

УДК 621.791.927.5

Макаренко Н. А., Богущкий А. А., Грановская Н. А., Синельник В. В.

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ И ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ НА РАЗНОПОЛЯРНО-ИМПУЛЬСНОМ ТОКЕ

Плазменно-порошковая наплавка безвольфрамовыми быстрорежущими сталями является перспективным направлением при восстановлении и изготовлении ряда изделий: режущих инструментов, фрез, резцов, метчиков, разверток, а также штампов глубокой вытяжки, вырубных штампов, ножей, шнеков экструдерных прессов, плунжеров насосов, штемпелей и форм для производства торфобрикетов, кирпича, топливных брикетов, брикетирования металлической стружки.

Однако в настоящее время промышленность не выпускает установки для плазменно-порошковой наплавки, а существующие установки импортного производства имеют крайне высокую стоимость [1]. Кроме того, зарубежные и выпускавшиеся ранее отечественные [1] установки функционируют на постоянном токе одной полярности (в европейских странах применяется в основном наплавка на прямой полярности, а в Японии – на обратной [2–9]). Менее распространены в промышленности плазменные установки переменного тока [10]. Известна плазма-МИГ наплавка алюминиевых сплавов [11], при которой плавящийся электрод периодически становится катодом по отношению к неплавящемуся электроду плазмотрона, при этом зафиксировано снижение количества неметаллических включений оксидного характера в наплавленном металле.

В работе [12] при плазменной сварке предложено использовать разнополярно-импульсный режим (применяются два источника питания тока, ВСВУ, переключаемые коммутатором). Однако, ввиду высокой стоимости и громоздкости данной установки она не нашла широкого применения в промышленности. Несмотря на то, что процесс плазменно-порошковой наплавки известен достаточно длительное время [13], его отработка в промышленных условиях при использовании разнополярно-импульсного тока не производилась, т. к. для широкого применения необходимо создать установку, силовая часть которой должна быть компактна, содержать стандартные элементы, быть доступной в обслуживании и надежной в эксплуатации. Кроме того, она должна иметь низкую стоимость и позволять регулировать параметры режима наплавки в широких пределах. В связи с этим создание установки плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе является актуальной проблемой.

Цель работы – разработка силовой части установки и плазмотрона для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе; исследование влияния расхода защитного газа на величину ламинарной части газового потока.

Разработана установка плазменно-порошковой наплавки, источник питания которой создан на базе силового трансформатора выпрямителя ВДУ-505 (аналогичные силовые трансформаторы применялись в выпрямителях ВДУ-504, ВДУ-506, а также в выпрямителе КИУ-501 Каховского завода электросварочного оборудования (КЗЭСО), Украина). С целью облегчения формирования крутопадающей характеристики, необходимой для плазменной наплавки [14], первичные обмотки трансформатора включены звездой, что целесообразно [15]. Вторичные полуобмотки также включены звездой (при этом каждая группа полуобмоток использовалась для питания одного из двух диодных выпрямительных блоков (рис. 1). Для формирования тока применялись дроссели насыщения, применение которых позволяет осуществлять независимую регулировку токов импульсов прямой и обратной полярности и избежать провалов в сварочном токе, ухудшающих стабильность протекания процесса наплавки на разнополярно-импульсном режиме (провалы характерны для тиристорных регуляторов, работающих в режимах с большими углами отсечки).

