

10. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / Болотин В.В. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
11. Вучечич, И.И. Оценка остаточного ресурса грузовых вагонов железных дорог / И.И. Вучечич, Б.А. Деркач, А.Д. Кочнов // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – №2. – С.14-18.
12. Гудков, А.И. Внешние нагрузки и прочность летательных аппаратов / А.И. Гудков, П.С. Лешаков, Л. Г. Райков. – М.: Оборонгиз, 1963. – 440 с.
13. Плоткин, В.С. К вопросу совершенствования методик оценки прочности литых деталей тележек грузовых вагонов при их проектировании и испытаниях для цели подтверждения соответствия / В.С. Плоткин, А.М. Краснобаев, О.А. Краснобаев // Вестник ВНИИЖТ. – 2014. – №6. – С. 33–37.
14. Беженев, С.А. Методические аспекты проблемы оценки характеристик сопротивления усталости металлических материалов / С.А. Беженев // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2011. – №1. – С. 27–31.
15. Карзов, Г.П. Физико-механическое моделирование процессов разрушения / Г.П. Карзов, Б.З. Марголин, В.А. Швецова. – СПб. : Политехника, 1993. – 391 с.
16. Корнилова, А.В. Определение общей долговечности и остаточного ресурса объекта по критерию многоциклового усталости / А.В. Корнилова // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 1. – С. 47–51.
17. Трощенко, В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник. В 2-х т. / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский – Киев: Наук.думка, 1987. – Т. 1. – 514 с.; Т. 2. – 690 с.
18. Когаев, В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 223 с.

О стабильности времени расплавления электрода как критерия навыка сварщика

Сидоров В. П., д-р техн. наук, профессор
ТГУ, г. Тольятти

Целью работы являлось определение перспективности использования стабильности времени расплавления покрытия электрода для оценки навыков и состояния сварщика. Исследована стабильность времени расплавления покрытых электродов марки ОК 53.70 у группы из десяти квалифицированных сварщиков. Разработана методика расчета времени расплавления всего покрытия при небольшом огарке. Зависимость времени расплавления электрода от тока дуги для средних значений группы сварщиков описывается с высокой точностью гиперболой. Разброс времени расплавления покрытия электрода на рекомендуемой для электродов обратной полярности дуги у сварщиков существенно отличается. Наиболее существенный разброс наблюдается при наплавке на минимальном рекомендуемом токе. Отклонения времени расплавления электрода для всей группы от среднего значения группы подчиняются нормальному закону распределения. По среднеквадратичному отклонению времени группы можно оценить существенность отклонений у каждого сварщика. Количественная оценка навыков сварщиков по предлагаемой методике совпадает с качественной оценкой учебного мастера. По результатам тестирования, для повышения индивидуализации обучения предложен подход к разбиению сварщиков на подгруппы по уровню стабильности времени расплавления электрода. Результаты наплавки на прямой полярности дуги в основном совпадают с результатами для прямой полярности. Для получения

стандартных гиперболических зависимостей, которые могут служить базой оценки навыка равномерности расплавления электрода, следует привлекать наиболее квалифицированных сварщиков.

Ключевые слова: время расплавления электрода, нормальное распределение, среднеквадратичное отклонение, навыки сварщика

Введение. Ручная дуговая сварка покрытым электродом по трудоемкости выполняемых ею работ занимает в России ведущее место с большим опережением других способов сварки плавлением. По разным оценкам доля ручной сварки составляет около 85% объемов дуговой сварки. Это подтверждается процентом аттестованных сварщиков ручной сварки в системе НАКС. Поэтому повышение квалификации сварщиков и качества выполняемых ими работ весьма актуальны.

Можно утверждать, что аттестация сварщиков является необходимым, но не достаточным условием постоянного качественного выполнения работ. Текущий неразрушающий и разрушающий контроль являются весьма затратными. Имеется потребность в периодическом и достаточно частом, недорогом контроле квалификации и физического состояния сварщика.

В настоящее время ведется подготовка к оценке профессиональных квалификаций специалистов различных уровней, в том числе в области сварки и для ее выполнения могут потребоваться новые подходы. В частности, вряд ли в этом случае следует опираться на требования к качеству сварочного шва, относящиеся к какой-либо одной группе опасных технических устройств.

