



УДК 621.785.54

В.А. Коротков
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Уральского федерального университета
г. Нижний Тагил, Россия
E-mail: vk@udgz.ru
Дата поступления 20.06.2015

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ УСТАНОВКОЙ УДГЗ-200

Аннотация

Модифицирование поверхностей сталей и чугунов установкой УДГЗ-200 производится путем их разогрева плазменной дугой. Благодаря небольшой площади пятна нагрева под дугой, высокие скорости охлаждения обеспечиваются за счет только теплопроводности в тело детали, и мартенситное превращение (закалка) происходит без сопутствующего охлаждения водой. Это дает возможность выполнять закалку на ремонтных участках, а не только в специальных термических цехах, и упрочнять, что было невозможно. Модифицированная поверхность сохраняет исходную шероховатость и может использоваться без финишной механообработки. Модифицированный слой многократно увеличивает износостойкость зубчатых и шлицевых соединений, крановых колес и рельс, тормозных шкивов и канатных барабанов, контактных поверхностей корпусов и станин оборудования. Это в свою очередь увеличивает межремонтный срок эксплуатации машин и оборудования, сокращает ремонтные простои и ремонтные затраты, способствует наращиванию объемов производства и снижению его себестоимости.

Ключевые слова: плазменная дуга, модифицирование закалкой, механическое оборудование.

Введение

Использование разновидностей электрической дуги для поверхностной модификации сталей и чугунов известно с 80-х годов 20 века. Для этого адаптировались, получившие распространение в промышленности, установки аргонодуговой, плазменной и микроплазменной сварки, плазменной резки и плазменного напыления [1]. Однако, технологиям 80...90-х годов был присущ существенный недостаток. Они применялись только в автоматическом режиме, когда параметры дуги (скорость перемещения, длина) легко поддерживаются неизменными, ручное же ведение процесса было практически невозможно. В современный век роботов и «безлюдных» производств разработка ручной технологии может показаться ошибочной. Но ручные технологии, благодаря универсальности, демонстрируют живучесть. В мире основной объем сварки (более 80 %) продолжает выполняться электродами или полуавтоматами, т. е. вручную. По аналогии полагали

(и этот расчет оправдался), что с разработкой ручного способа объемы поверхностного модифицирования (закалки) электрической дугой возрастут, и произойдет это за счет изделий, которые ранее по тем или иным причинам упрочнить было невозможно или затруднительно.

Проблема ручной плазменной закалки была решена в 2002г в ООО «Композит», созданном в 1990г при Нижнетагильском филиале УПИ (ныне УрФУ), где выполнили разработку способа и установки для ручной плазменной закалки [2]. В установке (УДГЗ-200, рис. 1) предусмотрена горелка, небольшие размеры которой делают ее удобной для ручного манипулирования, и позволяют добираться до труднодоступных мест, т.е. упрочнять, что ранее оставалось без упрочнения. При закалке сварщик перемещает дугу по поверхности, на которой остаются, закаленные полосы шириной 8...16 мм, имеющие цвета побежалости, рис.1. Сварщик следит, чтобы под дугой происходило «вспотевание» поверхности

(состояние, предшествующее плавлению) при котором гарантируется надлежащий разогрев без грубых повреждений в виде оплавлений. «Вспотевание» контролировать не труднее, чем плавление при сварке, поэтому работу на установке осваивают сварщики 2...3 разрядов. Установка прошла сертификацию и стала первой специализированной установкой для поверхностной закалки, выпускающейся серийно.

Благодаря небольшой площади нагрева под дугой, высокие скорости охлаждения обеспечиваются за счет теплопроводности в тело детали, что позволяет получать закалку без сопутствующего охлаждения водой [3]. Поэтому установка УДГЗ-200 применяется не только в термических цехах и специализированных участках, но также на ремонтных площадках, участках механообработки и даже по месту эксплуатации деталей. Закалка установкой УДГЗ-200 может быть механизирована, автоматизирована и роботизирована, что делает её пригодной к применению в современных высокотехнологичных производствах.