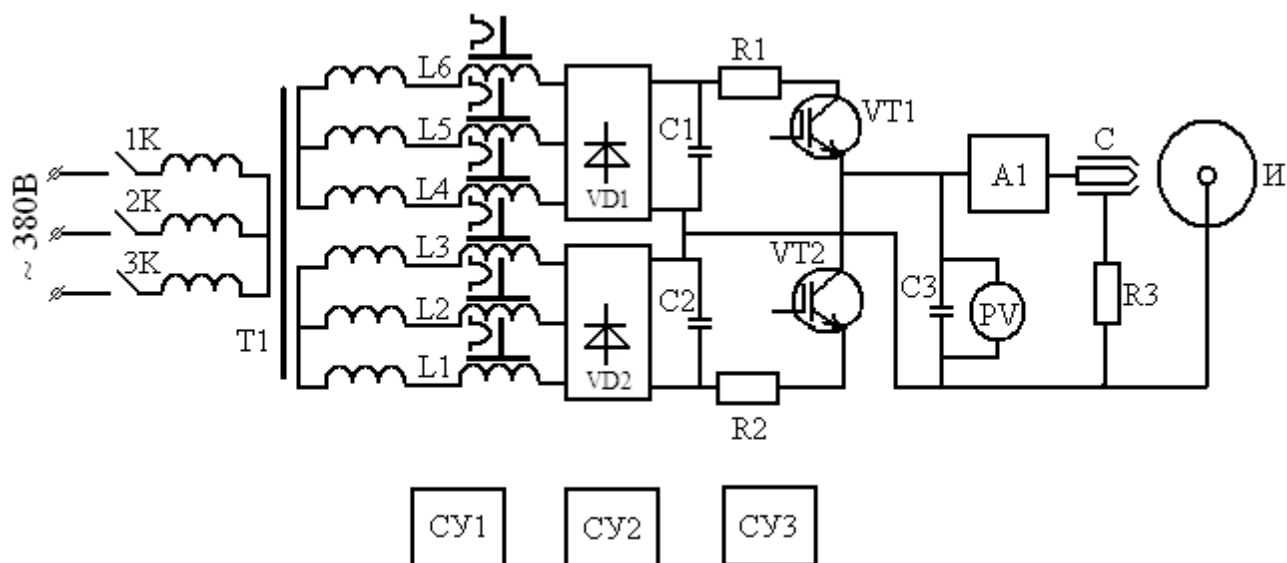


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема установки плазменной наплавки разнополярно-импульсным током:

К – контактор; Т1 – силовой трансформатор; L1–L6 – дроссели насыщения; СУ1–СУ2 – схемы управления дросселями насыщения; СУ3 – схема управления транзисторным коммутатором; VT1–VT2 – силовые IGBT транзисторы; C1–C2 – конденсаторы; R1–R2 – балластные токоограничивающие резисторы; VD1–VD2 – диодные трехфазные мостовые выпрямители; C3 – защитный конденсатор; А1 – возбуждатель

В качестве выпрямительных блоков VD1 и VD2 использованы диодные мостовые выпрямители, собранные по схеме Ларионова.

Известно [13–15], что плазменная дуга переменного тока в моменты смены полярности не нуждается в повторном поджиге в виду того, что при обжати дуги плотность тока в ее столбе, а, следовательно, температура и степень ионизации значительно выше, чем в свободногорящей дуге, в связи с чем (в период бестоковых пауз) процессы деионизации дугового промежутка происходят в течение более длительного времени (при этом это время больше, чем время бестоковой паузы, что приводит к уменьшению пика напряжения зажигания дуги).

В разработанном источнике питания в качестве коммутирующих элементов применены современные мощные силовые IGBT транзисторные полумосты, обеспечивающие время переключения, а, следовательно, и время смены полярности тока (то есть величину бестоковой паузы) порядка 1–3 мс. Это приводит к тому, что за незначительный промежуток времени процессы деионизации не успевают развиваться в полной мере, что обеспечивает стабильность горения плазменной дуги в режиме разнополярно-импульсного тока.

В то же время, режимы, характерные для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе, предусматривают значительно более низкие значения токов импульсов обратной полярности и большие (до 15 раз) частоты перемены полярности по сравнению с плазменными процессами на переменном токе промышленной частоты. Наличие же в цепи дросселей насыщения снижает скорость нарастания тока в периоды смены полярности, что служит фактором уменьшения стабильности горения плазменной дуги в моменты смены полярности тока дуги, в связи с чем целесообразно на выходе диодных мостовых выпрямителей включать конденсаторы C1 и C2, обеспечивающие высокие значения величин di/dt в моменты смены полярности и, тем самым, повышающие стабильность горения дуги.

Проведенные исследования показали, что емкость конденсатора должна находиться в пределах от 300 до 600 мкФ. При этом в эмиттерные цепи каждого из силовых транзисторов

полумоста целесообразно включать токоограничивающие резисторы R1 и R2 соответственно, что позволяет избежать перегрузку по току транзисторов VT1 и VT2 (в момент пуска установки, когда конденсаторы C1 и C2 оказываются заряженными до напряжения, соответствующего напряжению холостого хода источника питания). В рабочем режиме конденсаторы C1 и C2 в совокупности с дросселями насыщения, включенными до диодных выпрямительных мостов, составляют интегрирующую цепочку, обеспечивающую протекание импульса тока со средним значением, настраиваемым по необходимому режиму сварки.

