{ А/мм}^2$ для электродной проволоки диаметром до 2 мм и $50...70 \text{ А/мм}^2$ для проволоки диаметром больше 2 мм. При ускоренной подаче электродной проволоки необходима и повышенная плотность тока.

Напряжение на электродах при наплавке может быть в пределах от 5 В до 30 В. Уменьшение напряжения обычно приводит к снижению стойкости процесса наплавки, возникновение периодов холостого хода, уменьшению величины проплавления основного металла.

Исследованиями и производственным опытом установлено, что при наплавке слоя металла толщиной до 1 мм наиболее целесообразным является напряжение на электродах в пределах 12...15 В, а толщиной больше 1 мм – в пределах 15...20 В. Иногда это напряжение немного повышается с целью получения более устойчивого процесса наплавки.

Минимальный диаметр наплавляемой детали – 8...10 мм, а толщина наплавленного слоя за один проход в зависимости от условий и режима наплавки – 0,5...4 мм. При большей толщине слоя наплавка выполняется в несколько проходов.

Скорость наплавки определяют расчетом по формуле (1) в зависимости от необходимой толщины слоя наплавки и регулируют в пределах возможностей данного способа наплавки:

$$v = \frac{0,785 d^2 \omega k}{fs}, \quad (1)$$

где v – скорость наплавки, мм/с;

d – диаметр электродной проволоки, мм;

ω – скорость подачи электродной проволоки, мм/с;

k – коэффициент перехода металла электрода в наплавленный металл;

$k = 1 - p$, где p – потери расплавленного электродного металла от выгорания и разбрызгивания, выраженные в долях от веса расплавленного электродного металла;

f – толщина слоя наплавляемого металла, мм;

s – шаг наплавки, мм.

При наплавке цилиндрических деталей в зависимости от принятой скорости наплавки определяется число оборотов этой детали за минуту по формуле:

$$n = \frac{60v}{\pi(D + 2f)}, \quad (2)$$

где D – диаметр наплавляемой детали, мм.

Средние значения скорости наплавки находятся в пределах от 5 до 20 мм/с при толщине слоя наплавки от 1 до 3 мм.

Шаг наплавки связан с шириной наплавляемого валика, которая, в свою очередь, зависит от величины напряжения на электродах, диаметра электрода, плотности тока, скорости охлаждения наплавленного металла. Практически установлено, что целесообразно принимать величину шага, равную 1,2...1,5 диаметра электродной проволоки при напряжении на электродах 12...15 В и 1,5...2,0 диаметра при напряжении 15...20 В.

С увеличением шага наплавки улучшается проплавление основного металла, но при этом может заметно ухудшиться взаимное перекрытие валиков наплавленного металла и чистота наплавленной поверхности после механической обработки.

При обычных применяемых режимах вибродуговой наплавки потери электродного металла на угар и разбрызгивание составляют 11...15 %, коэффициент расплавления – 9...12 г/А·ч, коэффициент наплавки – 8...10 г/А·ч, количество расплавленного металла – 1,45...1,75 кг/ч, наплавленного – 1,20...1,50 кг/ч, коэффициент перехода углерода в наплавленный металл – 0,45...0,55, марганца – 0,45...0,60 [1].

Для наплавки деталей машин и механизмов применяется углеродистая или легированная проволока разных марок диаметром от 1 до 3 мм. Марка проволоки выбирается, исходя из твердости наплавленного металла и способа его последующей механической обработки. При этом необходимо отметить, что с увеличением количества углерода, марганца, хрома, молибдена и других элементов твердость наплавленного металла значительно повышается и одновременно с этим повышается и склонность к трещинообразованию. При виброконтатной наплавке доля основного металла в наплавленном крайне мала, поэтому свойства последнего определяются маркой электродной проволоки. При наплавке проволокой, содержащей до 0,40 % углерода, в наплавленном металле не наблюдается трещин, хотя его твердость доходит до HRC 40...45. То же наблюдается и при наплавке проволокой марки Св-18ХГСА. Диаметр электродной проволоки зависит от толщины наплаваемого слоя, мощности источника тока и конструкции головки наплавочного аппарата. При толщине наплавленного слоя до 1 мм применяется проволока диаметром 1,6 мм; при толщине слоя до 2 мм – проволока диаметром 2,5 мм, а при толщине больше 2 мм – диаметром 2...3 мм. Источник питания дуги с рабочим напряжением до 12 В дает возможность применять проволоку диаметром до 2 мм. На такой диаметр проволоки рассчитано большинство наплавочных головок. От диаметра проволоки зависит режим наплавки, производительность работ, величина зоны термического влияния и остаточные внутренние напряжения.

