



КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ

И.А. РЯБЦЕВ, Ю.Н. ЛАНКИН, В.Г. СОЛОВЬЕВ, П.П. ОСЕЧКОВ, В.А. ТИЩЕНКО, А.Г. ТИХОМИРОВ
ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

На базе портативного компьютера и современного программного обеспечения разработана информационно-измерительная система, которая предназначена для исследования особенностей и последующей автоматизации процессов дуговой наплавки. На наплавочной установке, оснащенной разработанной компьютерной информационно-измерительной системой (КИИС), можно с высокой степенью точности и достоверности выполнять экспериментальные исследования влияния способа наплавки, диаметра или сечения используемого электродного материала на его сварочно-технологические характеристики и качество формирования наплавленных валиков и слоев. КИИС по мере накопления баз данных по технологиям дуговой наплавки различных деталей может послужить основой для создания систем автоматического управления процессами дуговой наплавки. Библиогр. 3, табл. 1, рис. 4.

Ключевые слова: дуговая наплавка, автоматизация дуговой наплавки, порошковые проволоки, режимы наплавки, технологии наплавки

Дуговая наплавка, в силу своей универсальности, применяется для восстановления и упрочнения деталей различной конфигурации, размеров и массы. При этом при наплавке деталей (листов), имеющих небольшую толщину (менее 5 мм), из-за опасности прожогов необходимо использовать электродные проволоки малых диаметров, высокую скорость наплавки и минимально возможные показатели режима наплавки по току и напряжению. Однако это может понизить стабильность и производительность процесса наплавки, ухудшить формирование наплавленных валиков. В то же время если опасности прожогов нет, то для повышения производительности используются максимальные режимы наплавки. В результате увеличивается проплавление основного металла и его доля в наплавленном металле, что зачастую приводит к необходимости выполнения многослойной наплавки.

На практике на производстве решение задачи разработки технологии и техники наплавки конкретной детали зависит от опыта технолога-наплавщика, что не всегда приводит к оптимальному результату. Чтобы избежать возможных ошибок при разработке технологий наплавки, необходима более высокая степень автоматизации и компьютеризации разработки и управления процессами дуговой наплавки.

Разработка систем автоматического управления процессами дуговой наплавки различных деталей требует учета многих параметров. Она должна обеспечивать возможность выбора типа электродного материала (сплошная или порошковая проволока; холоднокатаная или порошковая лента) и его раз-

меров (диаметр, сечение); способа наплавки (под флюсом, открытой дугой или в защитных газах); задания и поддержания заданных режимов и техники наплавки; отметки случайных или преднамеренных отклонений от заданных режимов наплавки; запоминания и последующего использования оптимальных режимов наплавки конкретных деталей. Имеющийся опыт [1–3] показывает, что современный уровень развития компьютерной техники позволяет решить эту проблему.

Если не усложнять проблему разработки систем автоматического управления процессами дуговой наплавки выбором химического состава наплавленного металла, который производится, исходя из условий эксплуатации конкретной наплавляемой детали, то примерный перечень данных, необходимых для разработки таких систем, выглядит следующим образом: напряжение наплавки $U_n(t)$; ток наплавки $I_n(t)$; диаметр (сечение) электродного материала; скорость подачи электродного материала; скорость наплавки; погонная энергия наплавки; вылет электродной проволоки (ленты); геометрические размеры наплавляемых валиков и перекрытие соседних наплавленных валиков; геометрические размеры наплавляемой детали, образца; марка электродной проволоки (ленты); марка основного металла; необходимость использования защитного газа и его состав; необходимость использования флюса и его марка; необходимость использования предварительного подогрева и посленаплавочной термообработки; комплексный показатель качества наплавки, учитывающий геометрические размеры и формиро-



вание наплавленного металла, долю основного металла в наплавленном металле, производительность наплавки, характер переноса расплавленного электродного металла и стабильность протекающего процесса и др.