С целью удешевления установки для контроля режима наплавки целесообразно использовать стрелочные приборы: амперметры и вольтметры. Учитывая, что в сварочной цепи протекает разнополярно-импульсный ток, разработаны схемы включения стандартных вольтметров и амперметров, обеспечивающих измерение параметров импульсов токов прямой и обратной полярностей (рис. 2). При этом в качестве датчиков тока необходимо использовать токоограничительные резисторы R1 и R2, включенные последовательно с силовыми транзисторами VT1 и VT2 соответственно (рис. 1).

Во время прохождения импульсов тока каждой из полярностей на токоограничивающих резисторах появляются импульсы напряжения, прямопропорциональные величине тока, протекающего через эти резисторы. Данные импульсы через диоды VD1, VD3 заряжают конденсаторы C4 и C5. Напряжение на конденсаторах регистрируется стрелочными миллиамперметрами PA1 и PA2. Добавочные резисторы RD1 и RD2 служат для калибровки цепей измерения тока.

Аналогичным образом построены цепи измерения напряжений (рис. 2).

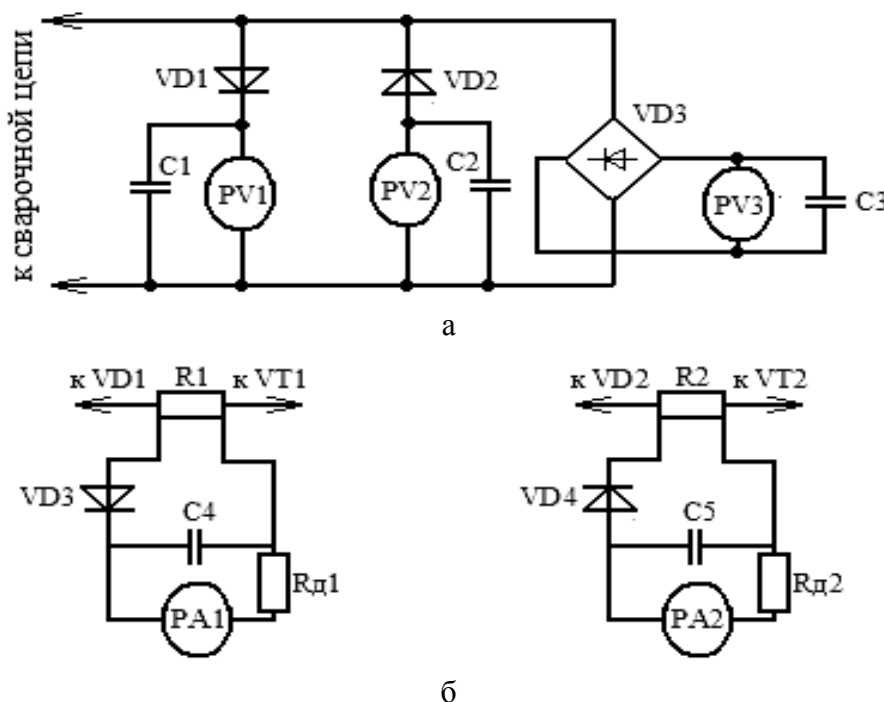


Рис. 2. Схема включения измерительных приборов установки плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе:

а – измерители напряжений на дуге; б – измерители тока дуги

Для возбуждения дуги целесообразно использовать высоковольтный импульсный генератор, синхронизируемый с моментами смены полярности тока дуги. Установлено, что значительная мощность импульса (0,6 Дж) данного генератора обеспечивает надежный и быстрый поджег дежурной дуги плазмотрона.

Одной из дорогостоящих частей установки является плазменная горелка (плазмотрон). Стоимость плазмотронов отечественного производства превышает 2000 грн, а импортных более 1000 USD, в связи с чем возникла необходимость разработки плазмотрона простого в эксплуатации и доступного по цене. В результате проведения исследований создан простой по конструкции плазмотрон (рис. 3).

