

предотвращения этого необходимо снимать температуру по траектории перемещения горелки на небольшом расстоянии перед ней, для того, чтобы не было теплового воздействия дуги и система успевала отреагировать на изменения.

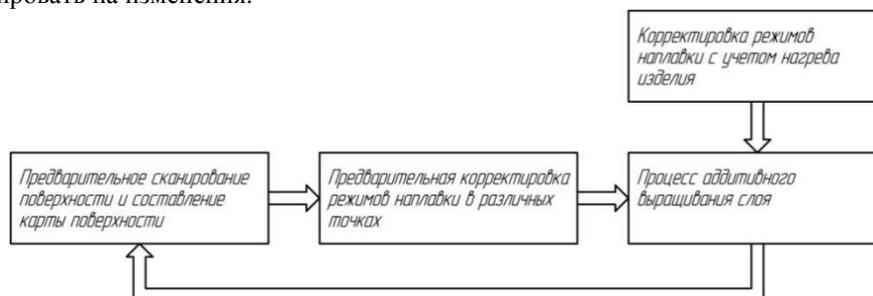


Рис. 1. Алгоритм аддитивного выращивания с предварительной и сопутствующей корректировкой режимов

Проект направлен на решение одной из основных задач в области 3D-печати, а именно на снижение тепловложения в металлические изделия, полученные электродуговым послойным выращиванием. Решение данной задачи приведет к уменьшению внутренних остаточных напряжений, получению более точной детали, измельчению структуры, а следовательно к повышению прочностных характеристик и эксплуатационных свойств металлических изделий, полученных электродуговым послойным выращиванием. Результаты выполнения работы по проекту дополняют прорывные технологические решения, целью которых является повышение ресурса, живучести и эксплуатационной надежности металлических изделий, полученных электродуговым послойным выращиванием.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00036

Список литературы

1. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. Учебное пособие. – Санкт-Петербург, СПбГУ, 2013. – 221 с.
2. Ding D.H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Oct. 2015. – P. 465–481
3. Taminger K.M. Electron beam freeform fabrication for cost effective near-net shape manufacturing // 139 specialists meeting on cost effective manufacture via net shape processing. Amsterdam (The Netherlands): NATO. 2006. – P. 16.1–16.10.
4. Крампит М.А. Применение устройства с подогревом вылета электродной проволоки током паузы в аддитивном производстве // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 4-1. – С. 44-48; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41433> (дата обращения: 13.04.2018).

АНАЛИЗ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ ОБРАЗОВ ДЕФЕКТОВ СВАРКИ

*С.Ю. Назаренко, аспирант, Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: svetana@mail.ru*

Для распознавания типовых дефектов сварных соединений – трещин и пор – использованы два алгоритма распознавания образов дефектов на цифровом радиационном изображении объекта. В работе вычислены значения критерия Кохрена, который применяется для проверки однородности дисперсий. Для всех рассмотренных случаев экспериментальное значение критерия Кохрена не превышает критическое значение, что говорит об однородности дисперсий и воспроизводимости экспериментов.

For recognizing typical defects of welded joints – cracks and pores – two algorithms for recognizing defects on a digital radiation image of an object are used. In this paper, the values of the Cochran test are calculated, which is used to check the uniformity of the variances. For all the cases considered, the experimental value of the Cochran test does not exceed the critical value, which indicates the homogeneity of variances and the reproducibility of the experiments.

Для контроля качества сварных соединений различного оборудования и конструкций широкое применение нашел радиационный метод неразрушающего контроля. Одним из методов радиационного контроля, используемого для обнаружения дефектов, является радиографический метод. Радиографический метод контроля качества материалов основан на преобразовании радиационного изображения объекта в радиографический снимок, представляющий собой распределение плотности почернения на рентгеновской пленке и фотопленке [1]. Проходя дефекты сварных швов, рентгеновские лучи теряют первоначальную интенсивность и вследствие этого проявляются на полученных рентгеновских снимках в виде темных пятен. Часто визуальный анализ снимков недостаточно эффективен и удобен, поэтому снимки обрабатывают и исследуют на компьютере, для чего помимо рентгеновского аппарата используют систему визуализации — камеру, подключенную к персональному компьютеру с установленной на нем программой для ее контроля, а также для анализа и обработки изображений. Для обработки изображений и идентификации дефектов сварных соединений могут быть использованы различные алгоритмы распознавания образов. При этом повышение достоверности результатов обработки изображений достигается путем проведения ряда параллельных опытов с последующей проверкой воспроизводимости экспериментов. Соответствие экспериментального распределения случайной величины предполагаемому теоретическому закону распределения можно оценить с помощью нескольких критериев, одним из простейших является критерий Кохрена.