Существующие универсальные наплавочные установки типа УМН-4, УМН-10, У-653 и др., а также наплавочные аппараты (установки) типа АД-231, А-1406, А-1412 обычно комплектуются источниками питания типа ВДУ-506, ВДУ-1201 или ВДУ-1202, которые рассчитаны на токи наплавки до 500 и 1200 А, соответственно. На этом оборудовании настройка режима наплавки по напряжению производится с помощью потенциометров в схеме управления источника питания и установки, а по току с помощью потенциометра, регулирующего скорость подачи электродной проволоки в схеме управления наплавочной установки. Учитывая это обстоятельство, настройку необходимых режимов наплавки по току и напряжению выполняют, изменяя положение потенциометра регулирования напряжения P_u и положение потенциометра регулирования скорости подачи проволоки P_{vp} во время наплавки контрольных образцов.

Для автоматического определения положения потенциометров (P_u и P_{vp}) в соответствии с заданными усредненными значениями тока наплавки \bar{I}_H и напряжения наплавки \bar{U}_H требуется определить математические зависимости $P_u = F_u[\bar{U}_H, \bar{I}_H]$ и $P_{vp} = F_{vp}[\bar{U}_H, \bar{I}_H]$. Функции F_u и F_{vp} относятся к конкретному источнику тока и к конкретной установке, а также к конкретной настройке способа и режима наплавки. Для получения этих функций необходимо собрать экспериментальную базу данных для каждого из способов, видов и режимов наплавки, для которых предназначена установка.

Для получения этих зависимостей и наполнения компьютерной базы данных по режимам наплавки была проведена серия экспериментов по наплавке порошковыми проволоками открытой дугой, под флюсом и в защитных газах. Эксперименты выполняли на универсальной наплавочной установке У-653, укомплектованной выпрямителем ВДУ 506. На ней можно выполнять наплавку плоских деталей и деталей типа тел вращения.

Регистрацию тока и напряжения наплавки в этих экспериментах проводили с помощью разработанной компьютерной информационно-измерительной системы (КИИС). Оцифровка и ввод данных первичных преобразователей в компьютер осуществлялись с помощью измерительного преобразователя напряжения Е14-140 фирмы «Л-Кард» со встроенным 14-разрядным АЦП. Регистрация параметров осуществлялась с частотой 1 кГц. Обработку входных данных выполняли с помощью специально разработанного программного обеспечения в среде Microsoft Visual Studio 2010. Для анализа выходных данных системы использовали стандартные ПО, такие как PowerGraph, MATLAB и др. По введенным в компьютер данным автоматически идентифицируется текущее состояние исследуемого процесса (зажигание дуги, обрывы дуги, короткие замыкания дугового промежутка, периоды горения дуги) и рассчитываются параметры тока и напряжения для соответствующего процесса наплавки.

В целом КИИС обеспечивает контроль и регистрацию следующих параметров процесса наплавки: текущие значения напряжения наплавки $U_H(t)$; текущие значения тока наплавки $I_H(t)$; текущие значения напряжения дуги $U_d(t)$ и тока дуги $I_d(t)$, при этом $U_d(t)$ и $I_d(t)$ определяли путем исключения из $U_H(t)$ и $I_H(t)$ значений напряжения и тока в промежутки времени появления коротких замыканий и обрывов дуги; средние за время наплавки