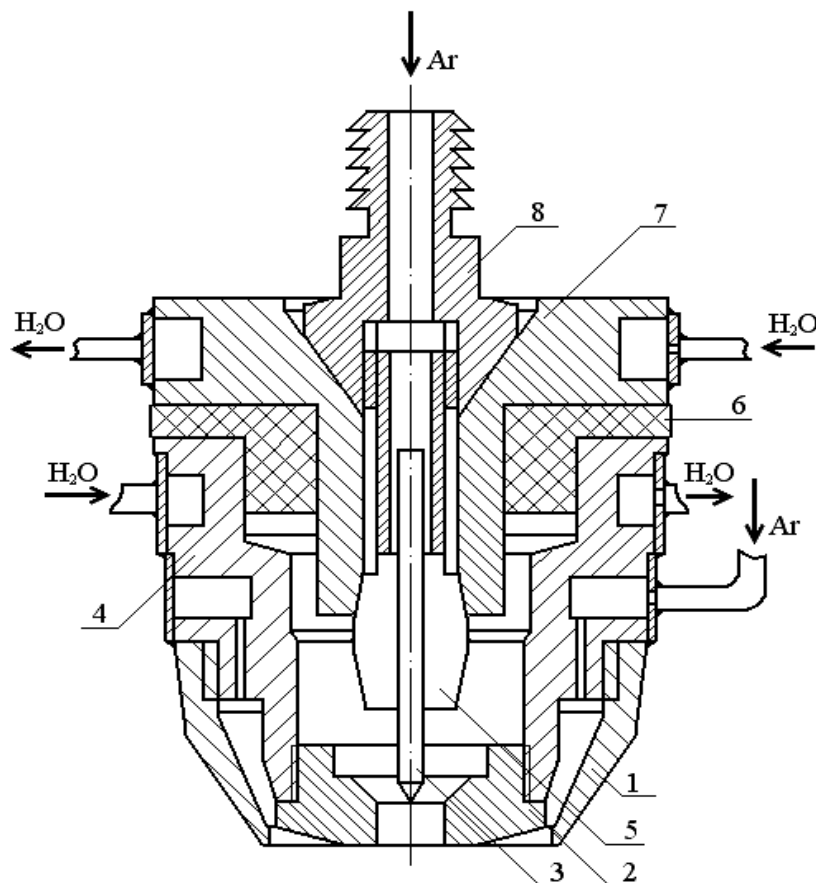


Рис. 3. Плазмотрон:

1 – керамическое сопло подачи защитного газа; 2 – плазмообразующее сопло; 3 – вольфрамовый электрод; 4 – корпус; 5 – цанга; 6 – изолятор; 7 – корпус цанги; 8 – зажимная гайка-штуцер

С целью унификации в нем использованы стандартные изделия (цанга горелки АВІТІГ фирмы Абибор-Бинцаль; керамическое сопло для подачи защитного газа плазмотрона установки УПС-30Л). Разработанный плазмотрон содержит 8 деталей, в том числе и вольфрамовый электрод. Все оригинальные детали изготовлены на токарном станке. Себестоимость плазмотрона составляет менее 300 грн (в ценах 2009 года).

С целью обеспечения эффективной защиты зоны наплавки ввод потока защитного аргона осуществляется в газовую камеру, имеющую площадь поперечного сечения значительно большую, чем сечение подводящей аргон трубки. Подача защитного газа в зазор между плазмообразующим соплом и керамическим соплом осуществляется через 12 равномерно расположенных по окружности отверстий (диаметром 0,5 мм, длиной 4 мм), что обеспечивает его равномерную подачу по кольцевому зазору между плазмообразующим и керамическим соплами. Данный зазор имеет клиновую форму с основанием клина у отверстий, подводящих защитный газ, что обеспечивает резкое падение скорости газового потока при выходе струи газа из отверстий диаметром 0,5 мм и выравнивание давления по сечению зазора, а также образование ламинарного потока в сужающейся части клиновидного зазора.