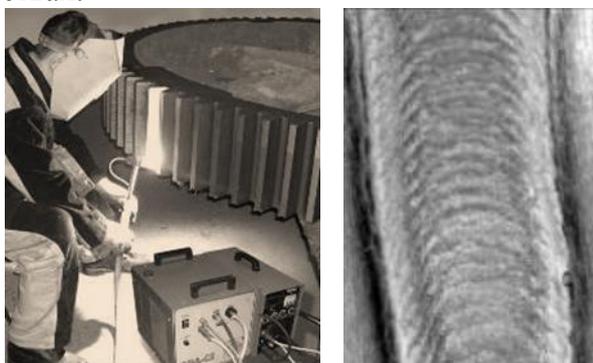


Рисунок 1. Закалка установкой УДГЗ-200 (слева) и вид закаленной полосы (справа)

Целью настоящей работы является обобщение известных и приведение новых данных о свойствах модифицированного слоя, полученного установкой УДГЗ-200 и эффективности применения установки в промышленном производстве.

Структура закаленного слоя

Для получения закаленного слоя необходимы достаточно высокие скорости охлаждения. Расчетным и экспериментальным путем установлено, что при закалке

массивных тел на режимах, типичных для УДГЗ-200, скорости охлаждения превышают критические. При воздействии дуги на пластины, возможность неполной закалки (на твердость ~ HV360) сохраняется для толщин ~ 4мм. Для полной закалки пластины и др. небольшие детали на половину толщины помещают в емкости с водой [4].

Проведение закалки установкой УДГЗ-200 предусматривает поддержание на поверхности температуры близкой к температуре плавления, поэтому структурообразование закаленного слоя подобно структурообразованию в зоне термического влияния сварных соединений. В общем случае непосредственно под поверхностью, где наиболее высокая температура нагрева, возможно укрупнение зерна, далее идет участок мелкого зерна, затем участок не полной перекристаллизации (не полной закалки), переходящий к основному металлу [5]. Если деталь прошла предварительную объемную закалку, то между участком не полной закалки и основным металлом может располагаться участок отпуска с твердостью ниже твердости основного металла. На рис. 2 показано распределение микротвердости в слое плазменной закалки на поверхности рельса (сталь 70), прошедшего объемную закалку с отпуском. Можно отметить, что плазменная закалка дала увеличение микротвердости, при том, что на границе закаленного слоя вследствие отпускных процессов произошло некоторое снижение твердости основного металла. Непосредственно под поверхностью микротвердость несколько ниже, чем на большем удалении вследствие повышенного содержания остаточного аустенита [6]. Микроструктура слоя плазменной закалки представлена на рис. 3. Изображения получены на 2-х лучевом ионно-электронном микроскопе Augiga Crossbeam в режиме ионного облучения [7]. По ним видно, что предположение об образовании зон крупного и мелкого зерна в слое плазменной закалки, полученном установкой УДГЗ-200, на данной углеродистой стали 70 нашло подтверждение.

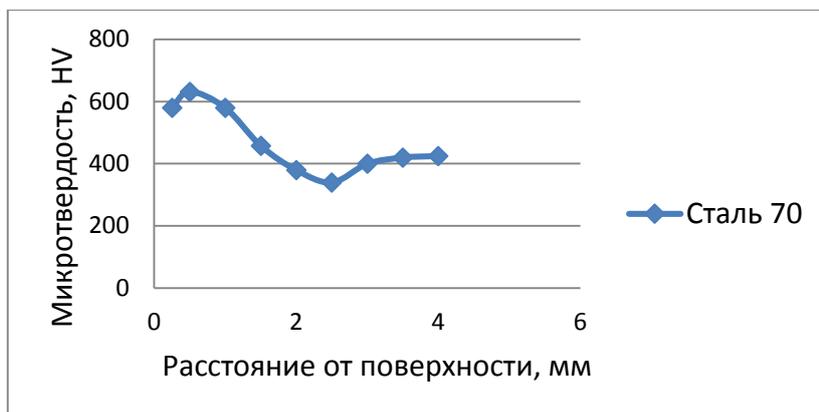


Рисунок 2. Распределение микротвердости по глубине закаленного слоя на рельсовой стали 70 с объемной закалкой и отпуском.

