



ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ СОСТОЯНИЕМ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И. А. ТАРАРЫЧКИН

Предложен метод управления состоянием сварочных процессов, основанный на алгоритмах диагностики технологических систем. Метод связан с использованием двух статистических характеристик, что позволяет упростить процедуру распознавания и повышает эффективность управления состоянием многомерных сварочных процессов. Возможности предложенной методики рассмотрены на примере дуговой сварки толстолистового металла в узкий зазор.

A new method is proposed to control the condition of welding processes, based on the algorithms of diagnostic of technological systems. The method is related to use of two statistical characteristics, thus simplifying the procedure of recognition and improving the effectiveness of controlling the condition of multidimensional welding processes. Capabilities of the proposed procedure are considered in the case of narrow-gap arc welding of plate metal.

Проблема обеспечения качества продукции в условиях сварочного производства тесно связана с необходимостью управления состоянием различных систем, отличающихся уровнем сложности, объектами регулирования и характером осуществляемых при этом управляющих воздействий. Последние применительно к технологическим системам могут осуществляться в виде предупреждающих или корректирующих действий.

Вид управляющих воздействий определяется по результатам выполнения контрольных операций, при этом действия, направленные на предотвращение перехода процесса в состояние с нарушенной точностью, называются предупреждающими. Если по результатам контроля установлено нарушение точности процесса, то действия, направленные на ее восстановление, называются корректирующими. Содержание корректирующих и предупреждающих действий оказывается различным в зависимости от физической природы контролируемой характеристики и характера нарушения точности. Например, это могут быть действия, связанные с корректировкой параметров режима, изменением пространственного положения горелки, приложением дополнительных прижимных усилий и т. п. В результате выполнения таких действий должно происходить восстановление положения контролируемой характеристики точности относительно середины поля допуска или уменьшение ее рассеяния.

Традиционная схема управления процессом (системой) осуществляется в следующей последовательности:

- 1) определение (распознавание) текущего состояния с использованием соответствующих методик;
- 2) выполнение предупреждающих действий, если по результатам диагностирования установлено приближение процесса к границе предельного состояния;
- 3) выполнение корректирующих действий, если установлено, что процесс перешел в недопустимое состояние;

4) повторная диагностика (оценка) состояния процесса после выполнения всех необходимых мероприятий;

5) прекращение корректировки состояния процесса после установления эффективности выполненных действий [1].

Таким образом, известные алгоритмы управления можно рассматривать с точки зрения применимости методов диагностики состояния технологических систем. Для решения задач распознавания здесь могут быть использованы сформулированные в работе [2] статистики g_{si} , представляющие собой комплексные критерии точности для каждого из контролируемых параметров процесса. Применение этих характеристик при документировании, оценке и прогнозировании состояния системы позволяет эффективно управлять качеством продукции. При этом документирование состояния многомерного сварочного процесса связано с необходимостью построения нескольких карт контроля в зависимости от установленного числа контролируемых характеристик точности [2].

Однако при управлении состоянием реальных технологических систем требования в отношении документирования могут отсутствовать, а оценивать их состояние и прогнозировать поведение в отдельных случаях допускается с использованием упрощенных процедур. При такой постановке

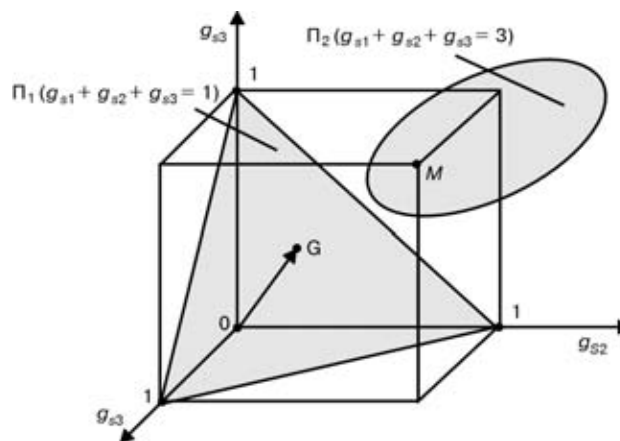


Рис. 1. Схема расположения единичного куба в трехмерном пространстве признаков



$g_{s \max}$

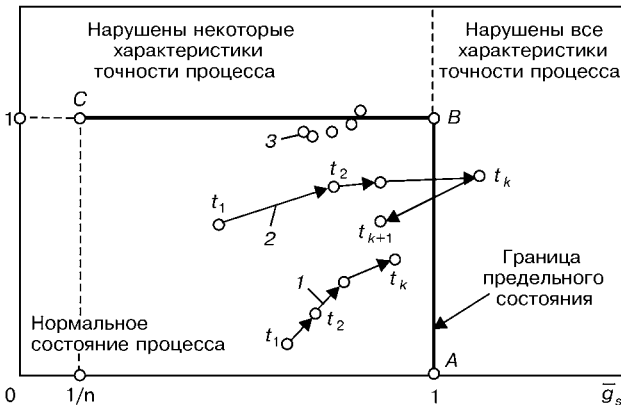


Рис. 2. Положение границы предельного состояния ABC и различные схемы протекания технологических процессов (обозначения см. в тексте)

целесообразно использование диагностических подходов к управлению состоянием многомерных систем.