Известны работы, в которых предпринята попытка сделать оценку качества шва при ручной сварке и, следовательно, квалификации сварщика более объективными [1-3]. Способ, разработанный в [1-3] предполагает оцифровку формы поверхности сварочного шва с помощью лазера и сравнение шва выполненного сварщиком с эталонным швом по предложенному критерию. Этот способ требует использования достаточно сложной и дорогой аппаратуры и участия высококвалифицированных кадров. Подход, основанный на изучении моторных навыков сварщика посредством анализа параметров сварочной дуги, исследовался в работе [4], но пока не нашел широкого применения. Поэтому остается потребность в создании методов экспресс - оценки навыков сварщика. Одним из таких методов может стать исследование стабильности времени расплавления покрытия электрода.

Методика проведения исследований. Исследования проводили в группе из 10 сварщиков, проходивших переподготовку в учебном центре на последней неделе обучения, продолжавшегося месяц. Сварщики представляли различные ремонтные предприятия и ранее были аттестованы на группу опасных технических устройств «Нефтегазодобывающее оборудование». Выполнялась наплавка в нижнем положении на стальную пластину валиков шириной 10-15 мм электродами ОК 53.70 диаметром $d_E=2,5$ мм

длиной $L=350$ мм. Для наплавки использовали источник питания Invertek 350PRO, имеющий цифровую индикацию значений тока сварки с точностью 1 А. Напряжение дуги во всех опытах находилось в пределах $U_d=19-22$ В. Использовали электрододержатель DE2300 фирмы "KURT-HAUFE" рассчитанный на электроды диаметром 2-6,3 мм. Длина оголенного участка электродов составляла $L_0=22$ мм. Наплавка выполнялась на трех токах из рекомендованного паспортом на электроды диапазона: минимальном $I_M=60$ А, среднем $I_C=72$ А и максимальном $I_B=85$ А. Наплавку на установленном токе сварщики выполняли поочередно, после чего ток изменялся. Каждый опыт на данном токе повторялся. Измеряли длину расплавленной части и огарка электронным штангенциркулем ЩЦЦ-1-150-0.01 с точностью до 0.1 мм и округляли полученные значения до 1 мм. Время горения дуги измерялось секундомером СОСпр-26-2-010 с ценой деления 0.01 с. Сведения о сварщиках приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения о сварщиках группы

Шифр сварщика	Возраст, лет	Стаж работы, лет	Разряд	Какое учебное заведение окончил
Б	56	36	6	Курсы
В	38	17	6	Курсы
Е	44	25	5	ПТУ
З	37	18	5	ПТУ
Л1	29	10	5	ПТУ
Л2	53	29	6	Курсы
П1	26	10	5	Техникум
П2	28	10	5	Колледж
Ф	52	37	6	ПТУ
Х	43	18	5	ПТУ

Обращает на себя внимание факт, что некоторые сварщики, имея стаж от 18 до 25 лет, не имеют высшего 6-го разряда. Средний возраст сварщиков 41 год, средний стаж 21 год.

Сварщики инструктировались о необходимости максимально расплавлять покрытие электрода. При этом в ряде случаев покрытие оставалось нерасплавленным в среднем примерно на длине 10 мм. Корректировку результата (приведение) на всю длину покрытия производили следующим образом. Сначала рассчитывалась средняя скорость расплавления для длины расплавленного участка. Затем определялось время, при котором покрытие расплавилось бы полностью при условии сохранения средней скорости расплавления. Полученные два значения времени расплавления всего покрытия усреднялись и использовались для статистической оценки результатов опытов группы. Опыты проводились как для рекомендованной документацией обратной полярности дуги, так и для прямой полярности. Для каждого тока рассчитывалось среднее время расплавления покрытия всей группы t_c , отклонение времени каждого сварщика от полученного

среднего отклонения Δt_c , дисперсия S^2 , среднее квадратичное отклонение S , несмещенную дисперсию S_s^2 , несмещенное среднее квадратичное отклонение S_s и коэффициент вариации v [5].

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты опытов для обратной полярности дуги приведены в табл. 2.

Таблица 2

Время t расплавления покрытия на обратной полярности, секунд

Сварщик	1	2	3	4	5	6	7
	I=60 А	Δt_c	I=72 А	Δt_c	I=85 А	Δt_c	$\Sigma \Delta_c$
Б	83.75	2.1	67.4	0.4	57.2	0.8	3.3
В	82.5	0.8	67.45	0.5	56.4	0	1.3
Е	79.1	2.6	66.2	0.8	55.85	0.5	3.9
З	82.5	0.8	66.9	0.1	56.45	0	0.9
Л1	81.0	0.7	66.0	1.0	55.85	0.5	2.2
Л2	82.1	0.4	67.55	0.6	56.6	0.8	1.8
П1	83.1	1.4	68.0	1.0	57.7	1.3	3.7
П2	78.1	3.6	65.5	1.5	55.9	0.5	5.6
Ф	81.9	0.3	67.05	0.05	56.35	0	0.35
Х	82.85	1.16	67.85	0.85	56.4	0	2.0
Δ_c	81.69	1.52	66.99	0.68	56.37	0.44	2.64
Расчет по формуле (1)	81.59		67.22		56.24		

