

УДК 621.791.04

**Э.В. Лазарсон**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ НАЗНАЧЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРКИ**

Приведены общие сведения о режиме сварки как важной составляющей технологии сварки. Рассмотрены два варианта назначения параметров режима сварки для конкретных условий: 1) по справочным таблицам, составленным на основе обобщения экспериментальных данных; 2) с использованием расчетов по установленным аналитическим зависимостям. Показаны особенности и проблемы назначения оптимальных параметров режима по каждому варианту.

**Ключевые слова:** сварка, параметры режима, автоматизация выбора режима сварки, алгоритм решения задач сварки.

**E.V. Lasarson**

Perm National Research Polytechnic University

**FEATURES AND PROBLEMS OF THE DESTINATION  
OF WELDING PARAMETERS**

The article provides an overview of welding modes as an important component of welding technology. Considered instead the options the destination of welding parameters for specific conditions. Firstly have to reference tables compiled on the basis of generalization of experimental data. Secondly using settlement established analytical dependence. Shows the features and problems destination optimum parameters for each option.

**Keywords:** welding, mode settings, automatic selection of welding modes, the algorithm of solution of problems of welding.

Сведения о режиме сварки при выполнении конкретного сварного соединения являются обязательной составной частью описания технологии сварки. Характеристики режима (его параметры) определяют условия протекания процесса сварки и, в конечном итоге, качество сварных соединений. Более конкретно, режим сварки оказывает влияние на форму, размеры, состав и структуру металла шва, величину и структуру металла зоны термического влияния, на вероятность образования дефектов в сварных соединениях.

В названии статьи и при дальнейшем изложении материала использован термин «назначение» как более общий по сравнению с понятием «выбор». Имеется в виду, что определить, назначить оптимальный для конкретных условий режим сварки можно не только путем выбора из нескольких возможных, но и с помощью других проектных процедур, в частности на основании проведенных расчетов.

Назначение режима сварки возможно по двум вариантам:

1) на основе экспериментальных данных, как правило, сведенных в таблицы;

2) с использованием расчетов по установленным аналитическим зависимостям.

Наиболее универсальным и повсеместно применяемым является первый вариант.

Состав параметров режима определяется способом сварки, а значения параметров зависят от состава и толщины металла, типа сварного соединения и многих других факторов. Некоторые таблицы режимов составляются для каждого сочетания способов или отдельной разновидности способа сварки, в этих таблицах указываются: группа близких по составу материалов, вид или тип сварного соединения, определенный диапазон свариваемых толщин металла. Нередко к этой четверке добавляют дополнительные параметры, например пространственное положение шва при сварке, характеристику сварочных материалов и пр. Каждый вариант режима представлен в таблице отдельной строкой, в которой указаны конкретные значения параметров.

Учитывая существование сотен разновидностей способов сварки, не менее двух десятков укрупненных групп материалов, многообразие типов сварных соединений и т.д., для полного обеспечения сварочного производства табличными режимами требуются как минимум десятки тысяч таблиц. Создать и использовать такой огромный массив информации нереально.

В справочной литературе приводится гораздо меньшее количество таблиц режимов, в основном для распространенных способов и условий сварки. Нами был проведен анализ содержания нескольких популярных у сварщиков справочников (табл. 1).

Таблица 1

Количество таблиц режимов сварки в справочной литературе

Количество таблиц	Источники информации				
	[1], т. 1 и 2	[2], т. 2	[3]	[4]	[5], т. 1 и 2
Всего	127	51	110	96	112
В том числе по способам сварки:					
ручная дуговая	8	1	6	5	18
под флюсом	17	9	10	20	22
в CO <sub>2</sub>	3	5	6	9	16
в инертных газах	44	11	23	14	15
электрошлаковая	3	–	5	1	11
точечная и рельефная	10	8	10	9	13
контактная шовная	4	1	6	5	8
контактная стыковая	9	2	6	10	2

С учетом данных табл. 1 можно сделать ряд заключений:

1. В справочной литературе приводятся десятки (часто порядка ста) таблиц режимов сварки, что составляет доли процента от максимально возможного количества таблиц.

2. В разных источниках приводятся разные по содержанию таблицы и в разном количестве.

3. Наибольшее количество таблиц режимов приходится на сварку в инертных газах, под флюсом и контактную точечную.

К этому следует добавить, что по специальным способам сварки в справочниках имеется мало данных о режимах в форме таблиц. Например, во втором (технологическом) томе справочника [2] в главах, посвященных 11 специальным способам сварки, таблицы режимов приведены только для лазерной и термокомпрессионной сварки. Для остальных способов сведения о режимах сварки имеют вид текстовых рекомендаций по значениям наиболее важных параметров, часто в виде диапазонов значений или конкретных значений для частных случаев сварки. Также встречается много эмпирических формул для расчета значений отдельных параметров.