Комплексные критерии точности g_{si} ($i = 1, 2, \dots, n$) можно рассматривать как координаты вектора \mathbf{G} в n -мерном пространстве признаков [3]. Это позволяет определить область возможных диагнозов, рассматривая границу предельного состояния процесса как поверхность единичного гиперкуба, одна из вершин которого совпадает с началом координат. Так, для трехмерной технологической системы ($n = 3$) положение единичного куба в системе координат $g_{s1}g_{s2}g_{s3}$ показано на рис. 1. Попадание точки G в ту или иную область диагнозов определяется в зависимости от ее положения относительно плоскостей Π_1 и Π_2 . Если точка G и начало координат находятся по одну сторону от разделяющей плоскости Π_1 , то процесс характеризуется приемлемым состоянием по всем контролируемым характеристикам точности. Если точка G и начало координат находятся по разные стороны от разделяющей плоскости Π_2 , расположенной параллельно Π_1 и проходящей через вершину куба M , то процесс характеризуется нарушением точности по всем контролируемым характеристикам. Если же точка G находится между плоскостями Π_1 и Π_2 , то однозначное заключение о состоянии процесса сделать невозможно, и для уточнения диагноза требуется получение дополнительной информации.

Обобщая рассмотренный случай на n -мерное пространство признаков ($n > 3$), можно составить уравнение гиперплоскости [4] Π_1

$$\sum_{i=1}^n g_{si} = 1 \quad (1)$$

и соответственно Π_2

$$\sum_{i=1}^n g_{si} = n. \quad (2)$$

Если обозначить среднее значение комплексного критерия точности для всех контролируемых характеристик через

$$\bar{g}_s = \frac{\sum_{i=1}^n g_{si}}{n}, \quad (3)$$

то этот диагностический признак может быть использован в задачах распознавания следующим образом. Если $\bar{g}_s < 1/n$, то процесс характеризуется удовлетворительным состоянием и обеспечивает точность по всем контролируемым характеристикам. При $\bar{g}_s > 1$ имеет место нарушение точности по всем характеристикам. Если $1/n < \bar{g}_s < 1$, то информативность признака оказывается недостаточной, а для принятия окончательного решения требуется дополнительная информация, которая может быть получена с использованием комплексного критерия точности $g_{s \max}$, представляющего собой максимальное значение из имеющегося массива значений $g_{s1}, g_{s2}, \dots, g_{sn}$. Совместное использование \bar{g}_s и $g_{s \max}$ позволяет однозначно решать задачу распознавания состояния n -мерной технологической системы в соответствии со следующим подходом.

1. При $\bar{g}_s < 1/n$ наблюдается удовлетворительное состояние процесса.
2. Если $1/n < \bar{g}_s < 1$ и $g_{s \max} < 1$, то состояние процесса удовлетворительное по всем характеристикам.
3. При $1/n < \bar{g}_s < 1$ и $g_{s \max} > 1$ точность процесса нарушена как минимум по одной из характеристик.
4. Если $\bar{g}_s > 1 > 2$, то точность процесса нарушена по всем контролируемым характеристикам.

Графическая интерпретация сформулированного метода распознавания показана на рис. 2. Состояние процесса характеризуется точкой на плоскости в системе координат $\bar{g}_s, g_{s \max}$. Граница предельного состояния представляет собой ломаную линию ABC, относительно которой и следует оценивать положение точки с координатами $\{\bar{g}_s, g_{s \max}\}$.

Если состояние процесса оценивается периодически для моментов времени t_1, t_2, \dots, t_k , то на графике появляется последовательность точек, по характеру расположения которых можно оценивать тенденцию развития процесса. Если изменение состояния многомерного процесса соответствует схеме 1 (рис. 2), то необходимость выполнения управляющих воздействий отсутствует. Если ход процесса соответствует схеме 2, то после k -го момента времени требуется выполнение корректирующих действий, эффективность которых оценивается по расположению соответствующей точки для момента времени t_{k+1} относительно границы ABC. Отметим, что предложенный метод графического представления результатов анализа основан на использовании двух статистических характеристик \bar{g}_s и $g_{s \max}$ вместо исходного набора значений $g_{s1}, g_{s2}, \dots, g_{sn}$, что позволяет упростить процедуру оценки состояния многомерных систем и свидетельствует о диагностической ценности признаков \bar{g}_s и $g_{s \max}$ [3].



