

ЗАРОЖДЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ И НАПЛАВКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

С.Н. Герук, к.т.н., доц.

Национальный научный центр

«Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Национальной академии аграрных наук Украины (ННЦ «ИМЭСХ»)

п.г.т. Глеваха, Киевская обл., Украина

Е.Н. Сукманюк, к.и.н., ст. преподаватель

Житомирский национальный агроэкологический университет

г. Житомир, Украина

Введение

Восстановление изношенных деталей машин позволяет экономить высококачественные материалы, топливо, энергетические и трудовые ресурсы, являясь одним из самых весомых резервов экономии и бережливости.

Для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 5–8 раз меньше технологических операций, чем для изготовления новых [1].

Сегодня восстановление деталей машин сваркой и наплавкой – одна из совершеннейших, наиболее продуктивных и экономичных среди используемых промышленностью энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Довольно много как отечественных, так и зарубежных работ посвящено изучению разных сторон техники сварки и наплавки при восстановлении деталей. Но практически все эти работы касаются решения исключительно научных, инженерных и производственных проблем развития данного технического направления.

Исследование же развития и периодизация восстановления техники электродуговой сваркой и наплавкой в общественной жизни, а также связи ее с разными социальными явлениями практически осталось без внимания исследователей и могло бы обогатить интеллект инженерно-технических работников.

Основная задача данной работы – рассмотреть эволюцию научных взглядов на восстановление деталей машин сваркой и наплавкой.

Основная часть

История электрической сварки берет свое начало в XIX веке. В 1802 году русский ученый В.В. Петров открыл явление электрической дуги и предсказал возможность ее использования для расплавления металлов.

В своих работах, изданных в период с 1801 по 1804 годы (Санкт-Петербург), он описал возникновение электрической дуги и возможности ее применения для сварки металлов [2].

Американский физик Э. Томсон в 1867 г. во время одного из опытов перегрел концы медных проводов, и они сварились. На основе этого явления он подал заявку на патент о принципе сварки металлов методом сопротивления. Предложенные Томсоном идеи в тот период не нашли практического применения в производстве. В настоящее время этот способ массово используют во всех областях промышленности [3].

В 1881 г. русский инженер Н.Н. Бенардос разработал схему питания дуги от электрического генератора, включенного параллельно с батареей аккумуляторов через реостат. Он также предложил способ электродуговой сварки неплавким угольным электродом и конструкции простых сварочных автоматов [4].

Свои идеи по применению электросварки Н.Н. Бенардос изложил в 1883 г. в «Горнозаводском листке» в статье «Замечательные случаи применения электросварки по способу Бенардоса» [4, 5].

Впервые в мире Н.Н. Бенардос предложил способ сварки металлическим электродом на переменном токе, для чего создал электропаяльник с автоматическим регулятором длины дуги.

Стремясь автоматизировать процесс, Н.Н. Бенардос впервые разработал несколько систем автоматических устройств для сварки как металлическим, так и угольным электродом, которые являются прототипами сварочных автоматов и полуавтоматов.

В 1888 году русский инженер Н.Г. Славянов предложил использовать для сварки плавкий металлический электрод. Он создал мощный электрогенератор

с жесткой характеристикой и специальный полуавтомат для поддержания дуги между изделием и электродом [6].

Немецкий инженер Г. Церенер в 1889 г. впервые использовал для нагрева металла дугу косвенного действия. Главной особенностью этого способа являлось то, что основной металл не включается в электрическую цепь сварки, а дуга горит между двумя электродами. Сварочный металл нагревается дугой, пламя которой вытягивается в форме острого языка с помощью электромагнита [7].

В 1935–1940 гг. были осуществлены способы полуавтоматической дуговой сварки. Наибольшее распространение получили сварка наклоненным электродом по методу А.А. Сылина (предложенная в 1930 г.), сварка наклоненным электродом по методу Д.П. Лунегова, а также сварка лежащим электродом с эксцентричным пластом обмазки [8, с. 57].

В 1936 году сотрудник Института электросварки М.Г. Остапенко разработал способ дуговой сварки угольным электродом в потоке углекислого газа и в среде сгораемого бумажного шнура [9]. Благодаря такой защите стало возможным менять полярность и улучшать управление теплопроцессом.

В 1947–1948 гг. Г.З. Волошкевич разработал оригинальный способ сварки под флюсом с принудительным формированием шва. Этот способ оказался удобным для сварки вертикальных швов [10]. Его преимуществом стало соединение металлов неограниченной толщины, а также сварка и наплавка не только сталей, но и алюминия, меди, титана и их сплавов.