Целью данной работы является статистическая обработка результатов экспериментов по распознаванию образов дефектов на цифровом радиационном изображении сварного соединения с помощью двух алгоритмов автоматического распознавания образов. Статистическая обработка включала в себя проверку воспроизводимости экспериментальных результатов по критерию Кохрена.

Описание двух алгоритмов распознавания образов на цифровых радиационных изображениях объекта контроля представлено в работе [2]. Согласно первому алгоритму проводится сегментация исследуемого изображения путем его предварительной фильтрации с последующей бинаризацией и распознаванием максимальной и минимальной осей инерции сегмента. Второй алгоритм заключается в сегментации исследуемого изображения с использованием процедуры кумулятивных сумми применений правила, основанного на теоретико-множественном подходе. В качестве образов дефектов сварки рассматривались два типа дефектов – трещины (непровары) и поры, которые моделировались простыми геометрическими фигурами – прямоугольником и кругом.

Тестирование алгоритмов по распознаванию образов было проведено на изображении размером 300×300 пикселей. На каждом таком изображении генерировались два объекта – прямоугольник и круг. Площадь S_i зашумление генерируемых объектов менялись (ОСШ – среднее квадратическое значение шума). Для каждого набора параметров объекта и шума было проведено моделирование 100 изображений. Каждое из 100 сгенерированных изображений подвергалось обработке и анализу двумя алгоритмами распознавания. Результаты обработки изображений в зависимости от площади генерируемого объекта S_i среднее квадратическое значения шума ОСШ представлены в таблицах 1 и 2. Верхнее число в ячейке представляет собой вероятность правильного распознавания геометрической фигуры, а нижнее число – вероятность неправильного распознавания. Каждому значению ОСШ соответствуют две колонки: в левой колонке содержатся вероятности распознавания прямоугольника, а в правой колонке – вероятности распознавания круга. Если ячейка содержит только нуль, то это означает равенство нулю вероятности правильного распознавания для обеих фигур.

Таблица 1

Результаты обработки тестовых изображений по первому алгоритму

S	ОСШ								
	1,5	2		2,5		3		4	
12	0	0		3	1	29	28	34	56
				1	1	57	57	66	44
24	0	3	2	33	24	96	66	99	91
		1	4	5	16	3	33	3	9
48	0	19	10	61	49	100	93	100	95
		0	7	2	14	0	6	1	9
75	0	18	15	79	73	100	98	100	99
		2	5	1	4	0	1	0	1
108	0	30	27	87	87	100	98	100	100
		4	5	2	2	0	2	0	0

Таблица 2

Результаты обработки тестовых изображений по второму алгоритму

S	ОСШ									
	1,5		2		2,5		3		4	
12	51 2	7 33	67 14	33 27	66 29	47 17	80 17	41 9	83 17	83 6
24	72 0	12 49	85 4	43 33	92 2	55 23	96 1	64 14	100 0	83 7
48	82 3	33 44	90 4	64 19	98 1	86 7	99 0	97 3	100 0	100 0
75	96 4	39 51	100 0	72 23	100 0	92 6	100 0	98 2	100 0	100 0
108	94 6	89 11	100 0	95 5	100 0	97 3	100 0	100 0	100 0	100 0

Проанализируем полученные результаты обработки изображений с помощью критерия Кохрена. Для каждой серии параллельных опытов вычислим среднее арифметическое значение функции отклика.

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ij}, j=1..N,$$

где k – количество параллельных опытов, проведенных при одинаковых условиях.