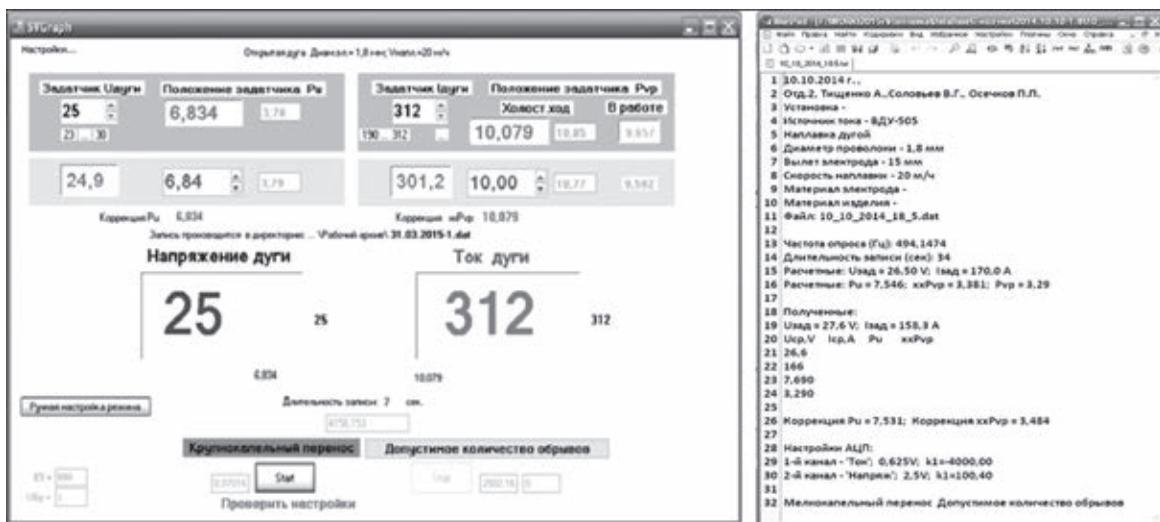


Рис. 1. Основной интерфейс системы для ввода, контроля и записи параметров наплавки (а) и протокол записи результатов эксперимента по наплавке (б)



Результаты экспериментов по наплавке открытой дугой самозащитной порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС диаметром 1,8 мм, показывающие зависимости между положением потенциометров регулятора напряжения P_u и регулятора скорости подачи проволоки P_{vp} и средними значениями напряжения \bar{U}_d^* и тока \bar{I}_d^* , записанными системой

Номер эксперимента	\bar{U}_d , В	\bar{I}_d , А	P_u	P_{vp}	Номер эксперимента	\bar{U}_d , В	\bar{I}_d , А	P_u	P_{vp}
1	27,6	179	7,69	3,29	14	23,8	193	6,42	5,01
2	25,6	182	7,26	3,49	15	23,4	177	6,01	5,52
3	26,5	206	7,54	3,38	16	26,5	251	7,77	5,49
4	27,6	177	7,69	3,41	17	25,7	144	7,01	3,00
5	25,2	233	7,41	4,27	18	23,4	156	5,61	5,03
6	25,8	210	7,41	4,27	19	23,7	158	6,32	3,74
7	27,8	211	7,91	4,23	20	25,0	160	6,95	3,74
8	25,9	285	7,77	5,81	21	26,1	214	7,51	4,51
9	22,7	265	6,92	6,14	22	23,9	174	6,33	3,90
10	24,0	240	7,00	4,76	23	28,8	217	8,16	4,39
11	23,1	197	6,44	4,76	24	23,7	200	6,82	5,16
12	24,9	256	7,41	5,49	25	22,8	219	6,33	5,61
13	24,0	176	6,42	4,53	26	24,0	285	7,32	5,61

* \bar{U}_d , \bar{I}_d — усредненные за время наплавки напряжение дуги $U_d(t)$ и ток дуги $I_d(t)$, соответственно.

напряжению дуги \bar{U}_d и ток дуги \bar{I}_d ; ввод заданий на напряжения дуги $U_{дз}$ и тока дуги $I_{дз}$; ручной ввод и индикацию значений $P_{из}$ и $P_{vpз}$; индикацию рабочей зоны аппроксимирующих функций (в параметрах \bar{U}_d и \bar{I}_d), обеспечивающей точность аппроксимации по напряжению $\pm 1В$ и току $\pm 10А$.

Основной интерфейс КИИС изображен на рис. 1, а. По результатам наплавки формируется протокол наплавки (рис. 1, б). В протокол заносится вся необходимая информация, которая в дальнейшем используется для анализа, обработки и формирования аппроксимирующих функций.

Для проведения упомянутых выше экспериментальных исследований было изготовлено девять опытных партий порошковых проволок диаметром 1,8; 2,4 и 2,8 мм для наплавки под флюсом, открытой дугой и в защитных газах. Металлическую часть шихты порошковых проволок рассчитывали таким образом, чтобы обеспечивалось получение наплавленно-го металла одного типа — 25Х5ФМС.

