

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СХОДИМОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ СВАРНОГО ШВА

*Путём совместного анализа индекса воспроизводимости производственного процесса сварки, сходимости и воспроизводимости процесса измерения сварного шва, основываясь на современных представлениях о приемлемости измерительных и производственных процессов, определены технологические требования к статистическим характеристикам измерительных процессов. Показано, что сходимость и воспроизводимость процесса измерения не должна превышать среднеквадратичного отклонения контролируемого размера сварного шва.*

*Ключевые слова:* размеры шва; процесс сварки; процесс измерения; статистические характеристики.

### Введение

Современные подходы к обеспечению качества предполагают применение статистических методов контроля производственных и измерительных процессов [1–5]. Между тем, при разработке планов контроля, выборе применяемых методов и средств контроля в сварочном производстве, по-прежнему, господствуют детерминированные методы. В частности, при определении пригодности средства измерения, а значит и измерительного процесса в целом исходят из необходимого и достаточного условия, что цена деления средства измерения должна быть не более одной десятой от диапазона технологически допустимых значений, установленных для измеряемого параметра. Такой подход не учитывает реальной изменчивости как измерительного процесса, так и производственного процесса сварки. Следствием такого подхода является возможность ошибочных выводов по результатам измерений.

Актуальным направлением обеспечения качества в условиях сварочного производства следует считать применение статистических методов для производственного контроля процессов сварки [1–2]. Статистический контроль производственного процесса является комплексом мероприятий, обеспечивающих способность процесса сварки стабильно выполнять требования к качеству в условиях производства. При статистическом контроле процесса сварки выделяют два ключевых аспекта. Первый аспект — это статическая управляемость, стабильность, а значит прогнозируемость процесса сварки. Второй аспект — это способность процесса сварки выполнять требования к качеству, обеспечи-

ваемая значительно меньшим естественным рассеиванием контролируемого размера сварного шва по сравнению с диапазоном допустимых значений контролируемого размера сварного шва.

Тенденцией последних лет является контроль изменчивости измерительных процессов. При этом обеспечивается стабильность измерительных процессов во времени, сходимость результатов измерений, воспроизводимость результатов измерений [3].

Соответствие сварных швов нормативным требованиям обеспечивается только при условии приемлемости как процесса сварки, так и процесса измерения сварных швов, принятых в производстве.

Актуальным вопросом, требующим решения, является фактическое отсутствие привязки критериев приемлемости измерительного процесса к статистическим показателям производственного процесса сварки.

### Постановка задачи

Целью работы является совместный анализ показателей приемлемости производственного процесса сварки, измерительного процесса и формулировка статистически обоснованных технологических требований к характеристикам процесса измерения сварного шва.

### Основная часть

Решение поставленной задачи способствует внедрению современных комплексных подходов к обеспечению качества в сварочном производстве,

применению статистических методов для контроля производственного процесса сварки и анализа измерительных систем.

Для достижения поставленной цели следует проанализировать общепринятые подходы к определению технологических нормативных требований к размерам сварного шва, статистические показатели приемлемости технологического процесса сварки и процесса измерения сварного шва.

Нормативные требования регламентируют диапазоны допустимых размеров сварного шва в зависимости от способа сварки, вида сварного соединения и толщины свариваемых деталей. При этом устанавливают верхнее и нижнее предельно допустимые значения по контролируемому размеру сварного шва. По результатам измерений фактических значений размеров сварного шва делают вывод о его соответствии нормативным требованиям.

Для оценки способности процесса сварки выполнять требования к качеству определяют его стабильность (статистическую управляемость), центр настройки и среднеквадратичное отклонение как статистические характеристики процесса сварки по контролируемому размеру сварного шва [1]. Способность процесса сварки выполнять требования к качеству определяют по значению индекса воспроизводимости процесса

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma},$$

где  $USL$  – верхнее предельно допустимое значение контролируемого размера сварного шва,  $LSL$  – нижнее предельно допустимое значение контролируемого размера сварного шва,  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение размера сварного шва, характеризующее процесс сварки в статистически управляемых условиях.