Исследования эффективности газовой защиты выполнялись по принципу замера длины ламинарной части струи, исходящей из плазмотрона. Для данных целей использовалась установка (рис. 4), основанная на принципе подачи в плазмотрон дымовой струи от горящих таблеток фенотизина и измерения длины ламинарной части потока, выходящего из плазмотрона (расход сжатого воздуха контролировался ротаметром).

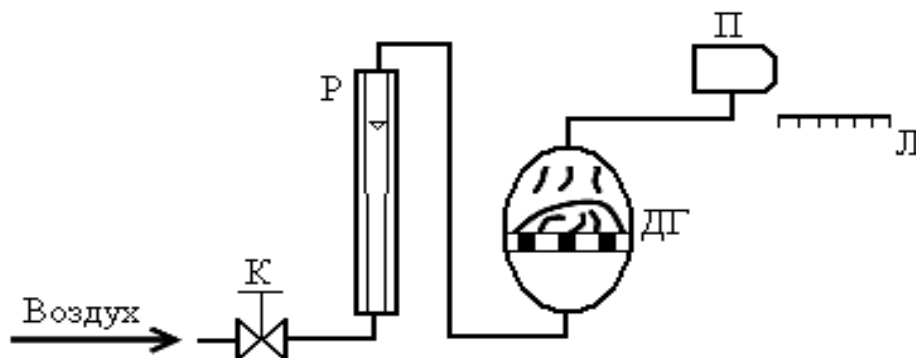


Рис. 4. Схема установки для измерения длины ламинарной части защитной газовой струи: П – плазмотрон; Л – линейка; ДГ – дымогенератор; Р – ротаметр; К – кран

Учитывая близкую плотность аргона и воздуха, погрешности в измерениях, проведенных с помощью воздушной струи, можно считать несущественными.

Исследования показали, что при малых расходах защитного газа длина ламинарной части струи невелика (следовательно, качество защиты зоны наплавки невысокое); с увеличением расхода защитного газа длина ламинарной части газового потока увеличивается, достигая максимальных значений при расходе 16–17 л/мин, после чего наблюдается резкий спад, что объясняется увеличением скорости истечения газовой струи (в месте ее выхода из кольцевого зазора начинает проявляться эффект инжекции воздуха из атмосферы и деформирование турбулентных возмущений в газовой струе) (рис. 5).

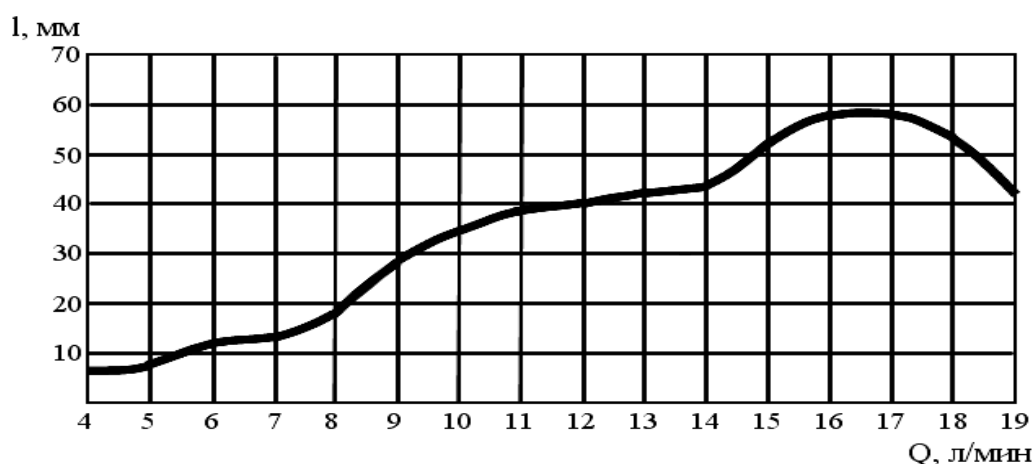


Рис. 5. Зависимость длины ламинарного потока струи защитного газа от его расхода, $Q_{пл} = 2,5$ л/мин

Установлено, что оптимальным расходом защитного газа является расход защитного газа в пределах 9–17 л/мин. При расходе 9 л/мин длина ламинарной части потока защитного газа составляет около 30 мм (при расстоянии от плазмотрона до изделия 12–20 мм), что вполне достаточно для надежной защиты зоны наплавки от контакта с воздухом. Расход защитного газа более 17 л/мин – не рационален, так как ведет к ухудшению качества защиты.