Для наплавки рекомендуются разные водные растворы, хорошо ионизирующие зону наплавки, например: водный раствор, содержащий 5 % кальцинированной соды, 1 % хозяйственного мыла и 0,5 % глицерина; водный 6-процентный раствор кальцинированной соды; водный раствор, содержащий 3...4 % кальцинированной соды и 4...5 % глицерина или водный 30-процентный раствор глицерина [1]. Последний дает лучшие результаты, чем другие растворы. Растворы являются охлаждающей жидкостью и, кроме того, оказывают содействие лучшему проведению процесса наплавки. Они также защищают расплавленный металл от воздуха. Расход жидкости влияет на скорость охлаждения наплавленного металла, на его твердость и образование в наплавленном слое трещин. Кроме того, от количества расходуемой жидкости зависит величина деформации деталей, образование в наплавленном металле пор, защита металла сварочной ванны от влияния азота воздуха. Обычно при наплавке тонкостенных деталей, изготовленных из низкоуглеродистых сталей, расход жидкости не превышает 3...5 л/мин. Наплавку деталей из среднеуглеродистых и легированных сталей в некоторых случаях ведут без жидкости или с минимальной ее подачей, достаточной только для охлаждения мундштука наплавочной головки.

Значительная часть деталей автомобилей и тракторов имеют небольшие габаритные размеры и малый износ. Поэтому такие детали как, например, коленчатые валы двигателей, ступицы шкивов этих двигателей, толкатели клапанов двигателей, оси качания, распределительные валы; фланцы карданов, вторичных валов и ведущих шестерен заднего моста, валы коробок передач, крестовины карданов наплавляются вибродуговой наплавкой, дающей возможность нанесения тонкого равномерного слоя металла при минимальной деформации изделия. Валы небольших электродвигателей изготавливаются из стали Ст. 5 и имеют две шейки и пять посадочных мест. Величина износа их не превышает 0,2...0,5 мм на сторону при диаметре от 40 до 70 мм. Перед наплавкой детали очищают от масла и ржавчины. Шпоночные пазы заделывают стальными вставками, выступающими на 2...2,5 мм над поверхностью детали. Наплавка осуществляется на переоборудованном токарном станке (например, ДИП-200) наплавочной головкой, смонтированной на суппорте.

Сварочным током установка питается от источника, имеющего жесткую внешнюю характеристику. Сварочная проволока применяется марки Св-08 диаметром 2 мм, охлаждающая жидкость – 4 %-й водный раствор соды.

Рекомендуемый режим наплавки: скорость подачи проволоки – 72 м/ч, напряжение дуги –16...21 В, шаг наплавки – 2 мм/об, амплитуда вибрации электрода – 1,5...2 мм, расход охлаждающей жидкости – 1,5...2,0 л/мин.

Толщина наплавленного слоя составляет 1,5 мм на сторону, твердость 200...275 НВ.

По сравнению с ранее применявшейся ручной наплавкой трудоемкость восстановления изношенных валов уменьшилась в 2 ... 2,6 раза.

Целью настоящей работы является повышение качества наплавленного металла путем разработки установки вибродуговой наплавки крупных деталей в форме тел вращения и использования в качестве защитной среды углекислого газа, аргона или смеси этих газов.

Установка смонтирована на базе токарно-винторезного станка с межцентровым расстоянием 1700 мм (рис. 3). Особенностью предприятия (ООО «Механик» г. Макеевка) эксплуатирующего установку является большое количество валов электродвигателей разного диаметра, подлежащих наплавке. В связи с чем центр станка может быть поднят, что позволяет вести наплавку валов роторов электродвигателей без спрессовки якоря с вала.

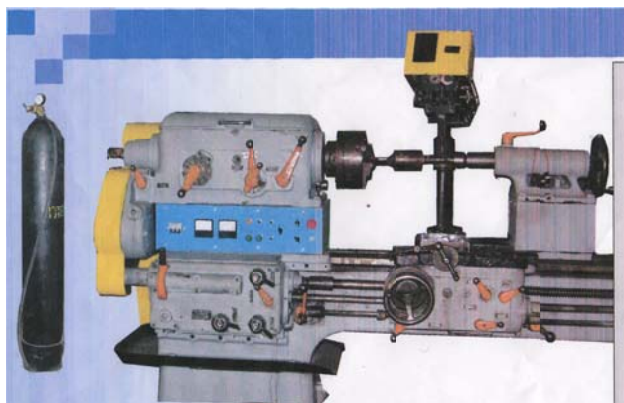


Рис. 3. Установка вибродуговой наплавки [6]



Рис. 4. Вибродуговая наплавка вала

Максимальный диаметр вала (по бочке якоря) составил 630 мм. Центра станка были подняты путем установки вставок под переднюю и заднюю бабки токарного станка. При этом была разорвана кинематическая цепь между коробкой передач и коробкой подач токарного станка. Для восстановления кинематической связи была применена цепная передача с паразитной (натяжной) звездочкой установленной на гитаре станка, что позволяет легко регулировать степень натяжения цепи.