В 50-х годах значительное развитие получила наплавка изделий – способ не только для восстановления изношенных, но и для изготовления новых биметаллических изделий. За разработку и промышленное внедрение электродных сплавов для наплавки изношенных деталей в 1950 году Б.М. Конторову, Н.М. Жраковскому, И.И. Рафаловичу и Е.В. Соколову была присуждена Государственная премия.

Наибольшее распространение среди способов восстановления деталей на сельскохозяйственных ремонтных предприятиях получил созданный в 1952 г. И.Е. Ульманом в соавторстве с Г.П. Клековкиным в Челябинском государственном агроинженерном институте способ вибродуговой наплавки. Его использование имеет целый ряд преимуществ: высокая производительность (до 2,6 кг/ч); незначительный нагрев детали (до 100 °С); отсутствие существенных структурных изменений поверхности восстановительной детали (зоны термического влияния при наплавке незакаленных деталей – 0,6–1,5 мм, закаленных – 1,8–4,0 мм), что позволяет наплавлять детали маленького диаметра (от 8 мм), не опасаясь коробления [11, 12].

Одной из ярких фигур в теоретических исследованиях и применении электродуговой сварки и наплавки деталей был украинский ученый Е.О. Патон. Как руководитель лаборатории, в 1929 году он поставил целью внедрение электросварки в народное хозяйство. Успехи небольшого коллектива в дальнейшем способствовали созданию на базе лаборатории и электросварочного комитета научно-исследовательского института. Так,

благодаря его усилиям, 4 января 1934 года был создан Институт электросварки [13].

В основу работы института положен принцип объединения научно-теоретических и инженерно-прикладных задач. По инициативе Е.О. Патона в Киевском политехническом институте была создана кафедра электросварки, а также оборудованы сварочные лаборатории.

В 1932 году впервые в мире К.К. Хренов [14, 15] создал и реализовал процесс электродуговой сварки и резки под водой. Он также внес весомый вклад в разработку способа сварки чугуна, газопрессовой сварки, а также дефектоскопии сварных соединений, разработал источники питания для дуговой и контактной сварки, керамические флюсы, работал над созданием и испытанием электродных покрытий.

Проведенные В.П. Вологдиными [16, 17], Е.О. Патоном [18] и Г.О. Николаевым [19] исследования по применению сварки и наплавки для восстановления деталей машин дали положительные результаты. В этот период были подтверждены основные преимущества разработанных ими методов соединения и восстановления деталей в сравнении с клепанием. Применение сварки и наплавки позволило получать 10–25 %-ную, а иногда и 50 %-ную экономию металла, благодаря более рациональному его использованию.

В 1960–1970-х годах Б.Е. Патоном, К.В. Багрянским и М.О. Ольшанским были исследованы отдельные факторы, которые влияют на качество ремонтной наплавки деталей сельскохозяйственных машин [20, 21]. Указанные факторы определяли условия протекания процесса сварки и накладывали некоторые как технологические, так и конструкционные ограничения.

Ими же была выведена расчетная формула химического состава металла шва:

$$R_{ш} = \gamma_{ел} R_{ел} + (1 - \gamma_{ел}) R_0 \pm \Delta R,$$

где $R_{ш}$ – расчетное содержимое элемента в металле шва, %;

$R_{ел}$, R_0 – аналитическое содержимое элемента в электродной проволоке и основном металле, %;

$\gamma_{ел}$ – процентное содержание электродного металла в металле шва;

$\pm \Delta R$ – коэффициент усвоения, определяющий переход элемента из флюса в металл шва или наоборот.

Для изготовления легирующих флюсов-смесей широко использовалась технология, предложенная Н.И. Доценком (НИИАТ), когда во флюс добавляют феррохром и графит, которые позволяют получить необходимую твердость поверхности без дополнительной термообработки. С целью получения необходимого химического состава наплавленного металла С.О. Ткаченко в 1972 г. предложил использовать смесь флюсов. При обработке исследовательских наплавочных образцов им были получены уравнения регрессии, приведенные в таблице 1 [22].

