

## Глава 4

# Стандартизация и качество, контроль. Экономика сварочного производства

УДК 621.791:658.62

### ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

П.В. Занковец<sup>1</sup>, В.К. Шелег<sup>2</sup><sup>1</sup> Государственное учреждение «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт сварки и защитных покрытий с опытным производством», г. Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup> Белорусский государственный научно-производственный концерн порошковой металлургии, г. Минск

*Выполнены исследования причин образования дефектности. Из множества факторов, влияющих на качество сварного соединения, определены доминирующие факторы (причины) и рассчитан их удельный вес. Предлагается модель и алгоритм определения причин брака сварки по структуре дефектности. Установлено, что по каждому доминирующему фактору образуется конкретная, только ему присущая структура дефектности.*

Обычно причины возникновения дефектов трактуются в общем случае исходя из особенностей металлургических и тепловых процессов, а также особенностей формирования шва, связанного с режимом сварки и материалами. Однако эти причины, как правило, не учитывают конкретные особенности и условия сварочных работ для отдельной статистически однородной базовой (генеральной) совокупности (БС), поэтому нами были проведены исследования по определению причин, учитывающих специфику работ, т.е. установление связей в цепочке фактор – причина – дефект (Ф–П–Д). Всего за период с 1987 по 2000 г. было исследовано более 200 строительно-монтажных объектов, где выполнялись сборочно-сварочные работы.

Изучая конкретный технологический процесс и его режимы, установлена зависимость качества заключительной операции – сварки – от определенных производственных факторов, влияющих на процесс. Установлено, что при проведении сварочных работ на качество сварного соединения влияет множество различных факторов. К основным производственным факторам относятся квалификация исполнителей, подготовка и сборка свариваемых кромок, сварочные материалы, сварочное и вспомогательное оборудование, сварочный процесс, условия сварки, организация работ, термообработка, дефектоскопический контроль, квалификация ИТР, время года, ритмичность работ. Из этих факторов необходимо было установить, какие из них являются доминирующими в образовании дефектности.

Каждый фактор представляет собой определенное состояние материалов, оборудования, исполнителей, условий и т.д., учитываемых конкретными параметрами для конкретной базовой совокупности сварных соединений. Назовем эти параметры факторными параметрами. Пример факторных параметров по электродам УОНИ 13/45 приведен в таблице 1, где видно, что фактор «сварочные материалы» имеет по крайней мере шесть установленных параметров по электродам УОНИ 13/45.

Факторные параметры, удовлетворяющие требованиям технических условий (ТУ) и обеспечивающие

ведение операции сварки с минимальным образованием дефектности, назовем положительными. Например, входной контроль качества электродов дал положительные результаты. Электроды на объекте просушиваются и прокаливаются. Сварщик на объекте имеет герметичный пенал для сохранности электродов от увлажнения и выполняет сварку не отсыревшими электродами. Эксцентричность отсутствует. Дефекты, связанные со сварочно-технологическими свойствами и влажностью обмазки, отсутствуют. Все параметры фактора сварочных материалов, электродов УОНИ 13/45, положительные. Это значит, что при сварке этими электродами образование дефектов за счет случайных отклонений будет минимальным.

Таблица 1 – Фактор «сварочные материалы» – параметры состояния электродов УОНИ 13/45

№ параметра	Факторные параметры
1.1.	Внешний вид (наличие трещин, вмятин, отколов)
1.2.	Прочность обмазки
1.3.	Наличие эксцентричности обмазки
1.4.	Состояние поверхности электродного стержня
1.5.	Влажность обмазки
1.6.	Сварочно-технологические свойства электродов

Факторные параметры, не удовлетворяющие требованиям ТУ и вызывающие появление систематической дефектности, назовем отрицательными. Например, при выборе электродов, имеющихся на объекте у сварщика, обнаружена эксцентричность обмазки. Электроды перед сваркой не прокаливались, при сварке обмазка электродов плавится неравномерно, образуются так называемые «козырьки», вызывающие появление пористости и частичный непроплав. Параметры 1.3. и 1.5. (табл. 1) не соответствуют требованиям и являются отрицательными.

Отрицательные факторные параметры, вызывающие систематическое появление дефектности при сварке, будем называть факторными причинами, или просто причинами дефектов. Факторные параметры, как правило, – переменные величины. Под действием различных производственных условий на конкретном объекте они могут изменяться (хранение, транспортировка, условия эксплуатации и т.д.). Поэтому учет параметров должен быть постоянным, а проверка их состояния систематической [1, 2]. Аналогично показанному примеру параметрически оценивается состояние каждого производственного фактора: «квалификация исполнителей» – разряд, стаж, тренированность, возраст, состояние здоровья; «подготовка и сборка» – разделка кромок (угол), состояние кромок, зазор, прихватка, зачистка и т.д.