Разработанная установка реализует принцип внешней местной подачи наплавочного порошка, как наиболее экономичный с точки зрения потерь дорогостоящих наплавочных материалов.

В установке целесообразно применение дозатора барабанного типа (с приводом вращения от двигателя постоянного тока через червячный одноступенчатый редуктор), снабженного вибратором, предотвращающим зависание порошка.

ВЫВОДЫ

1. Разработана компактная установка и плазмотрон для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе, надежная в эксплуатации, имеющая невысокую себестоимость и обеспечивающая высокое качество нанесения покрытий.

2. Установлено, что с целью повышения эффективности защиты зоны наплавки газовая камера плазмотрона должна иметь площадь, значительно большую, чем сечение подводимой аргоновой трубки.

3. Исследования показали, что для обеспечения равномерной подачи защитного газа в зазор между плазмообразующим и защитным соплами целесообразно подавать аргон через двенадцать равномерно расположенных по окружности отверстий, при этом установлено, что их диаметр должен быть 0,5 мм при длине 4 мм.

4. Установлено, что оптимальный расход защитного газа должен находиться в пределах от 9 до 17 л/мин. При увеличении его расхода до величины более 17 л/мин наблюдается резкое ухудшение качества защиты зоны наплавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладкий П. В. Плазменная наплавка / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. – К. : Екотехнологія, 2007. – 202 с.
2. Гладкий П. В. Оборудование для плазменной наплавки / П. В. Гладкий, В. Г. Донской, В. К. Каленский // Плазменные методы обработки металлов. – Л. : ЛДМТП, 1977. – С. 46-52.
3. Nakajima V. Плазменная горелка обратной полярности для высокотвердой наплавки. Сообщение 2 / V. Nakajima, M. Ueda, A. Nohtomi // Есецу Гаккайси. – I. Japan Welding Societe. – 1981. – № 10. – P. 959-964.
4. А. с. 56-14486, МКИ В23 К9/04 – В23К9/00. Способ наплавки твердого поверхностного слоя / М. Ueda, Х. Нотоми, Т. Кусано (Япония). – № 55-46240 ; заявл. 10.04.80 ; опубл. 11.11.81.
5. Study on a new hardfacing process using an extremely hard material / M. Nakajima, A. Notomi, T. Kussano, M. Ueda // Мицубиси дзюко гихо. – 1981. – № 4. – P. 566-573.
6. Nakajima M. Наплавка слоя дисперсионных карбидов плазменной дугой, изучение процесса износостойкой наплавки с использованием сверхтвердых материалов. Сообщение 1 / M. Ueda, A. Nohtomi // Есецу Гаккайси – J. Japan Welding Societe. – 1981. – № 5. – P. 959-964.
7. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.
8. Астахин В. И. Плазмотрон для сварки и наплавки алюминия / В. И. Астахин // Сварочное производство. – 1978. – № 2. – С. 53-54.
9. Кудинов В. В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий / В. В. Кудинов, В. М. Иванов. – М. : Машиностроение. – 1981. – 192 с.
10. Дудко Д. А. Сварка алюминий-магниевого сплава плазменной дугой переменного тока / Д. А. Дудко, А. М. Корниенко // Резка, наплавка и сварка сжатой дугой. – М. : Машиностроение, 1968. – С. 35-92.
11. Чигарев В. В. Повышение качества наплавленного металла при плазма-МИГ наплавке алюминиевых сплавов / В. В. Чигарев, К. А. Кондрашов, Н. А. Грановский // Автоматическая сварка. – № 6. – 2006. – С. 50-52.
12. Малаховский В. А. Плазменная сварка / В. А. Малаховский. – М. : Высш. школа, 1987. – 79 с.
13. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. – Л. : Машиностроение, 1969. – 192 с.
14. Гладкий П. В. Оборудование для плазменно-порошковой наплавки / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, А. И. Сом // Оборудование и материалы для наплавки. – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. – С. 33-37.
15. Володин В. Я. Современные сварочные аппараты / В. Я. Володин. – Санкт-Петербург : Техника. – 2008. – 304 с.