Таблица 1 – Уравнения регрессии С.О. Ткаченко

Состав присадок к АН-348А	Уравнение регрессии	Элемент, который рассчитывается	Коэффициент корреляции	Электродный провод
1...6 % ПАК-1	$y = 1,23 + 0,310x$	Mn	0,83	Св-0,8
1...6 % ПАК-1	$y = 0,48 + 0,200x$	Si	0,77	Св-0,8
4 % Mn-6 + 1...4 % ПАК-1	$y = 1,90 + 0,430x$	Mn	0,79	Св-0,8
2...6 % Cu-75	$y = 1,40 + 0,155x$	Mn	0,76	Св-0,8
2...6 % Cu-75	$y = 0,62 + 0,081x$	Si	0,81	Св-0,8
2...6 % Хр-6	$y = 0,21 + 0,156x$	Cr	0,8	Св-0,8
1...6 % ПАК-1	$y = 1,73 + 0,211x$	Mn	0,83	Нп-80
1...6 % ПАК-1	$y = 0,47 + 0,102x$	Si	0,79	Нп-80
2...6 % Mn-6	$y = 1,69 + 0,120x$	Mn	0,74	Нп-80
2...6 % Mn-6	$y = 0,61 + 0,043x$	Si	0,74	Нп-80
4 % Mn-6+1...4 % ПАК-1	$y = 2,21 + 0,202x$	Mn	0,76	Нп-80
2...6 % Cu-75	$y = 1,27 + 0,106x$	Mn	0,70	Нп-80
2...6 % Cu-75	$y = 0,75 + 0,086x$	Si	0,67	Нп-80
2...6 % Хр-6	$y = 0,18 + 0,134x$	Cr	0,74	Нп-80
4 % Mn-6 + 1...4 % ПАК-1	$y = 0,87 + 0,168x$	Cr	0,72	Нп-80
2...6 % Вд-1	$y = 0,12 + 0,084x$	V	0,76	Нп-80
4 % ВД-1 + 1...4 % ПАК-1	$y = 0,50 + 0,063x$	V	0,76	Нп-80
0...30 % CaC ₂	$y = 2,576 + 0,148x$	Mn	0,76	Нп-80
0...30 % CaC ₂	$y = 0,612 + 0,016x$	Si	0,79	Нп-80

В 1957 году Н.С. Елистратовым проведены исследования и разработаны электроды для сварки чугуна типа СЧС с получением наплавленного металла в виде мягкой стали. Изготовлены электроды из проволоки Св-08 с обмазкой, в состав которой входят компоненты, которые легко размещаются в зоне дуги с выделением кислорода для окисления графита чугуна [23]. Коэффициент покрытия указанных электродов составлял 40 %, состав обмазки: 50 % гематита, 50 % мрамора [24].

В 1989 г. в Благовещенском сельскохозяйственном институте (БСХИ) на кафедре «Технология металлов» разработана технология восстановления чугунных коленчатых валов. В таблице 2 приведены химический состав, структура наплавленного металла, износостойкость поверхностного пласта при разных технологических вариантах восстановления [24].

Таблица 2 – Влияние разных способов восстановления на химический состав и износостойкость чугунных коленчатых валов

Способ восстановления	Химический состав металлопокрытия на шейках валов, %				Структура металло- покрытия	Твер- дость HRC	Коэффициент износостой- кости $K = \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{нов}}}$
	C	Cr	Si	Mn			
Вибродуговая наплавка проволокой ПК-2 (ТИИМСХ)	0,74...1,05	—	0,23...0,56	0,2...0,47	троосто- мартенсит	46...50	0,8
Электродуговое 2-шаровое наплавление проволокой Св-08А под легирующим флюсом (НИИАТ)	0,8...0,85	1,7...1,9	1,5...1,7	0,7...0,9	мартенсит	55...60	1,0
Электродуговая наплавка проволокой Св-08А по оболочке под легирующим флюсом (НИИАТ)	0,83	1,8	1,79	0,65	мартенсит	55...60	1,0
Электродуговая наплавка проволокой Св-08А под смесью флюсов АНК-18 и АН-60 с подачей в сварочную ванну дополнительного присадочного провода (ЧИМЭСХ)	0,7...0,8	1,8...1,9	0,28...0,32	1,92...2,0	мартенсит	56...60	1,5...1,8
Электродуговая наплавка самозащитной проволокой ЗП-439 в потоке воздуха (НИИАТ)	0,76...0,86	—	0,63...0,78	0,75...0,87	троосто- мартенсит	54...59	1,5...2,0
Электродуговая наплавка проводом 1,6Нп-80 под флюсом ФО-28 (а.с. 353804) (БСХИ)	1,40	—	0,33	3,36	аустенит + троостит	23...31	2,8...3,0

Заключение

Основное развитие теоретических основ дуговой сварки и наплавки началось в конце 30-х годов XX столетия, когда возникла потребность создать новые автоматизированные технологические процессы, которые обеспечивали бы высокое качество соединений, высокопроизводительные методы сварки и наплавки.