Далее вычисляем оценку дисперсии для каждой серии параллельных опытов:

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ji} - \bar{y}_j)^2.$$

Для проверки воспроизводимости опытов найдем отношение наибольшей из оценок дисперсий к сумме всех оценок дисперсий:

$$G = \frac{\max s_j^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2}.$$

Это соотношение называется расчетным значением критерия Кохрена. Оно соответствует доверительной вероятности $p = 0,95$ и сравнивается с табличным значением критерия Кохрена. Величина $(1 - p)$ называется уровнем значимости. Для нахождения табличного значения критерия Кохрена G необходимо знать общее количество оценок дисперсий N и число степеней свободы f , связанных с каждой из них, где $f = k - 1$. Если вычисленное по данным эксперимента значение G меньше критического значения G , то гипотезу об однородности выборочных дисперсий можно считать справедливой.

Статистическую обработку результатов моделирования проводили с помощью программы Excel [3]. Для примера представим в таблицах 3 и 4 результаты анализа для распознаваемого объекта – прямоугольника, полученные для двух алгоритмов распознавания образов. Аналогичным образом проведена обработка результатов для распознаваемого объекта – круга.

Таблица 3

Результаты анализа для распознаваемого объекта– прямоугольника,
полученные для первого алгоритма

№ опыта, j	Площадь объекта S	Количество распознанных объектов, %					Среднее значение	Дисперсия
		ОСШ 1,5	ОСШ 2	ОСШ 2,5	ОСШ 3	ОСШ 4		
1	12	0	0	3	29	34	13,2	283,7
2	24	0	3	33	96	99	46,2	2360,7
3	48	0	19	61	100	100	56	2100,5
4	75	0	18	79	100	100	59,4	2230,8
5	108	0	30	87	100	100	63,4	2092,8

Сумма дисперсий для данных экспериментальных результатов равна 9068,5, а расчетное значение критерия Кохрена $G_{эк}$ равно 0,26.

Таблица 4

Результаты анализа для распознаваемого объекта – прямоугольника,
полученные для второго алгоритма

№ опыта, <i>j</i>	Площадь объекта <i>S</i>	Количество распознанных объектов, %					Среднее значение	Дисперсия
		ОСШ 1,5	ОСШ 2	ОСШ 2,5	ОСШ 3	ОСШ 4		
1	12	51	67	66	80	83	64,4	163,3
2	24	72	85	92	96	100	89	121,0
3	48	82	90	98	97	100	93,4	54,8
4	75	96	100	100	98	100	98,8	3,2
5	108	94	100	100	100	100	98,8	7,2

Сумма дисперсий для экспериментальных результатов из таблицы 4 равна 349,5, а расчетное значение критерия Кохрена $G_{эк}$ равно 0,47.

Найдем по таблице [4] критическое значение критерия Кохрена $G_{крит}$ и сведем результаты статистической обработки экспериментов по распознаванию образов дефектов сварного соединения в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты статистической обработки результатов экспериментов по
распознаванию образов дефектов сварного соединения

Номер вычисления	Распознаваемый объект	Алгоритм	$G_{эк}$	G
1	прямоугольник	1	0,26	0,544
2	прямоугольник	2	0,47	0,544
3	круг	1	0,26	0,544
4	круг	2	0,27	0,544

Максимальная величина $G_{эк} = 0,47$ получена для распознаваемого объекта – прямоугольника при использовании для распознавания образа дефекта второго алгоритма. Так как экспериментальные значения критерия Кохрена $G_{эк}$ не превышают критического значения, то можно сделать вывод об однородности дисперсий воспроизводимости экспериментов.

Список литературы

1. Кулешов В.К., Сертаков Ю.И., Ефимов П.В. Физические и экспериментальные основы радиационного контроля и диагностики. Ч. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 341 с.
2. Воробейчиков С.Э., Фокин В.А., Удод В.А., Темник А.К. Исследование двух алгоритмов распознавания образов для классификации дефектов в объекте контроля по его цифровому изображению // Дефектоскопия. – 2015. – № 10. – С. 54 – 63.
3. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 464 с.
4. Большаев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большаев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 474 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА

*С.А. Солодский, к.т.н., доцент, С.В. Стаценко, студент гр. 17Г51
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Юргинский технологический институт, Томск, Россия.
sergio80@inbox.ru*

Представлена новая технология низкочастотной модуляции тока дуги при MAG, MIG-сварке. Процесс обеспечивает управление тепловыми и кристаллизационными процессами, стабилизирует время