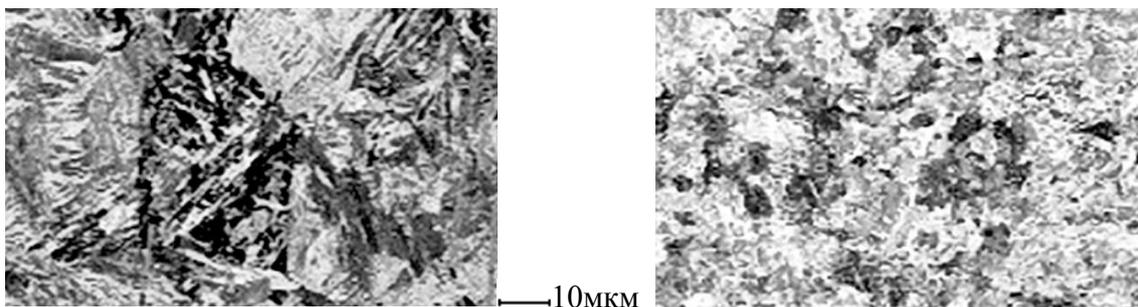


Рисунок 3. Микроструктура зон крупного (слева) и мелкого (справа) зерна в слое плазменной закалки на рельсовой стали 70.

Низкоуглеродистые стали плохо воспринимают закалку, поэтому их термическое упрочнение не практикуется. Вместе с тем известно, что при высоких скоростях нагрева, характерных для плазменной закалки, температурный интервал $[\alpha-\gamma]$ -превращения увеличивается, и при полном исчезновении феррита на месте карбидных частиц могут сохраняться участки с высокой концентрацией углерода, способные в случае быстрого охлаждения к упрочнению.

Это послужило основанием к проведению плазменной закалки установкой УДГЗ-200 низкоуглеродистой стали с содержанием углерода $\sim 0,2\%$. Было установлено, что на месте перлитных зерен (HV276) в закаленном слое образовались фрагменты высокой микротвердости (HV905), характерной для мартенсита [8]. Этот результат дал основание рекомендовать установку УДГЗ-200 для упрочнения контактных поверхностей корпусов (станин) машин и оборудования. Они, обычно, изготавливаются из низкоуглеродистых сталей, применяются в неупрочненном состоянии, и становятся причиной частых и

дорогостоящих ремонтов. Модифицированный слой увеличивает износостойкость контактных поверхностей, а вместе с этим – межремонтный срок эксплуатации оборудования, сокращает ремонтные простои и ремонтные затраты, способствует наращиванию объемов производства и снижению его себестоимости. Например, плазменная закалка контактных поясов (рис. 4), предназначенных для закрепления дробящей брони на валах дробилок среднего дробления, в Качканарском ГОКе увеличила их наработку в 5 раз.

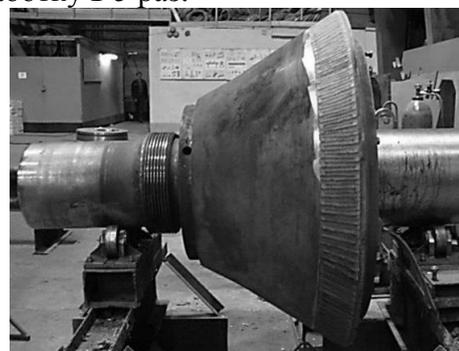


Рисунок 4. Вал дробилки среднего дробления, контактный пояс которого упрочнен плазменной закалкой установкой УДГЗ-200

При плазменной закалке широких поверхностей оператор наносит полосы закалки с некоторым перекрытием. На рис. 4 можно видеть, что по месту наложения по-

лос происходит двойная закалка с увеличением микротвердости до ~HV850, а в зоне термического влияния от последующей полосы в предыдущей полосе – уменьшение микротвердости до HV600.

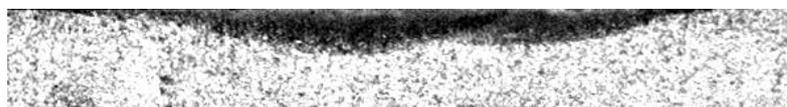
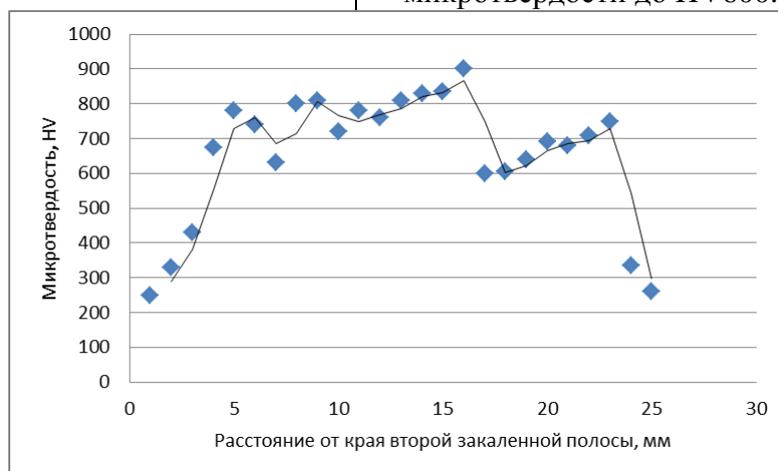


Рисунок 5. Поперечное сечение образца (сталь 45) с двумя полосами закалки плазменной дугой (внизу); распределение микротвердости (нагрузка 500 г·с) на глубине от поверхности 0,1 мм (вверху).