В качестве основного металла использовали пластины из стали Ст3 толщиной 15 мм. Опытными проволоками выполняли наплавку образцов в широком диапазоне режимов наплавки по току и

напряжению. В выбранном диапазоне режимов фиксировали соотношения между положением потенциометров P_{vp} и P_u и средними значениями тока дуги \bar{I}_d и напряжения дуги \bar{U}_d , записанными КИИС (см. рис. 1).

Всего выполнено девять серий экспериментов в приведенных ниже диапазонах режимов наплавки. Во всех экспериментах наплавку выполняли на одной скорости — 20 м/ч.

1. 19 экспериментов по наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром 1,8 мм; ток 160...260 А; напряжение 22...29 В.

2. 22 эксперимента по наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром 2,4 мм; ток 180...300 А; напряжение 24...32 В.

3. 34 эксперимента по наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром 2,8 мм; ток 200...300 А; напряжение 24...32 В.

4. 17 экспериментов по наплавке под флюсом АН-26 порошковой проволокой диаметром 1,8 мм; ток 240...300 А; напряжение 26...31 В.

5. 25 экспериментов по наплавке под флюсом АН-26 порошковой проволокой диаметром 2,4 мм; ток 220...400 А; напряжение 22...32 В.

6. 24 эксперимента по наплавке под флюсом АН-26 порошковой проволокой диаметром 2,8 мм; ток 240...420 А; напряжение 22...38 В.

7. 14 экспериментов по наплавке в смеси защитных газов (82 % Ar + 18 % CO₂) порошковой проволокой диаметром 1,8 мм; ток 220...310 А; напряжение 20...30 В.

8. 12 экспериментов по наплавке в смеси защитных газов (82 % Ar + 18 % CO₂) порошковой проволокой диаметром 2,4 мм; ток 210...440 А; напряжение 22...40 В.

9. 26 экспериментов по наплавке в смеси защитных газов (82 % Ar+18 % CO₂) порошковой

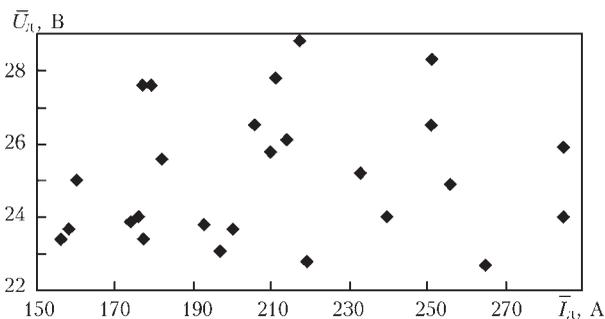


Рис. 2. Область использованных режимов при проведении экспериментов по наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром 1,8 мм

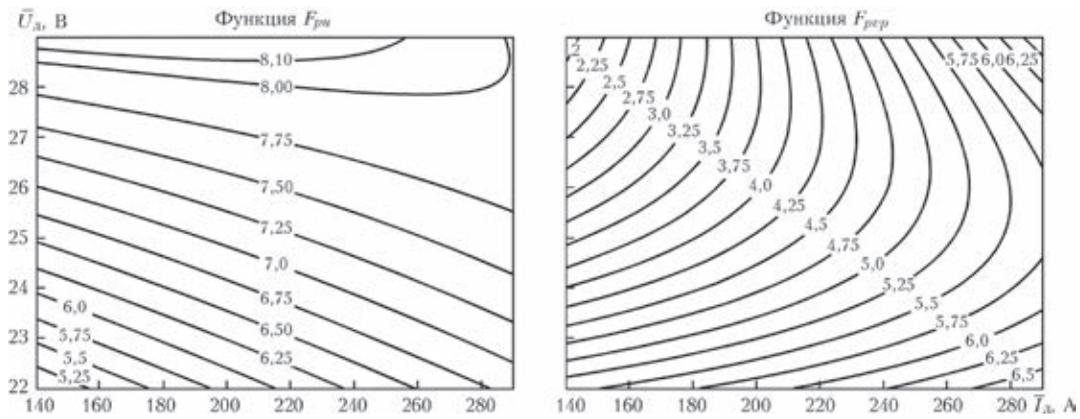


Рис. 3. Графики функций $F_{ру}$ и F_{rvp} в зависимости от средних значений тока и напряжения дуги при наплавке открытой дугой самозащитной порошковой проволокой диаметром 1,8 мм