Таким образом, установлена зависимость состояния факторов от состояния его параметров. Проведенными исследованиями установлено (см. табл. 2), что ряд факторов имеют достаточно высокую вероятность по сравнению с другими и высокую значимость в образовании дефектности. По этим факторам были проведены дополнительные эксперименты, подтвердившие полученные ранее выводы. На этом основании были приняты 5 важнейших факторов, которые названы нами доминирующими. Определен также их удельный вес в образовании дефектности [5, 6], см. табл. 3.

В дальнейшем все исследования будем проводить с этими установленными факторами, которые

преимущественно и вносят разладку в технологические процессы сборочно-сварочных работ на объектах и являются причиной 90 – 97% возникающих дефектов.

Из полученных результатов исследований вытекает важный вывод, что дефектность каждой конкретной базовой совокупности стыков можно рассматривать как многопараметровый регулятор управления качеством, а цепочку Ф-П-Д – как управляющую по обратной связи. Общая схема модели, по которой исследовали и устанавливали причины появления дефектности в сварных швах, выглядит следующим образом.

При появлении дефектности (количества и размера дефектов) в сварном соединении выше установленного уровня, определяли причины ее образования. После устранения обнаруженных причин вновь производили определение уровня дефектности. Эту процедуру выполняли до тех пор, пока уровень дефектности не устанавливался в пределах требуемых технических условиями границ. Определение дефектности производили по данным визуального, РГГ- и УЗ-контроля.

В первом случае (до устранения причины) определяли связь конкретной причины с конкретными дефектами. Во втором случае (после устранения причины) – влияние данной причины на объем и структуру дефектности.

Таблица 2 – Влияние основных производственных факторов на качество сварки

№ фактора	Факторы	Вероятность связи $P=(D-\Phi)_n/\Sigma(D-\Phi)$	Значимый фактор $Z_n=(D-\Phi)_n/(D-\Phi)$
1.	Квалификация исполнителей	0,172	0,94
2.	Подготовка и сборка	0,202	0,95
3.	Сварочный процесс	0,184	0,94
4.	Сварочные материалы	0,168	0,96
5.	Сварочное и вспомогательное оборудование	0,151	0,97
6.	Нарушение ритма работ	0,027	0,48
7.	Квалификация ИТР	0,004	0,26
8.	Дефектоскопический контроль	0,021	0,43
9.	Организация работ	0,019	0,45
10.	Термообработка	0,009	0,14
11.	Условия сварки	0,032	0,45
12.	Время года	0,011	0,31

Таблица 3 – Влияние доминирующих факторов на образование дефектности

№ п/п	Наименование фактора	Колебания удельного веса по всем БС, %	Средний удельный вес, %
1.	Подготовка и сборка под сварку	24-34	29
2.	Квалификация исполнителей	19-31	25
3.	Сварочные материалы	17-30	19
4.	Сварочные процессы	11-19	15
5.	Сварочное оборудование	5-13	9

Как показали выполненные нами исследования, дефекты образуются в результате сочетания различных причин (нарушений), но всегда при какой-то одной или двух доминирующих причинах (ДП) [6]. Сложность определения причин заключается в том, что при изменении какой-то одной причины в ряду причин дефект может переходить из одного состояния (типа) в другое, с другими формами и размерами. Поэтому изучение связей Ф-П-Д возможно не вообще, а конкретно для каждой БС в определенных, заранее известных условиях. На основании исследований связи «причина – дефект» установлена статистическая зависимость между доминирующими причинами и структурой дефектности. Статистическая связь подтверждается на большом объеме ана-

лизов, выполненных на объектах сборочно-сварочных работ.

Для практических условий важно определить вероятность того, что данная структура дефектности представляет данную доминирующую причину и, как следствие, конкретный фактор технологического процесса сварки, т.е. вероятность

$$0 < P(\text{ДП}) < 1, \quad (1)$$

или:

$$P(\text{ДП}) = p \quad (2)$$

определяли на основании статистических данных НК по годовому циклу контроля:

$$P(\text{ДП}) = (A / \Sigma (\Phi_n \Pi)) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $\Sigma (\Phi_n \Pi)$  – число повторений причины; А – число практических подтверждений данной причины.