Эти процессы (упрочнения-разупрочнения) на различных сталях и режимах закалки могут протекать с большей или меньшей интенсивностью, но обычно они не являются препятствием к увеличению сроков эксплуатации (износостойкости) закаленных деталей.

Влияние плазменной закалки на шероховатость поверхности

В таблице 1 приведены сведения об изменении шероховатости поверхности в результате плазменной закалки углеродистых сталей. Можно отметить, что закалка поверхности с высокой шероховатостью сопровождается некоторым ее улучшением от Rz65 до Rz55, что происходит за счет оплавления высоких гребешков микронеровностей. В диапазоне Rz 25-40 плазменная закалка пренебрежимо мало сказывается на значениях шероховатости. Применение зачистки поверхности лепестковым кругом позволяет обеспечивать значение шероховатости на уровне Rz 10 (Ra 2,5).

Приведенные результаты показывают (а более чем 10-летняя производственная практика их подтверждает), что упрочнение установкой УДГЗ-200 может использоваться в качестве финишной операции, что

существенно снижает себестоимость изготовления деталей в целом, т.к. исключает трудоемкую механообработку закаленных поверхностей.

Таблица 1
Влияние плазменной закалки на твердость и шероховатости поверхности

Сталь	Твердость, НВ (прибор УЗИТ-3)		Шероховатость, Rz (прибор TR100)	
	До закалки	После закалки	До закалки	После закалки
20ГЛ	180	330	65	55
20ГЛ	180	330	40	40
20ГЛ	180	330	10	30
45	220	440	25	25
35Л*	170	440	8	10

*Производилась зачистка лепестковым кругом до и после закалки

Влияние плазменной закалки на износостойкость

Исследовалась износостойкость рельсовой стали с плазменной закалкой на машине трения по схеме «диск–колодка», без смазки [9]. Результаты приведены в табл. 2. По ним видно, что плазменная закалка снизила износ колодки в 121 раз; при этом неупрочненный диск не только не снизил износостойкости, но увеличил её в 2,1 раза.

Существенное увеличение износостойкости в результате плазменной закалки объясняется сменой механизма изнашивания. Поверхности трения без упрочнения имели возможность «схватываться», т.е. образовывать выступами микронеровностей точечные сварные соединения, которые создавали абразивный фактор ускоряющий износ. Исключение явлений схватывания, за счет упрочнения плазменной закалкой, привело к более медленному изнашиванию по механизму усталостного диспергирования.

На линии Уралвагонзавода по производству железнодорожных колесных осей

их кованая поверхность вызывала быстрый износ незакаленных рельсов, по которым оси перемещаются. За 28 месяцев износ составил ~3,2 мм из 5 мм допускаемых. Для замедления изнашивания поверхность рельсов без прерывания производства осей закалили установкой УДГЗ-200. Твердость увеличилась от HRC20 до HRC 50. Стойкость рельсов в результате закалки возросла в 431/62 ~ 7 раз (табл. 3). Поскольку износ рельс (3,2+1,1 = 4,3 мм) еще не достиг критического (5 мм), а закаленный слой (~ 1мм) уже износился, то была выполнена еще одна закалка без остановки производства.

Таблица 2

Влияние плазменной закалки на износостойкость рельсовой стали

Колодка				Диск			
Сталь 70	HV	Износ*, г	K _{из}	Сталь 65Г	HV	Износ*, г	K _{из}
Без закалки	280	1,50740	1,0	Без закалки	314	2,1246	1,0
С плазменной закалкой	877	0,01242	121,0	Без закалки	314	1,0208	2,1

* Суммарный за 4 цикла испытаний по 5 минут; средний по 3 парам.