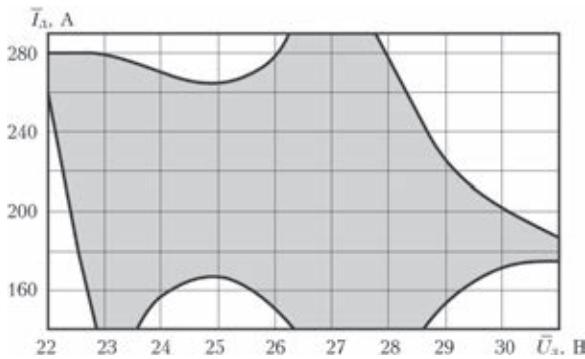


Рис. 4. Область режимов наплавки открытой дугой порошковой проволокой диаметром 1,8 мм, в которой погрешность аппроксимации по напряжению и току при наплавке не превышает ± 1 В и ± 10 А, соответственно

проволокой диаметром 2,8 мм; ток 180...340 А; напряжение 22...40 В.

В таблице в качестве примера приведены результаты экспериментов, которые получены при наплавке открытой дугой самозащитной порошковой проволокой диаметром 1,8 мм, а на рис. 2 приведена область использованных режимов наплавки.

Был проведен регрессионный анализ данных, приведенных в таблице и на рис. 2, по результатам которого построены графики функций $F_{ру}$, F_{rvp} в зависимости от средних значений тока и напряжения дуги при наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром 1,8 мм (рис. 3).

На рис. 4 приведена область режимов наплавки открытой дугой порошковой проволокой диаметром 1,8 мм в координатах \bar{I}_d / \bar{U}_d , и в которой погрешность аппроксимации при задании напряжения и тока наплавки не превышает ± 1 В и ± 10 А, соответственно.

В результате выполнения всех девяти серий экспериментов были получены аналогичные зависимости между положением соответствующих

потенциометров регулирования напряжения и скорости подачи проволоки и вычисленными средними значениями тока дуги и напряжения дуги, записанными КИИС в процессе наплавки каждого из примерно двухсот наплавленных валков.

Выводы

1. На базе портативного компьютера и современного программного обеспечения разработана информационно-измерительная система, которая предназначена для исследования особенностей дуговой наплавки. КИИС по мере накопления баз данных по технологиям дуговой наплавки различных деталей послужит основой для создания систем автоматического управления дуговой наплавкой.

2. По результатам экспериментальных исследований по наплавке порошковыми проволоками открытой дугой, в защитных газах и под флюсом определены зависимости между положением соответствующих потенциометров регулирования напряжения и скорости подачи проволоки и средними значениями тока и напряжения дуги для наплавки, задаваемыми технологом-наплавщиком. Это позволяет с помощью разработанной КИИС с высокой степенью точности устанавливать режимы наплавки по току и напряжению дуги без проведения наплавки контрольных образцов.

1. *Экспертная система «Наплавка»* / И.В. Бочарников, П.В. Гладкий, В.Ф. Демченко и др. // Наплавленный металл. Состав, структура, свойства. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1992. – С. 94–97.
2. *Демченко В.Ф., Козлитина С.С., Рябцев И.А.* Компьютерная система проектирования технологий дуговой наплавки // Автомат. сварка. – 1998. – № 11. – С. 61–66.
3. *Влияние электрических параметров дуговой наплавки порошковой проволокой на стабильность процесса и проплавление основного металла* / Ю.Н. Ланкин, И.А. Рябцев, В.Г. Соловьев и др. // Автомат. сварка. – № 9. – 2014. – С. 27–32.

Поступила в редакцию 23.06.2015