Например, за 1996 год по фактору «сварочные материалы» – электроды УОНИ 13/45 выявлено 220 случаев, когда доминирующей причиной возникшей недопустимой дефектности определялись некачественные электроды, из них подтвержденных практически – 190 случаев. Вероятность достоверности определения причины дефектности по ее структуре составила:

$$P(\text{ДП})_0 = \frac{190}{220} = 0,86.$$

Анализ причин дефектности в цепочке Ф-П-Д проводили с использованием массивов истории качества по конкретной БС по следующей методике.

Из отчетов операторов предупредительного контроля (ПК) или экспертным путем устанавливали основные причины и дефектность, выявленную на участке контроля в момент действия указанной причины. Причины и дефектность систематизировали и обрабатывали с помощью компьютерной техники [3, 5]. Цель исследования:

- установить, какие дефекты по типу и количеству образуются в момент действия определенных причин;
- установить структуру дефектности и ее зависимость от причин;

- определить доминирующие причины в ряду действующих причин на объектах сварочных работ.

Анализ связей Ф-П-Д для условий сборочно-сварочных работ проводили впервые. Поэтому первоначально определяли причины при конкретном способе сварки: ручной дуговой, газовой, в среде CO<sub>2</sub>, см. табл. 4. В дальнейшем, по мере накопления информации в базе данных, анализ выполняли по каждой БС.

В таблице 4 и на рис. 1 – 2, представлены результаты исследования причин дефектности по базовым партиям трубопроводов Ø 219 – 345 мм с толщиной стенки 6 – 8 мм. Доминирующими причинами (ДП), как видно из анализа, являются низкое качество применяемых электродов, неудовлетворительная сборка стыков под сварку и недостаточная квалификация сварщиков. Эти причины составляют 61% и дают около 63% всей дефектности. Некачественная подготовка стыков и нарушение технологии составляют 26% и дают около 17% всей дефектности. Функциональной связи причин с количеством дефектности не обнаружено. Однако легко видеть статистическую связь структуры образуемой дефектности с ее причиной. Например, для ДП структура дефектности выглядит следующим образом:

**Структура дефектности**

$$P(1,6) + Ш(0,6) + СПШ(0,6) + Н(0,05)$$

$$P(0,8) + Ш(1,3) + Н(0,9) + Фш(0,2)$$

где П – поры, Ш – шлаковые включения, СПШ – скопления и цепочки пор и шлаков, Н – непровары, Фш – дефекты формы шва.

→ **ДП**

**Электроды**

**Сборка**

Таблица 4 – Связь между дефектностью и ее причинами для различных способов сварки

№ пп	Дефектность, шт./уч.				Удельный вес, %	Причина
	П	Ш	СПШ	Н+Пр		
<b>Дуговая сварка</b>						
1.	4,8	1,1	4,9	0,17	24,0	Электроды
2.	0,6	0,7	1,3	1,3	17,5	Сборка кромок под сварку
3.	1,5	1,6	2,1	1,9	13,0	Подготовка свариваемых кромок
4.	2,4	0,9	3,3	0,1	7,1	Условия работы
5.	1,2	0,7	1,9	0,2	8,1	Сварка
6.	1,5	0,4	0,9	0,3	3,3	Оборудование
7.	1,9	2,9	2,5	0,7	9,5	Небрежность сварщика
8.	3,1	2,4	3,2	0,5	16,5	Квалификация сварщика
<b>Газовая сварка</b>						
1.	1,2	0,5	1,7	0,4	24,6	Подготовка свариваемых кромок
2.	0,1	0	0,1	0,95	22,3	Сборка кромок под сварку
3.	0,6	0,6	1,2	0,4	9,9	Сварка
4.	3,3	0	3,3	0,1	7,0	Условия сварки
5.	1,7	1,0	2,7	0,2	9,6	Проволока присадочная
6.	1,8	1,2	3,0	0,23	20,4	Квалификация сварщика
7.	2,8	1,1	3,9	0,72	6,2	Небрежность сварщика
<b>Сварка в CO<sub>2</sub></b>						
1.	3,1	0,1	3,2	0,6	20,5	Сварочная проволока + CO <sub>2</sub>
2.	2,1	0,1	2,2	0,6	16,0	Подготовка свариваемых кромок
3.	1,9	0,6	2,5	0,5	12,5	Сварка
4.	3,3	0	3,3	0,3	9,0	Условия сварки
5.	0,1	0,8	0,9	0,4	13,5	Сборка кромок под сварку
6.	0,1	0	0,2	0,1	7,0	Оборудование

Пр - прочие дефекты.