Таблица 3

Износ рельсов на линии по производству колесных осей

Срок эксплуатации, мес.	Износ, мм.	Выпуск осей, шт.	Стойкость, тыс. шт. осей / мм. износа
28	3,2	198 324	62
78	1,1	474 000	431

Таблица 4

Износ дисков при сухом трении о колодку из нормализованной стали 45

Материал диска. Темпообработка. Твердость	Износ*, г	Коэффициент износостойкости, K _{из}
Сталь 45 Нормализация. HB 220	0,358	1
Сталь 45 Плазменная закалка. HB440	0,029	12
Сталь 30ХГСА Плазменная закалка. HB 440	0,003	119
Сталь 12ХН3А Цементация. HB570	0,005	72

*Средние значения по трем парам образцов на этапах 2-4 установившегося изнашивания

Исследовалась износостойкость материалов, используемых для изготовления зубчатых колес и шестерней. По схеме диск-колодка на машине трения МИ-1М испытывались диски в различном состоянии в условиях сухого трения о колодки из нормализованной стали 45. В таблице 4 приведены (средние по трем парам образцов) износы дисков на стадиях установившегося

изнашивания, по которым можно заключить следующее. Плазменная закалка более чем на порядок (в 12 раз) снизила износ нормализованной стали 45. Цементированная сталь 12ХН3А, применяющаяся для изготовления шестерней, по износостойкости (K_{из} = 72) заняла промежуточное положение между, закаленными плазменной дугой, сталями 45 (K_{из} = 12) и 30ХГСА

(Киз = 119). Таким образом, плазменная закалка представляется эффективным и более доступным, чем цементация, средством для увеличения износостойкости зубчатых зацеплений.

Размеры закалочной горелки установки УДГЗ-200 позволяют закалывать зубья шестерен с модулем $m \geq 6$. Закалка производится по боковой поверхности зуба. Впадины между зубьями не закаляются, т. к. туда нет доступа плазменной дуге. При закалке ТВЧ это является недостатком, вызывающим поломки зубьев при эксплуатации. Но плазменная закалка боковых поверхности к поломкам не приводит, т. к. производится последовательно, тогда как закалка ТВЧ – одновременно по всему профилю, с наведением высоких остаточных напряжений. Закалка установкой УДГЗ-200 зубчатых колес (сталь 35Л, $z = 90$, $m = 24$) сталеразливочного крана грузоподъемностью 225т (рисунок 1) увеличила срок службы в 2,8 раза. Подобный результат получен при плазменной закалке зубчатого венца (сталь 35ГЛ) рудо-усреднительной машины. Из-за больших размеров венца (диаметр ~ 6 м), закалка производилась на шихтовом дворе под открытым небом, что составляет еще одно преимущество установки УДГЗ-200 [9]. Шестерни ($m 10$, $z 16$) из конструкционной стали 40Х в «улучшенном» состоянии, в открытой передаче укладчика в агломерационном производстве, изнашивались в течение одной недели. Плазменная закалка увеличила твердость с НВ250 до НВ520, а наработку – до 4 недель, то есть в 4 раза. При этом изнашивался только закаленный слой (~ 1мм), что позволило повторять закалку прямо на укладчике (важная особенность работы установкой УДГЗ-200) и увеличить срок службы шестерней до 8 раз.

Исследовалось упрочнение чугунов плазменной закалкой. Для испытаний на машине трения колодки изготовили из чугуна: ВЧ120, ВЧ60, СЧ25, а диски – из стали 30ХГСА (НВ330). Чугуны ВЧ60 и СЧ25 без плазменного упрочнения на три порядка уступали в износостойкости чугуну ВЧ120, поэтому не приведены на графике, но плазменная закалка увеличила их

износостойкость и приблизила к износостойкому чугуну ВЧ120 (рис.6).