Для способов и условий сварки, не отраженных в нормативно-справочной литературе, данные о режимах иногда можно найти в научно-технических и производственных изданиях, журналах, сборниках трудов и пр.

Из приведенных данных видна одна из особенностей назначения режимов сварки – большой объем используемой информации, необходимость работы со множеством таблиц. При создании компьютерных систем это требует больших затрат труда на унификацию таблиц разной структуры, обеспечение информационной согласованности пользования таблицами с помощью СУБД, ввода большого количества цифровой информации в ЭВМ. Тем не менее такая методика принята во многих САПР технологического процесса сварки [6].

Большой компактностью обладает система расчета параметров режима сварки по установленным аналитическим зависимостям. Для ручной сварки покрытыми электродами, дуговой сварки под флюсом и в углекислом газе, электрошлаковой сварки разработаны расчетные методики, алгоритмы которых предусматривают ввод необходимых исходных данных и последующий расчет значений параметров режима по взаимосвязанному набору формул [7, 8]. В этих случаях автоматизация определения режимов не вызывает затруднений, тем более что в литературе можно найти рабочие алгоритмы расчетов [9 и др.].

Однако область применения таких расчетов ограничена несколькими способами сварки и относится преимущественно к соединениям из углеродистых сталей. Для остальных приходится пользоваться готовыми данными, а при их отсутствии устанавливать режимы опытным путем.

Кроме большого объема данных о режимах сварки к особенностям рассматриваемой задачи следует отнести представление значений большинства параметров режима в виде числовых интервалов. Величину интервала обычно не связывают с возможными колебаниями установленного значения параметра в процессе сварки или точностью измерений. С помощью интервалов показывают допустимые пределы изменения параметров без заметного ухудшения качества сварки или стабильности процесса. Таким образом, рекомендуемые значения параметров в определенной мере являются приблизительными, рамочными. Предполагается, что рекомендуемые режимы в каждом случае должны проходить проверку и доводку в производственных условиях.

Такой подход практиковался весь докомпьютерный период развития сварки и в целом считался приемлемым. С появлением вычислительной техники и САПР появилась возможность значительно упростить и ускорить поиск режимов сварки для заданных условий. Но в основном сохранился интервальный метод задания параметров,

при котором компьютер используется для хранения и выдачи по запросу пользователя опытных данных о режиме сварки. Сохранился и этап ручной доводки режима, когда окончательный выбор значений параметров остается за человеком.

Элементы выбора имеют место также при определении режимов сварки с помощью упоминавшихся выше расчетных методов. В процессе проведения расчетов пользователь должен выбирать значения некоторых величин, приводимых в таблицах или формулах в виде интервалов. Так, расчет параметров режима ручной дуговой сварки начинается с выбора диаметра электрода по следующим табличным значениям [6]:

Толщина металла, мм	1–2	3	4–5	6–12	13 и более
Диаметр электрода, мм	1,5–2,0	3	3–4	4–5	5 и более

При сварке многопроходных швов число проходов рассчитывается по значениям площадей первого и последующих проходов, которые определяют по формулам

$$F_1 = (6...8)d_{эл} \text{ и } F_n = (8...12)d_{эл}$$

соответственно.

При сварке под флюсом диаметр проволоки рассчитывают по формуле [6]:

$$d = 2 \sqrt{\frac{I_{св}}{j\pi}},$$

где  $I_{св}$  – сварочный ток, А;  $j$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>, приближенные значения которой приведены ниже:

Диаметр электрода, мм	5	4	3	2
Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	30–50	35–60	45–90	65–200

Принятие решений в условиях неопределенности в приведенных и других подобных случаях возлагается на человека.

К сожалению, литература по сварке изобилует примерами небрежного отношения к представлению информации. Особенно это относится к таблицам.

Табл. 2 взята из известного справочника [4] и может служить примером неполного и неточного представления сведений о режимах сварки.

Таблица 2

Технологические параметры режима сварки в углекислом газе стыковых швов на низкоуглеродистых сталях [4, табл. 104]

$S$ , мм	Зазор, мм	Число слоев	$d_{\text{пров}}$ , мм	$I_{\text{св}}$ , А	$U_{\text{д}}$ , В	$V_{\text{св}}^*$ , м/ч	$Q_{\text{г}}^*$ , л/мин
0,6–1,0	0,5–0,8	1	0,5–0,8	50–60	18–20	20–25	6–7
1,2–2,0	0,8–1,0		0,8–1,0	70–100	18–20	18–24	10–12
3–5	1,6–2,0	1–2	1,6–2,0	180–200	28–30	20–22	14–16
6–8	1,8–2,2		2,0	250–300	28–30	18–22	16–18
8–12	1,8–2,2	2–3				16–20	18–20

\* Скорость сварки  $V_{\text{св}}$  и расход газа  $Q_{\text{г}}$  указаны для одного слоя.