По всей группе минимальное время расплавления электрода на токе 60 А составило 78,1 с, максимальное 83,75 с. Разница (размах варьирования) составляет $R = 5,65$ с, что весьма существенно. На токе 85 А разница уменьшилась до $R = 1,85$ с, то есть в три раза. Отклонения от средних значений для каждого сварщика определялись по отношению к средним опытным значениям всей группы. Среднее квадратичное отклонение уменьшилось в еще большей степени с $S = 1,715$ с до $S = 0,464$ с (табл.4). Коэффициент вариации v уменьшился в 1,5 раза. Несмещенные оценки получены при уменьшении числа опытов до $n = 9$ и обозначены S_s . Таким образом, стабильность горения дуги повышается с увеличением тока. Возможно, что это связано с тем, что на производстве сварщики в большинстве случаев предпочитают вести сварку на максимальных токах и их навыки в этом случае лучше. Общими причинами нестабильности времени расплавления электродов является, скорее всего, нестабильность поддержания постоянной длины дуги и, вследствие этого, колебаний сварочного тока, приводящих к изменению скорости расплавления электродов. Этот вопрос требует дополнительного исследования путем фиксации значений мгновенных значений тока определения рабочего среднего тока дуги.

Проверка на отсев грубых погрешностей по методу вычисления максимальных относительных отклонений [5] показала, что на всех трех токах таких измерений нет.

Проверка гипотезы нормального распределения для всех трех токов проводилась по двум методикам – среднему абсолютному отклонению

(CAO) и по размаху варьирования R [5]. Для токов 60 А и 72 А проверка показала соответствие нормальному распределению по двум критериям, а для тока 85 А – только по первому критерию. Причем второй критерий находится близко к границе установленного диапазона. Значения параметров показывают уменьшение вероятности нормального распределения данных с увеличением тока дуги.

Для каждого из токов можно определить в группе трех сварщиков, у которых среднее отклонение от математического ожидания превышает несмещенное среднеквадратичное отклонение. В табл. 2 эти данные выделены жирным шрифтом и подчеркнуты. При токе 60 А это сварщики Б, Е и П2, при токе 72 А сварщики Л1, П1, П2 и при токе 85 А сварщики Б1, Л2, П1. Время ни у одного из сварщиков не вышло за пределы несмещенного среднеквадратичного отклонения на всех трех токах. Но у трех сварщиков на двух токах отклонения вышли за такие пределы. В области до несмещенного среднеквадратичного отклонения S_{Σ} при нормальном распределении должны оказываться $2/3$ всех результатов. Это положение соответствует как раз тому, что $\approx 1/3$ сварщиков вышли при каждом токе из этого предела. Вероятность того, что один и тот же сварщик в двух случаях случайно окажется вне пределов среднеквадратичного отклонения, равна $p=0,33 \cdot 0,33 \approx 0,1$. Поэтому можно считать, что сварщики, показатели которых дважды вышли за пределы среднеквадратичного отклонения попадают в «группу риска» и их переподготовке нужно уделять особое внимание. Данный подход может также использоваться при отборе сварщиков в организациях, в которых они работают, на прохождение переподготовки. Сварщики, попавшие в «группу риска» независимо по итогам переподготовки были оценены учебным мастером. Его качественная оценка совпала количественной оценкой по предлагаемой методике.

По такому же принципу можно определить лучших сварщиков среди участвующих в оценке. Наименьшие относительные отклонения на всех трех токах получились у сварщика Ф. На втором месте показатели сварщика З, у которого лучшие показатели при двух токах. Эти же сварщики оценивались учебным мастером как лучшие.

Усредненные результаты по всем сварщикам для каждого тока были проверены на соответствие гиперболическим зависимостям вида [6]

$$t = F_1 + K_1 / I_d, \quad (1)$$

$$I_d = F_2 + K_2 / t. \quad (2)$$

Коэффициенты F и K рассчитывались по методу наименьших квадратов с помощью компьютерной программы, приведенной в [7]. Аппроксимирующие данные приведены в последней строке табл. 2. Они показывают очень хорошую сходимость между расчетными и средними значениями времени в пределах десятых долей процента. Коэффициенты зависимости (1): $F_1 = -4,6$ с $K_1 = 5172$ А·с. Аналогичная сходимость обеспечивается и для коэффициентов зависимости (2). Поэтому зависимость (1) может ис-

пользоваться в качестве стандартной, а получать ее целесообразнее всего с помощью наиболее квалифицированных сварщиков или на автоматическом устройстве подачи электрода со скоростью по заданной программе по способу [8]. Аналогичные данные были получены для прямой полярности дуги (табл. 3).