Современные стандарты качества, устанавливают минимально приемлемое значение индекса воспроизводимости производственного процесса 1,66.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \geq 1,66. \quad (1)$$

Меньшие значения индекса воспроизводимости производственного процесса не дают достаточных гарантий выполнения процессом требований по контролируемому размеру сварного шва. Таким образом, стабильное выполнение процессом сварки требований к размерам сварного шва возможно при условии

$$1,66 \times 6\sigma \leq USL - LSL. \quad (2)$$

Для контроля размера сварных швов используют специализированные средства измерений,

например, измерители геометрических параметров сварных швов WG3 «ласточка» или электронные измерители геометрических параметров сварных швов WG3 Digital.

Приемлемость процесса измерения для использования в целях контроля выполнения нормативных требований оценивают по относительной сходимости и воспроизводимости процесса измерения [3]

$$\%R\&R_{sl} = \frac{R\&R}{USL - LSL} \times 100\%,$$

где  $R\&R$  – сходимость и воспроизводимость результатов измерений, которая может быть определена по методу размахов

$$R\&R = K_\alpha S_m,$$

где  $K_\alpha$  – коэффициент, используемый при построении доверительного интервала для истинного значения измеряемого параметра образца при уровне значимости  $\alpha$ ,  $S_m$  – оценка среднеквадратичного отклонения сходимости (повторяемости) и воспроизводимости измерительного процесса.

Современные стандарты качества, устанавливают максимально приемлемое значение относительной сходимости и воспроизводимости процесса измерения на уровне 10 %

$$\%R\&R_{sl} = \frac{R\&R}{USL - LSL} \times 100\% \leq 10\%. \quad (3)$$

Следовательно, измерительный процесс можно считать приемлемым для контроля выполнения нормативных требований, если диапазон допустимых значений контролируемого размера сварного шва превышает десятикратное значение сходимости и воспроизводимости результатов измерений.

$$10 \times R\&R \leq USL - LSL.$$

Подстановка в полученное неравенство условия стабильного выполнения процессом сварки требований к размерам сварного шва (2) приводит к результату

$$10 \times R\&R \leq 1,66 \times 6\sigma.$$

Откуда следует вывод, что измерительный процесс может быть использован для производственного контроля выполнения требований к размерам сварного шва только при условии, что сходимость и воспроизводимость результатов измерений не превышает среднеквадратичного отклонения контролируемого размера сварного шва в производстве

$$R\&R \leq 0,996 \times \sigma.$$

Изменчивость измерительного процесса не должна превосходить изменчивость производственного процесса сварки по контролируемому размеру сварного шва, при этом если производственный процесс сварки выполняет требование (1), то измерительный процесс гарантированно выполняет требование (3). Следовательно, в производстве обеспечивается соответствие размеров сварного шва нормативным требованиям.

Предлагаемая оценка приемлемости измерительного процесса, основанная на сравнении его сходимости и воспроизводимости со среднеквадратичным отклонением контролируемого размера сварного шва в производстве, учитывает естественную изменчивость как процесса сварки, так и измерительного процесса. Это является несомненным преимуществом по сравнению с детерминированными подходами, основанными на сравнении цены деления средства измерений с диапазоном допустимых значений контролируемого размера. Предлагаемый подход фактически устанавливает технологические требования к процессу измерения сварного шва.

#### Пример применения полученных результатов

Проверено выполнение технологических требований к процессу измерения выпуклости стыковых швов, сваренных под флюсом.

Для определения статистических характеристик производственного процесса сварки по выпуклости шва на каждом из пяти стыковых сварных швов, полученных при неизменных значениях параметров режима дуговой сварки под флюсом, выполнено по три замера выпуклости. Результаты статистической обработки данных изменчивости выпуклости сварного шва, задаваемой процессом сварки, приведены в табл. 1.

Для измерений использовали измеритель геометрических параметров сварных швов WG3 «ласточка» с техническими параметрами:

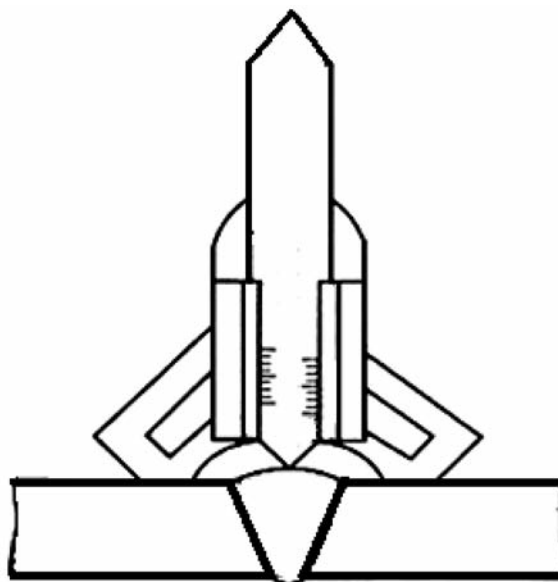


Рис. 1. Схема измерений выпуклости сварного шва в поперечном сечении

- диапазон измерения – 0...20 мм;
- цена деления - 0,01 мм.