Структура недопустимой дефектности, образуемая из-за низкого качества электродов, отмечается насыщенностью пор – 1.6 на участок контроля, шлаковых включений, а также скоплениями и цепочками пор и шлаков (СПШ) – по 0.6. шт./уч. Вместе с тем

количество непроваров для этой причины минимально – один непровар на 20 участков.

При некачественной сборке пор и шлаков меньше в 1,5 – 2 раза, а дефекты СПШ отсутствуют. Однако резко возрастает (в 10 – 12 раз) число непроваров –

один непровар на 1 – 2 участка. Низкая квалификация характеризуется наличием всех видов технологических дефектов и т.д.

Основными доминирующими причинами дефектности стыков, свариваемых в среде углекислого газа, являются:

- низкое качество поверхности сварочной проволоки (ржавчина, загрязненность);
- повышенная влажность углекислого газа;
- низкое качество подготовки кромок под сварку.

Эти причины составляют 61,2% и генерируют около 86% всех дефектов данной базовой совокупности. Поэтому они являются на данный период доминирующими.

#### Литература

1. Волченко В.Н. Статистические методы управления качеством по результатам неразрушающего контроля. – М.: Машиностроение, 1976. – 64с.

2. Денисов Л.С. Достижения и проблемы в практике управления качеством сварочных работ // Контроль и управление качеством сварки: Сб. научных трудов. – Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, 1984. – С. 12 – 26.

3. Исикава Каору. Японские методы управления качеством. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.

4. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – 63 с.

5. Денисов Л.С., Занковец П.В. Автоматизированное рабочее место (АРМ-Д) дефектоскописта сварных соединений // Создание ресурсосберегающих машин и технологий. Тез. докл. конф. – Могилев, 1996. – С.112.

6. Денисов Л.С., Занковец П.В. Управление качеством сварочных работ // Автоматическая сварка. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. – 1996, №12. – С. 26 – 31.

P.W. Zankovets, V.K. Sheleg

#### Investigation and Substantiation of Production Factors Impact on Welded Joints Defects Formation

*Investigations of defects formation causes are carried out. The dominating factors (causes) among great number of factors affecting the weld joint quality are determined and their specific weight is calculated. The model and the algorithm of welding reject causes determination on structure defects is proposed. It is established that according to every dominating factor the defects structure specific only to this factor is formed.*

© П.В. Занковец, В.К. Шелег, 2004.

УДК 621.791

#### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ, СОДЕРЖАЩЕЙ СВАРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Н.Ю. Бербасова, С.Э. Ладода, А.А. Ахрамейко

Могилевский финансово-экономический институт им. В.П. Ковалева, г.Могилев, Республика Беларусь

Статья посвящается светлой памяти

**С.П. Рагуновича**

*В работе предложена инструментальный метод количественного описания потребительских свойств продукции, содержащей сварные конструкции с точки зрения теоретико-множественного подхода. На его основе разработан прототип конструктивной методики оценки конкурентоспособности, продукции, содержащей сварные конструкции. Предложенный подход позволяет согласовывать взаимосвязанные и взаимноизменяющиеся во времени требования со стороны потребителя и производителя и выявлять резервы и направления повышения конкурентоспособности продукции сварочного производства.*

#### Введение

Массовое применение сварочных технологий оказывает весомое влияние на экономику республики и во многих случаях определяет технический уровень, качество, стоимость и конкурентоспособность производимых и эксплуатируемых машин, механизмов и сооружений.

Анализ путей формирования комплекса характеристик конкурентоспособности сварных конструкций позволит выявить приоритеты в ее управлении, решить вопросы оптимизации структуры качества сварных конструкций, как набора потребительских свойств, и рационального распределения производственных ресурсов.

На необходимость создания методики квалиметрической оценки конкурентоспособности изделий, содержащих сварные конструкции, указывает то, что существующие методики:

- не обеспечивают получения комплексного показателя конкурентоспособности сварных конструкций;

- не позволяют выявить резервы и направления ее повышения;

- не обеспечивают наглядности и интуитивного восприятия полученных результатов.

Более глубокое изучение проблемы конкурентоспособности сварных конструкций в современных условиях требует современных подходов и инструментов для ее повышения.

#### Постановка задачи

Необходимо отметить, что запросы потребителей продукции, содержащей сварные конструкции, и возможности их производителей не совпадают, поэтому при изготовлении сварных конструкций нужно уделить особое внимание определению оптимальных количественных показателей их качества [1]. Качество основывается на взаимодействии потребителя со свойствами продукции и измеряется в соответствии с удовлетворением его требований.

На рис.1 представлена структура потребительских свойств продукции сварочного производства, которая позволяет выявить факторы ее конкурентоспособности.