При ознакомлении с таблицей возникает много вопросов и замечаний, например таких:

1. Почему в таблице нет данных для проволоки диаметром 1,2 мм? На многих предприятиях сварку в  $\text{CO}_2$  выполняют именно такой проволокой.

2. Как разделить параметры режима по слоям, если количество слоев указано неточно (1–2 или 2–3)? Для вариантов выполнения сварного шва с разным числом проходов режимы сварки не могут быть одинаковыми по всем параметрам.

3. В 4-й и особенно 5-й строках таблицы данные о режимах приведены для больших диапазонов толщин металла. Сомнительно, что параметры режима для толщин, например, 8 и 12 мм могут быть одинаковыми. Интересно отметить, что на соседней странице того же справочника [4] приведена таблица аналогичного содержания (параметры режима сварки низкоуглеродистых сталей в углекислом газе), но другой структуры и с отличающимися данными (табл. 3).

В таблицах разные аргументы и функции, и расположены они по-разному. В табл. 3 нет привязки к сварному соединению, поэтому не указана толщина свариваемого металла, число проходов, скорость сварки и расход защитного газа, но однозначно указаны диаметры электродной проволоки и даны рекомендации по вылету электрода, которых нет в табл. 2. Диапазоны значений токов и напряжений в таблицах не совпадают – в табл. 3 они значительно шире, особенно по току.

Таблица 3

Технологические параметры сварки низкоуглеродистых сталей  
в углекислом газе [4, табл. 103]

Параметры	Диаметр электродной проволоки						
	0,5	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
$I_{св}$ , А	30–100	60–150	80–180	90–220	120–350	200–500	250–600
$U_{д}$ , В	18–20	18–22	18–24	18–28	18–32	22–34	24–38
Вылет электрода, мм	6–10	8–12	8–14	10–15	14–20	15–25	15–35

Обобщая опыт моделирования выбора режимов сварки, можно отметить следующие особенности задач данного типа:

1. В большинстве случаев выбор режимов производится по таблицам, в которых указаны значения параметров режима.

2. Режимы сварки индивидуальны для каждого способа или разновидности сварки, группы близких по свойствам материалов, толщины металла и типа сварного соединения, поэтому на практике пользуются множеством таблиц режимов.

3. Значения большинства параметров режима сварки задаются в таблицах в виде числовых интервалов, что приводит к необходимости использования процедуры выбора, выполняемой человеком.

4. Для нескольких способов разработаны расчетные методики определения параметров режима, во многих САПР технологического процесса сварки имеются подпрограммы расчета режимов сварки или автономные модули такого назначения. Однако и в этих случаях наряду с расчетными операциями алгоритмы решения предусматривают операции ручного выбора.

5. Для многих вариантов сварки данные о режимах отсутствуют и при необходимости их приходится устанавливать экспериментальным путем.

6. Основные затруднения при автоматизации назначения режимов сварки обусловлены неполнотой и неточностью исходной информации.

### Список литературы

1. Сварка в машиностроении. Справочник: в 4 т. / под ред. Н.А. Ольшевского. – М.: Машиностроение, 1978. – 504 с.

2. Сварка и свариваемые материалы. Справочник: в 3 т. Т. II. Технология и оборудование / под ред. В.М. Ямпольского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 547 с.

3. Катаев А.М., Китаев Я.А. Справочная книга сварщика. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

4. Справочник сварщика / под ред. В.В. Степанова. – М.: Машиностроение, 1974. – 520 с.

5. Сварка и резка в промышленном строительстве: в 2 т. / под ред. Б.Д. Малышева. – М.: Стройиздат, 1989. – Т. 1. – 400 с.

6. Лазарсон Э.В. Автоматизация технологической подготовки сборочно-сварочного производства в СССР // Автоматическая сварка. – 1992. – № 1. – С. 25–30.

7. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

8. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением. – Л.: Машиностроение, 1987. – 461 с.

9. Павленко В.В., Кутана И.Д. Автоматизация технологической подготовки в сборочно-сварочном производстве. – Киев: Техніка, 1983. – 88 с.

Получено 25.04.2014

**Лазарсон Эрнст Владимирович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Сварочное производство и технологии конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: svarka@pstu.ru

**Lasarson Ernst Vladimirovich** – Ph.D. in Technical Sciences, Professor of Department “Welding technology and production of construction materials”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: svarka@pstu.ru