Схема измерений выпуклости сварного шва в поперечном сечении приведена на рис. 1.

Представленные для измерений сварные швы должны соответствовать ГОСТ 8713-79 для сварного соединения С4 с толщиной основного металла 5 мм. При этом, номинальное значение выпуклости сварного шва  $g = 2,0$  мм, а диапазон допустимых значений определяется как верхнее предельно допустимое значение  $USL = 3,0$  мм, нижнее предельно допустимое значение  $LSL = 0,5$  мм. Ширина диапазона технологически допустимых значений составляет 2,5 мм, цена деления средства измерений 0,01 мм. Таким образом, цена деления значительно меньше одной десятой диапазона допустимых значений. Следовательно, по традиционным критериям, измерительный процесс может быть использован в производстве.

Таблица 1

Статистические характеристики процесса сварки по данным трёх измерений выпуклости шва на каждом из пяти образцов

Статистическая характеристика	Порядковые номера образцов				
	1	2	3	4	5
Измерение 1	1,71	1,83	1,42	1,84	1,99
Измерение 2	1,78	1,74	1,89	2,04	2
Измерение 3	2,14	1,58	1,71	1,73	1,73
Среднее значение выпуклости для образца, мм	1,88	1,72	1,67	1,87	1,91
Среднеквадратичное отклонение выпуклости для образца, мм	0,23	0,13	0,24	0,16	0,15
Среднее значение выпуклости для пяти образцов, мм	1,81				
Среднеквадратичное отклонение выпуклости для пяти образцов $\sigma$ , мм	0,19				

Среднеквадратичное отклонение выпуклости сварного шва, обеспечиваемое процессом сварки  $\sigma = 0,19$  мм (табл.1), границы диапазона предельно допустимых значений составляют  $USL = 3,0$  мм,  $LSL = 0,5$  мм, следовательно, индекс воспроизводимости процесса сварки составляет

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{3,0 - 0,5}{6 \times 0,19} = 2,19.$$

Условие (1) приемлемости производственного процесса сварки соблюдается. Следовательно, сходимость и воспроизводимость процесса измерения выпуклости сварного шва должна соответствовать требованию

$$R\&R \leq 0,966 \times \sigma = 0,966 \times 0,19 = 0,189. \quad (4)$$

Для определения оценочного значения сходимости и воспроизводимости измерительного процесса по методу размахов [3] было отобрано 5 образцов, наиболее полно представляющих диапазон фактически наблюдаемых в исследуемых условиях сварки значений выпуклости сварного шва. Два оператора независимо измеряли выпуклость посередине сварного шва на каждом из пяти образцов. Результаты измерений приведены в табл. 2

Оценочное значение сходимости и воспроизводимости процесса измерения  $R\&R = 0,294$  мм (табл. 2) в полтора раза превышает оценочное значение среднеквадратичного отклонения выпуклости сварного шва, вызванного изменчивостью процесса сварки  $\sigma = 0,19$  мм (табл. 1). Таким образом, условие приемственности измерительного процесса (4) не выполняется. Следовательно, в существующем варианте реализации, такой процесс не может быть использован для контроля выпуклости сварного шва в существующих условиях производства. В сложившейся ситуации необходимо определить и устранить причины повышенной изменчи-

вости измерительного процесса, после чего повторно проверить выполнение условия (4).

В приведенном примере получены разные результаты оценки приемлемости измерительного процесса по цене деления и по сходимости/воспроизводимости. Это объясняется тем, что традиционная оценка по цене деления не учитывает реальной изменчивости процессов сварки и измерения размеров сварного шва.