Вибродуговая наплавочная головка установлена на суппорте токарного станка. Так как скорости резания металла значительно выше скорости наплавки электропривод был модернизирован: вместо штатного электродвигателя был установлен мотор-редуктор планетарного типа, питание асинхронного двигателя которого осуществлялось через преобразователь частоты переменного тока фирмы «Мицубиси». Регулятор частоты вынесен на панель управления установки. Изменяя частоту переменного тока, то есть, скорость вращения электродвигателя мотор-редуктора можно плавно изменять скорость вращения детали. Скорость наплавки можно регулировать плавно регулятором на панели управления установки, а также грубо-ступенчато переключением передач на коробке передач токарного станка. Пределы регулирования скорости составляют 0...273 об/мин. Шаг наплавки задается коробкой подач токарного станка. С целью сохранения подшипников шпинделя и зубчатых колес коробки передач от электроэрозии, а также для обеспечения стабильности режима наплавки, подвод обратного кабеля осуществляется непосредственно к шпинделю станка с помощью скользящего медного токоподвода, являющегося одновременно подтормаживающим устройством и обеспечивающим плавное вращение шпинделя.

Установка предназначена для наплавки деталей в форме тел вращения, начиная с диаметра 10 мм и более. Наплавка производится проволоками сплошного сечения диаметром 0,8...1,2 мм. Ток наплавки составляет 22...250 А при напряжении 16...27 В.

Источник питания создан на основе серийного выпрямителя ВДГ-303 с жесткой ВАХ. В сварочную цепь включен дополнительный дроссель. Наплавка производится в среде защитных газов: углекислого, аргона и их смесей – миксов. Наиболее рационально проведение наплавки в смеси аргона (80 %) с углекислотой (20 %) – микс 1. Предусмотрена возможность наплавки по классической схеме вибродуговой наплавки – в среде охлаждающей жидкости, а также при наплавке в среде защитных газов.

При наплавке стальной проволокой Св-08Г2С применяется углекислый газ или смесь аргона с углекислым газом. При наплавке нержавеющей стали и пружинными проволоками 65Г, 60С2А применяется аргон с добавкой 20 % углекислоты. В среде аргона наплавляют бронзовую проволокой, нихромом, нержавеющей стали.

На рис. 4 показан процесс вибродуговой наплавки вала, на рис. 5 вид наплавленного вибродуговой наплавкой вала и на рис. 6 – после его механической обработки [6].



Рис. 5. Вид вала, наплавленного вибродуговой наплавкой

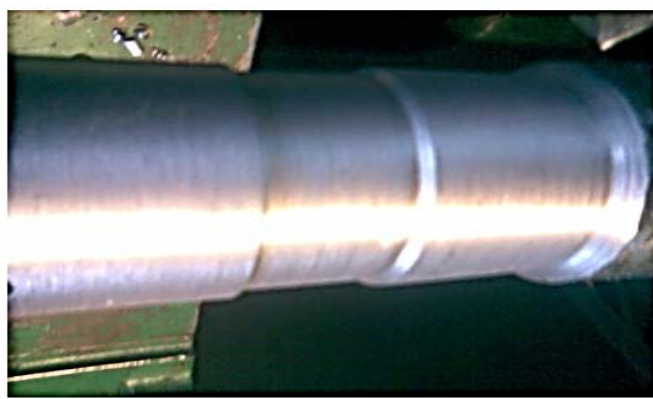


Рис. 6. Вид наплавленного вала, после механической обработки

ВЫВОДЫ

Эффективным способом повышения качества наплавляемого металла вибродуговой наплавкой является применение в качестве защитных газов аргона, углекислого газа или их смеси взамен охлаждающих жидкостей.

Разработана установка и технология вибродуговой наплавки деталей в форме тел вращения, начиная с диаметра 10 мм и более, проволоками сплошного сечения диаметром 0,8...1,2 мм. Ток наплавки составляет 22...250 А при напряжении 16...27 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грохольский Н. Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой / Н. Ф. Грохольский. – М. : Машиностроение, 1966. – 275 с.
2. Шехтер С. Я. Восстановление оборудования механизированной наплавкой / С. Я. Шехтер. – М. : Металлургия, 1965. – 136 с.
3. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин. – Харьков : ГНТИ по черн. и цвет. металлургии, 1961. – 421 с.
4. Наплавления : навч. посібник / А. Ф. Власов [та ін.]. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – 332 с.
5. Технология и оборудование для наплавки : учебное пособие. В 2-х частях. Ч. 1 / сост. : А. Ф. Власов [и др.]. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 236 с.
6. Технология и оборудование для наплавки : учебное пособие. В 2-х частях. Ч. 2 / сост. : А. Ф. Власов [и др.]. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 304 с.

Статья поступила в редакцию 02.10.2012 г.