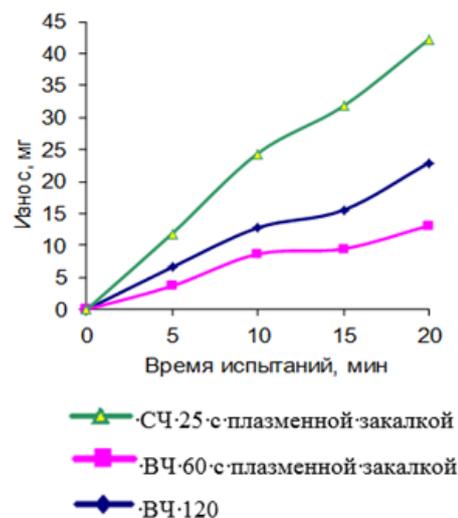


Рисунок 6. Износ колодок

Заключение

Значительным событием в развитии поверхностной модификации сталей и чугунов стала разработка установки УДГЗ-200. Она сделала поверхностную закалку доступной ручному применению, благодаря чему теперь *закаливается, что было не доступно*. Её использование для упрочнения деталей горного и металлургического оборудования многократно увеличивает их срок службы с высокой экономической эффективностью. К началу 2015 г было выпущено более 60 установок, которые поставлены на предприятия России, Азербайджана, Украины, Казахстана, Киргизии. В 2008г. установка отмечена серебряной медалью на Женевском салоне изобретений и инноваций.

Библиографический список

1. Коротков В.А. Совершенствование дуговой закалки. / Тяжелое машиностроение, 2004. № 6. С.34-37.
2. Коротков В. А. 10 лет применению ручной плазменной закалки / В. А. Коротков // Тяжелое машиностроение, 2012. № 1. С. 2-5.
3. Investigation of the effect of the cooling rate on the quality of the surface layer in plasma quenching. /Korotkov V.A., Anan'ev S.P., Shekurov A.V// Welding International, 2013. Vol. 27. № 5. P. 407-410.
4. Investigation of the effect of the cooling rate on the structure and mechanical properties

- of metal in plasma quenching. / Korotkov V.A., Ananyev S.A., Shekurov A.V. // Welding International. 2014. Vol. 28. № 2. P. 140-142.
5. Теория сварочных процессов. Под ред. В.М. Неровного – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 752 с.
6. Бердников А.А. Структура закаленных углеродистых сталей после плазменного поверхностного нагрева / А.А. Бердников, М. А. Филиппов, Е. С. Студенок // Металловедение и термическая обработка металлов, 1997. № 6. С. 2-4.
7. Ананьев С.П. Плазменная закалка рельсовой стали / С.П. Ананьев, В.Я. Шур,



УДК 621.791.75.03-5

- Д.С. Чезганов, В.А. Коротков // Вопросы материаловедения, 2014. № 1. С. 20-28.
8. Investigations into Plasma Quenching. / Korotkov V.A., Shekurov A.V. // Welding International, 2008. Vol.22. №7. P. 475-479.
9. Korotkov V.A. Wear Resistance of Plasma-Hardened Materials. // Journal of Friction and Wear, 2011. Vol.32. No.1. P.17-22.
10. Korotkov V.A. Plasma Quenching of Gear and Slotted Couplings. // Russian Engineering Research, 2009. Vol 29. No.8. P.813-816.

Л.Т. Плаксина
ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»
г. Екатеринбург, Россия
E-mail: trsf@mail.ru, plt2006@yandex.ru

В.Н. Сорокин
РГУ «Нефти и газа» им. И.М.Губкина,

С.Ф. Трух
ООО «АПС РАДИС»
г. Москва, Россия

Дата поступления 09.11.2015

ОБОРУДОВАНИЕ ПАРС ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Аннотация

На базе широкого использования цифровых устройств управления (и полного исключения аналоговых узлов) разработаны инверторный выпрямитель с радиоуправлением для ручной дуговой сварки, полуавтоматы для сварки в среде защитных газов с синергетическим управлением, автомат для сварки под флюсом, устройство радиоуправления для удаленного источника питания дуги (выпрямитель или генератор) при ручной дуговой сварке.

Ключевые слова: сварка, наплавка, сварочное оборудование, радиоуправление, технические характеристики, технологические преимущества.

Введение

В данной работе приведены результаты разработки ряда единиц оборудования ПАРС («АПС РАДИС»). Представлены технические характеристики и технологические возможности оборудования.

Основная часть

Аппарат сварочный постоянного тока Ф-302 (в дальнейшем аппарат) промышленного применения предназначен для ручной электродуговой сварки (режим «ММА»).

При наличии специальных аксессуаров и материалов аппарат может использоваться в качестве источника питания для аргонодуговой сварки постоянным током деталей и материалов из титана, нержавеющей стали и медных сплавов (режим «TIG»). В режиме «ММА» сварка производится штучными плавящимися электродами любой марки диаметром от 1,6 до 5,0 мм при дуге, образованной постоянным током, регулируемым в пределах от 20 до 315 А специальным регулятором на передней панели