Таблица 3

Время трасплавления покрытия на прямой полярности, секунд

Сварщик	1	2	3	4	5	6	7
	I=60 А	Δt_c	I=72 А	Δt_c	I=85 А	Δt_c	$\Sigma \Delta c$
Б1	89.5	1.41	74.8	0	62.15	1.15	2.56
В1	91.45	3.36	77.9	3.1	61.45	0.45	6.91
Е1	86.7	1.39	72.65	2.15	59.05	0.95	4.49
З1	86.75	1.34	75.6	0.8	61.25	0.25	2.39
Л1	89.75	1.66	76.6	1.8	62.85	1.85	5.31
Л2	86.1	1.99	72.25	2.55	60.4	0.6	5.14
П1	90.05	1.96	75.75	0.95	59.9	0.95	4.02
П2	86.75	1.34	71.4	3.4	60.25	0.75	5.49
Ф1	86.75	1.34	76.0	1.2	61.2	1.2	3.74
Х1	87.05	1.04	75.1	0.3	61.8	1.8	3.14
Δc	88.09	1.68	74.8	1.63	61.0	1.0	4.31
Расчет по формуле (1)	88.7		73.4		61.8		

По всей группе минимальное время расплавления электрода на токе 60 А составило 86.1 с, максимальное 91.45 с. Разница составляет 5.35 с, что почти совпадает с аналогичной разностью на обратной полярности. На токе 85 А разница уменьшилась до 3.8 с, то есть не столь значительно как на обратной полярности. Средние квадратичные отклонения оказались одинаковыми для тока 60 А и увеличились примерно в 2.5 раза на больших токах (табл. 4). Коэффициент вариации v изменился аналогично среднему квадратичному отклонению. Таким образом, стабильность горения дуги, в отличие от обратной полярности оказалась максимальной на минимальном токе. Возможно, это связано с тем, что блуждание катодного пятна по поверхности капли на электроде на малом токе меньше, чем на больших токах.

Проверка на отсев грубых погрешностей показала, что и на прямой полярности на всех трех токах таких измерений нет.

Проверка гипотезы нормального распределения для всех трех токов проводилась аналогично, как и для обратной полярности и показала приемлемость этого распределения для всех трех токов.

Для средних значений времени расплавления для каждого тока на прямой полярности также были определены коэффициенты гиперболической зависимости (1): $F_1 = -2.8$ с, $K_1 = 5489$ А·с. Сравнение расчетных и опытных данных проведено в последних строках табл. 3. Сходимость в этом случае несколько меньше, чем для прямой полярности, тем не менее,

ее следует признать хорошей. На рис.1 приведены графики, построенные по формуле (1) для обратной и прямой полярности дуги.

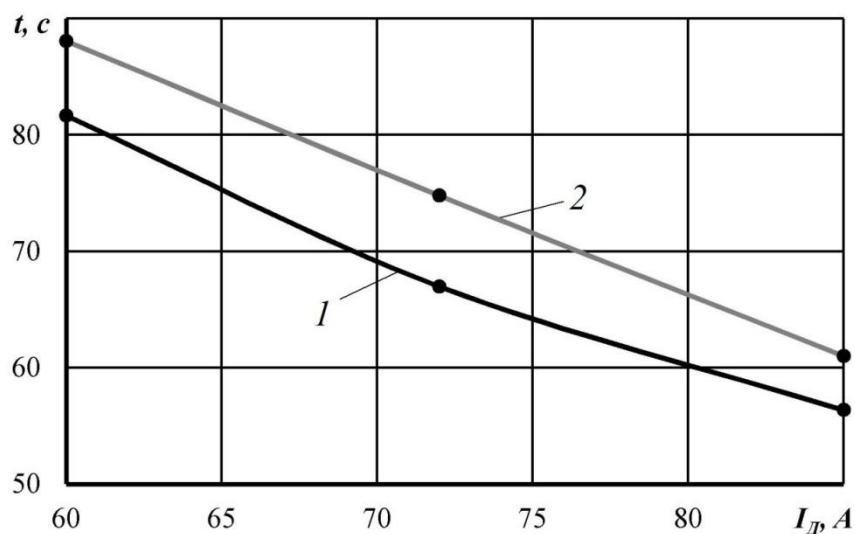


Рисунок 1. Расчетные зависимости времени расплавления покрытия от тока дуги
Электроды ОК 53.70; $d_E=2.5$ мм
1 - Обратная полярность; 2 - Прямая полярность