### Выводы

Цена деления средства измерения не должна превышать одной десятой ширины диапазона допустимых значений. Такое требование следует считать необходимым, но не достаточным для обеспечения приемлемости процесса измерений.

В условиях сварочного производства при оценке приемлемости процесса измерения для контроля размера сварного шва следует учитывать как изменчивость измерительного процесса, так и изменчивость производственного процесса. Сходимость и воспроизводимость измерительного процесса не должна превосходить среднеквадратичного отклонения производственного процесса сварки по контролируемому размеру сварного шва.

Распространение этого технологического требования на иные контролируемые характеристики качества сварного шва требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

### Литература

- [1] Волченко В. Н. Статистические методы управления качеством по результатам неразрушающего контроля. – М.: Машиностроение, 1976. – 64 с.
- [2] Тарарычкин И. А. Статистические методы обеспечения качества продукции сварочного производства:

Таблица 2

Сходимость и воспроизводимость процесса измерения выпуклости сварного шва

Оператор	Порядковые номера образцов					Результаты расчёта
	1	2	3	4	5	
А	1,42	1,58	1,74	2,14	2,35	
В	1,34	1,63	1,71	2,07	2,24	
Среднее, мм	1,380	1,605	1,725	2,105	2,295	
Размах, мм	0,080	0,050	0,030	0,070	0,110	
Размах значений параметра образца $R_p$ , мм						
Средний размах измерений $R$ , мм						0,068
Среднеквадратичное отклонение сходимости (повторяемости) и воспроизводимости измерительного процесса $S_m$ , мм						0,057
$R\&R$ сходимость и воспроизводимость процесса измерений при $K_\alpha = 5,15$ [3]						0,294

- Монография. — Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2002. — 336 с.
- [3] Анализ измерительных систем. MSA. Ссылочное руководство. Пер. с англ. 4-го изд. от июня 2010 г. — Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. — 452 с.
- [4] Прохоренко В. М., Чертов И. М., Гаевский В. О. Научно-техническая проблема автоматизированного контроля качества сварных соединений // Вестник Донбас. госуд. машиностр. академии. — 2012. — № 3. С. 236–240.
- [5] Чвертко Е. П., Шевченко Н. В., Пирумов А. Е. Прогнозирование качества сварных соединений при контактной стыковой сварке оплавлением по статистическим характеристикам // Вестник Донбас. госуд. машиностр. академии. — 2012. — № 3. С. 274–279.

*Gaievskiy O.A., Zvorykin C.O., Strelenko N.M., Kovalenko V.L.*

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Ukraine, Kyiv

#### DETERMINATION OF REQUIREMENTS TO CONVERGENCE AND PRODUCIBILITY OF PROCESS OF MEASURING OF THE WELD-FABRICATED GUY-SUTURES

*By the joint analysis of index of producibility of production process of welding, convergence and producibility of process of measuring of the weld-fabricated guy-sutures, based on the modern pictures of acceptability of measurings and production processes, technological requirements are certain to statistical descriptions of measurings processes. It is rotined that convergence and producibility of measuring process must not exceed standard deviation of the controlled size of the weld-fabricated guy-sutures.*

*Keywords:* sizes of guy-sutures; welding process; process of measurings; statistical descriptions.

#### References

- [1] Volchenko V. N. Statisticheskie methods of quality management on results non-destructive control. — M.: Engineer, 1976. — 64 p. (In Russian).
- [2] Tararychkin I. A. The Statistical methods of providing of quality of products of welding production: Monograph. it is Lugansk: Publish. VNU the name of V. Dalya, 2002. — 336 p. (In Russian).
- [3] Analysis of the measurings systems. MSA. Reference guidance. Trudged. of 4-ro publ. from June, 2010 — N. Novgorod: of LTD. of SMTS “Priority”, 2012. — 452 p. (In Russian).
- [4] Prokhorenko V. M., Chertov I. M., Gaevskiy V. O. The Scientific and technical problem of the automated control of quality of the weld-fabricated connections // Announcer of the Donbass state machine-building academy. — 2012. — № 3. P. 236–240. (In Russian).
- [5] Chvertko E. P., Shevchenko N. V., Pirumov A. E. Prognostication of quality of the weld-fabricated connections at the contact butt welding оплавлением on statistical descriptions of // Announcer of the Donbass state machine-building academy. — 2012. — № 3. P. 274–279. (In Russian).