

**Э.Р. ГАЛИМОВ, А.Г. КУДРИН, А.В. БЕЛЯЕВ**

**МУЛЬТИФРАКТАЛЬНАЯ  
ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И СВАРКИ**

**МОНОГРАФИЯ**

**КАЗАНЬ, 2014**

Министерство образования и науки Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА – КАИУ»

**Э.Р. ГАЛИМОВ**

**А.Г. КУДРИН**

**А.В. БЕЛЯЕВ**

# **МУЛЬТИФРАКТАЛЬНАЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И СВАРКИ**

**МОНОГРАФИЯ**

Казань

2014

**УДК 621.791.7:620.17:620.18**

Рецензенты:

*Абдуллин И.А.*, д-р техн. наук, профессор (Казанский национальный исследовательский технологический университет);

*Круглов Е.П.*, канд. техн. наук, профессор (Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

**Э.Р. Галимов, А.Г. Кудрин, А.В. Беляев.** Мультифрактальная параметризация в задачах материаловедения и сварки. Монография. Казань: Изд-во «Отечество», 2014. – 168 с.

**ISBN 978-5-9222-0835-2**

Представлены сведения о практическом применении метода мультифрактальной параметризации для изучения микроструктур металлических материалов, прогнозирования оптимальных режимов их получения и обработки. Установлены связи состава, структуры и строения с параметрами однородности и упорядоченности для различных групп металлических материалов.

Издание предназначено для научных сотрудников, аспирантов и студентов, занимающихся параметризацией металлографических изображений структур металлических материалов.

Табл. 35 Ил. 113 Библиогр. 72 назв.

**ISBN 978-5-9222-0835-2**

© Э.Р. Галимов, А.Г. Кудрин,  
А.В. Беляев, 2014  
© Изд-во «Отечество», 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ И ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ</b> .....	8
<b>1.1. Современное состояние технологии порошковых сталей</b> .....	9
1.1.1. Углеродистые порошковые стали.....	11
1.1.2. Порошковые легированные конструкционные стали.....	12
1.1.3. Применение порошковых сталей.....	16
<b>1.2. Подходы к исследованию взаимосвязей между составом, структурой и свойствами порошковых сталей</b> .....	23
<b>1.3. Оценка структуры и механических свойств металлических материалов</b> .....	26
1.3.1. Металлографические исследования.....	26
1.3.1.1. Методика отбора образцов.....	27
<b>1.4. Основные положения мультифрактальной параметризации металлических материалов и мультифрактального анализа</b> .....	31
1.4.1. Сведения из теории фракталов и мультифракталов.....	31
1.4.2. Параметризация микроструктур.....	35
1.4.3. Области применения мультифрактального анализа.....	37
1.4.4. Применение параметризации структур при оценке качества металлов.....	40
<b>Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	43
<b>2.1. Основные объекты исследований</b> .....	43
2.1.1. Сварные соединения из сталей аустенитного класса.....	43
2.1.2. Углеродистые и легированные порошковые стали.....	54
2.1.3. Алюминиевые сплавы.....	56
<b>2.2. Основные методы исследований</b> .....	58
2.2.1. Измерение твердости по Виккерсу.....	58
2.2.2. Определение твердости методом Роквелла.....	59
2.2.3. Механические свойства при статическом сжатии.....	60
2.2.4. Механические свойства при статическом изгибе.....	61
2.2.5. Механические свойства при статическом растяжении.....	62
2.2.6. Метод мультифрактальной параметризации.....	64

2.2.7. Методы статистической обработки результатов измерений.....	68
2.2.8. Методы исследования микроструктуры металла.....	73
<b>Глава 3. ПОДГОТОВКА К МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МИКРОСТРУКТУР.....</b>	<b>74</b>
3.1. Рекомендации к проведению мультифрактального анализа.....	75
3.2. Последовательность проведения параметризации металлографической структуры.....	76
3.3. Влияние дефектов подготовки и структуры на результаты параметризации.....	80
3.4. Влияние положения плоскости шлифа на результаты мультифрактальной параметризации.....	82
3.5. Влияние химического состава травителя на результаты мультифрактальной параметризации.....	86
3.6. Влияние оптического увеличения съемки на результаты мультифрактальной параметризации.....	95
3.7. Влияние разрешения изображений на результаты параметризации.....	101
<b>Выводы по главе 3.....</b>	<b>102</b>
<b>Глава 4. ВЗАИМОСВЯЗЬ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ С СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА И ПРЕДЕЛОМ ПРОЧНОСТИ.....</b>	<b>104</b>
<b>Выводы по главе 4.....</b>	<b>114</b>
<b>Глава 5. УЛУЧШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ.....</b>	<b>116</b>
5.1. Взаимосвязь механических свойств и мультифрактальных параметров порошкового сплава на основе железа с концентрациями легирующих элементов...	118
5.2. Определение оптимальной концентрации легирующих элементов порошкового сплава с использованием диаграммы упорядоченность – однородность.....	132
<b>Выводы по главе 5.....</b>	<b>140</b>
<b>Глава 6. УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МИКРОСТРУКТУР.....</b>	<b>141</b>
6.1. Взаимосвязь твердости сварных соединений с результатами параметризации....	141

6.2. Исследование параметров однородности и упорядоченности сварного соединения с трещиной.....	143
6.3. Исследования связи микроструктуры и механических свойств алюминиевых сплавов.....	144
<b>Выводы по главе 6.....</b>	<b>153</b>
<b>Глава 7. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ.....</b>	<b>154</b>
<b>Выводы по главе 7.....</b>	<b>157</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>158</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>160</b>