Характеристики точности технологического процесса дуговой сварки в узкий зазор

Контрольный момент времени	g_{s1}	g_{s2}	g_{s3}	g_{s4}	g_{s5}	g_{s6}	\bar{g}_s	$g_{s \max}$
t_1	0,62	0,77	0,42	0,93	0,80	0,82	0,727	0,93
t_2	0,60	0,75	0,44	0,96	0,82	0,86	0,738	0,96
t_3	0,62	0,75	0,42	0,99	0,82	0,86	0,743	0,99
t_4	0,63	0,73	0,43	1,05	0,80	0,85	0,748	1,05
t_5	0,61	0,74	0,40	0,92	0,80	0,82	0,715	0,92

Алгоритм реализации предложенного метода сводится к следующей последовательности действий.

1). По результатам предварительного анализа устанавливается перечень характеристик процесса, которые влияют на качество продукции и должны контролироваться для оценки текущего состояния системы.

2). Для установленных n характеристик точности в процессе производства периодически определяются статистические характеристики смещения и рассеяния, а также комплексные критерии точности g_{si} в соответствии с методикой, изложенной в [2].

3). Если установлено, что $\bar{g}_s < 1/n$, то процесс удовлетворяет всем требованиям в отношении точности, и необходимость вмешательства извне отсутствует. При $\bar{g}_s > 1/n$ состояние системы уточняется путем определения $g_{s \max}$. В случае $g_{s \max} \geq 1$ следует выполнить мероприятия, направленные на восстановление точности по соответствующему параметру.

4). После выполнения управляющих воздействий их эффективность проверяется путем повторного определения диагностических признаков $\bar{g}_s, g_{s \max}$.

Отметим, что случай нарушения точности многомерной системы одновременно по всем характеристикам может наблюдаться на этапе отработки технологии, если квалификационные характеристики оборудования по всем параметрам точности не соответствуют требованиям к процессу [5]. В этом случае следует на этапе подготовки производства привести в соответствие квалификации оборудования и процессов.

Возможности практической реализации предложенного метода рассматриваются на примере управления состоянием процесса многопроходной сварки в узкий зазор металла толщиной 60 мм [2]. Важнейшими характеристиками, от которых зависит формирование слоев в узком зазоре, являются: центральное положение электрода в зазоре, ширина зазора, вылет электрода, скорость сварки, сварочный ток, напряжение на дуге. Отклонения перечисленных параметров в процессе сварки могут привести к образованию дефектов в виде подрезов или несплавлений.

Для эффективного управления процессом должны быть предварительно установлены номинальные значения указанных характеристик и допустимый диапазон их изменения. Измерения конт-

ролируемых характеристик следует выполнять периодически для установленных моментов времени t_1, t_2, \dots . Статистическая обработка результатов контрольных операций связана с определением комплексных критериев точности по положению электрода в зазоре g_{s1} , ширине зазора в стыке g_{s2} , вылету электрода g_{s3} , скорости сварки g_{s4} , сварочному току g_{s5} и напряжению на дуге g_{s6} [2]. Значения соответствующих характеристик точности для моментов времени t_1, t_2, \dots, t_5 приведены в таблице.

Видно, что нарушение точности процесса по скорости сварки наблюдалось в момент времени t_4 . Эффективность корректирующих действий, связанных с восстановлением номинального значения скорости сварки, установлена при выполнении контрольных операций в момент времени t_5 . Графическое представление результатов выполненного анализа показано на рис. 2 в виде схемы 3, что позволяет сделать заключение об эффективности выполненных после момента времени t_4 корректирующих действий.

В наибольшей мере преимущества предложенного подхода проявляются при анализе состояния систем с переменной размерностью. Задачи подобного рода возникают, например, при заполнении комбинированной разделки, состоящей из нижней U- и верхней V-образной частей [6]. При этом нижняя часть может заполняться сваркой в защитных газах по схеме один слой за проход, а верхняя часть — под флюсом с раскладкой валиков. Тогда контроль шестимерной системы при заполнении нижней части разделки приводит к построению шести карт контроля состояния. При заполнении верхней части необходимость направления электрода строго по центру разделки отсутствует, поэтому контролировать следует пятимерную систему с дополнительным построением пяти карт контроля.

Использование сформулированных диагностических подходов позволяет существенно упростить процедуру анализа, ограничиваясь при этом применением двух статистических характеристик.

1. «Семь инструментов качества» в японской экономике. — М.: Изд-во стандартов. — 1990. — 88 с.
2. Тарарычкин И. А. Статистическое регулирование сварочных технологических процессов с использованием метода построения карт контроля состояния // Автомат. сварка. — 2001. — № 10. — С. 33–36.
3. Биргер И. А. Техническая диагностика. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. — М.: Наука, 1973. — 832 с.
5. Тарарычкин И. А. Оптимизация технологии сварочных процессов при решении задач обеспечения качества продукции // Свароч. пр-во. — № 1. — 2001. — С. 48–50.
6. Тарарычкин И. А., Ткаченко А. Н. Исправление дефектов в металле большой толщины с использованием технологии дуговой сварки в узкий зазор // Автомат. сварка. — 2002. — № 4. — С. 52–53.