Таблица 4

Результаты статистической обработки данных табл. 3 и 4

Статистика	Полярность					
	Обратная			Прямая		
	Токи, А					
	60	72	85	60	72	85
t_c, c	81.69	66.99	56.37	88.09	74.8	61.0
S^2, c^2	2.94	0.64	0.216	3.2252	3.864	1.272
S, c	1.715	0.8	0.464	1.80	1.97	1.13
Ss, c	1.906	0.889	0.516	2.0	2.19	1.26
$v, \%$	2,1	1.2	0.8	2.0	2.6	1.9

Сравнивая результаты табл. 2 и 3 по отклонениям от средних значений, можно отметить, что они значительно равномернее распределены у сварщиков для прямой полярности. Это касается опять же только минимального тока 60 А, что подтверждает высказанное ранее предположение. Суммарное отклонение сварщиков также имеет меньший разброс по сравнению с обратной полярностью. Это можно объяснить тем, что наплавка на прямой полярности для всех них является одинаково непривычной и здесь их квалификация проявляется в меньшей степени. На необходимость специальной тренировки сварщиков для сварки на прямой полярности даже для электродов, предназначенных для этого, указано в работе [9].

Выводы

1. Разброс времени расплавления покрытия электрода на рекомендуемой обратной полярности дуги существенно отличается у разных свар-

щиков. Наиболее существенный разброс времени наблюдается при обратной полярности дуги при наплавке на минимальном рекомендуемом токе.

2. Проверка гипотезы нормального распределения по двум критериям, применяемым для небольшого числа экспериментов, показали ее применимость к полученным результатам группы сварщиков, как для обратной, так и для прямой полярности дуги.

3. Предложен подход к разбиению сварщиков на подгруппы по уровню навыка стабильности времени расплавления электрода по результатам тестирования. Качественная оценка квалификации сварщиков учебным мастером совпадает с оценкой по количественными результатами.

4. Гиперболическая зависимость времени расплавления электрода от тока дуги выполняется для средних значений группы сварщиков с высокой точностью. Для получения стандартных гиперболических зависимостей, которые могут служить базой оценки навыка, следует привлекать наиболее квалифицированных сварщиков.

Библиографический список

1. Панков В.В. Оценка квалификации сварщика с применением цифровых технологий / В.В. Панков, В.М. Букин, С.В. Панков, И.Г. Богородский // Сварка и диагностика. 2012. № 6. С.54-58.
2. Патент РФ № 2550979, МКИ G 09/ 03 К 19/24 В23К 9/00 / Способ контроля качества поверхности сварочного шва /Букин В.М., Панков В.В., Богородский И.Г., Панков С.В. Заявитель и патентообладатель ООО «Техмашсервис» (RU); заявл. 03.04.2014; опубл. 20.11.2015; Бюл. № 32.
3. Панков В. Мера формы сварного шва / В.В. Панков, С.В. Панков, И.Г. Богородский В.М. Букин, // Сварка и диагностика. 2016. № 1. С.21-26.
4. Сас А.В. Системы для управления процессами дуговой сварки с обеспечением инвариантности свойств соединений к неконтролируемым возмущениям / А.В. Сас.// Автореф. дисс. докт. техн. наук. Волгоград. - 2008. 35 с.
5. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высш. шк., 1988.- 239 с.
6. Патент РФ № 2639748, МПК В 23 К 9/14 / Способ дуговой двухэлектродной сварки покрытыми электродами/ В.П. Сидоров // Заявитель и патентообладатель В.П. Сидоров (RU); Заявл. 22.09.2016; Бюл. № 36.
7. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. - М.: Наука, 1987 - 240 с.
8. Способ дуговой сварки штучным покрытым электродом / В.П. Сидоров, С.В. Абрамова, И.А. Новский // Решение от 22.11. 2017 о выдаче патента РФ по заявке № 2016110977 от 24.03.2016 г. Опубл. 28.09.2017. Бюл. № 28.
9. Лозовой В.Г. – К вопросу о сварке на прямой полярности / В.Г. Лозовой, В.М. Дзюба, О.В. Дзюба, С.А. Штоколов, С.А. Курланов С.А. // Сварка и Диагностика. 2014. № 6. С. 55-59.