Литература

1. Воловик, Е.Л. Справочник по восстановлению деталей / Е.Л. Воловик. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
2. Академик В.В. Петров, 1761–1834. К истории физики и химии в России в начале XIX в.: сб. ст. и материалов / под. ред. С.И. Вавилова. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – 251 с.
3. Thomson, E. Electricwelding / E. Thomson // J. Franklin Inst. – 1887. – Vol. 123, № 737. – P. 245–247.
4. Бенардос, Н.Н. Проект исправления «Царь-колокола» / Н.Н. Бенардос. – СПб., 1890. – 16 с.
5. Огиевецкий, А.С. Николай Николаевич Бенардос / А.С. Огиевецкий, Л.Л. Радунский. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1952. – 206 с.
6. Корниенко, А.Н. Н.Н. Бенардос – автор способа дуговой сварки / А.Н. Корниенко // Сварочное производство. – 1981. – № 7. – С. 4–5.
7. Шателен, М.А. Русские электротехники XIX века / М.А. Шателен. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 432 с.
8. Сварка в СССР: в 2 т. / под ред. В.А. Винокурова. – М., 1981. – Т. 1. – 535 с.
9. Остапенко, Н.Г. Автоматическая сварка бортовых швов угольным электродом в атмосфере углекислого газа / Н.Г. Остапенко // Юбил. сб., посвященный 80-летию Е.О. Патона. – К.: Изд-во АН УССР, 1951. – С. 53–59.
10. Способ автоматической электродуговой сварки: а.с. 82915 СССР, МПК В23К25/00, В23К37/06. / Г.З. Волошкевич. – № 389336; заявл. 27.11.1948; опубл. в БИОТЗ, 01.01.1950. – № 2.
11. Клековкин, Г.П. Вибродуговая наплавка в струе электролита – новый метод восстановления изношенных деталей машин и механизмов / Г.П. Клековкин, И.Е. Ульман // Восстановление изношенных деталей автоматической вибродуговой наплавкой: [сб. статей] / Челябинское НТО машпрома. – Челябинск: Челябинское обл. изд-во, 1956.
12. Клековкин, Г.П. Вибродуговая наплавка в струе охлаждающей жидкости – новый метод восстановления изношенных деталей машин и механизмов / Г.П. Клековкин, И.Е. Ульман // Восстановление изношенных деталей автоматической вибродуговой наплавкой: [сб. статей]. – Челябинск: Челябинское кн. изд-во, 1956. – С. 8–63. – Библиогр.: С. 62–63.
13. Николаев, Г.А. Элементы сварных конструкций / Г.А. Николаев. – М.: Госстройиздат. – 1933. – 318 с.
14. Хренов, К.К. Наставление по подводной электрической сварке и резке металлов / К.К. Хренов. – М.; Л.: Военмориздат, 1943. – 160 с.
15. Хренов, К.К. Подводная электрическая сварка и резка металлов / К.К. Хренов. – М.: Воениздат, 1946. – 160 с.
16. Вологдин, В.П. Поверхностная индукционная закалка / В.П. Вологдин. – М., 1947. – 54 с.
17. Вологдин, В.П. Выпрямители / В.П. Вологдин. – 2-е изд. – М.; Л., 1936. – 232 с.
18. Патон, Е.О. Избранные труды: в 3 т. / Е.О. Патон. – К.: Наук. думка. – Т. 1: Исследования работ пролетных строений мостов. – 1959. – 580 с.; Т.2: Сварные конструкции. – 1960. – 329 с.; Т.3: Сварка под флюсом. – 1961. – 558 с.
19. Николаев, Г.А. Сварные конструкции / Г.А. Николаев. – М., 1963. – 219 с.

20. Сварка в машиностроении / под ред. Н.А. Ольшанского. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 504 с.
21. Технология электрической сварки плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.; К.: Машгиз; ГОНТИ, 1962. – 663 с.
22. О переходе легирующих элементов при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники / Д.Г. Вадивасов и [др.]. – Благовещенск, 1971. – 25 с.
23. Елистратов, Н.С. Металлургические основы сварки чугуна / Н.С. Елистратов. – М.: Машгиз, 1957. – 65 с.
24. Сварка и резка чугуна / В.Г. Иванов [и др.]. – М.: Машгиз, 1977. – 65 с.