

УДК 621. 791.7:620.17:620.18

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ СТРУКТУР

Низамов Р. А., Мухамадеев И. М., Новиков А. В., Беляев А. В.

Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А. Н. Туполева, г. Казань

Важным направлением в машиностроении является совершенствование методов контроля структуры, испытание, прогнозирование и определение механических свойств материалов. В настоящее время оценку изменения структуры металлических материалов осуществляют традиционными металлографическими методами, а механических свойств – соответствующими исследованиями. Однако традиционные методы не дают достаточно точную корреляцию структуры и свойств или требуют трудоемкой подготовки образцов и многочисленных испытаний в соответствии с нормативно-технической документацией. В ряде случаев просто недопустима или невозможна вырезка образцов из действующих объектов машиностроения. Подобные испытания можно не проводить, используя методологию параметризации структур. В связи с этим перспективным направлением является установление взаимосвязи механических свойств металлических материалов с результатами параметризации цифровых изображений их микроструктуры.

Теория мультифрактальной параметризации структур материалов разработана и описана в трудах Б. Мандельброта, Р. Л. Хадсона, А. Г. Колмакова, Г. В. Встовского [1, 2], И. Ж. Бунина, В. С. Ивановой, А. В. Вотнинова, В. В. Герова, А. С. Баланкина, А. А. Оксогоева, А. Д. Анварова и др.

Объектами исследований выступали сварные соединения наружных корпусов камер сгорания приводов компрессоров газоперекачивающих станций, выполненные из жаропрочной аустенитной стали «10X11H20T2P». Основные результаты работы получены с применением методов механических испытаний, спектрального, радиографического и металлографического анализов. Металлографические шлифы были изготовлены на шлифовальной и полировальной машине, для выявления границ аустенитных зерен исследуемой марки стали использовался реактив «Круппа», стационарный микроскоп с увеличением  $\times 1000$  с цифровой камерой «AxioCamHR» для захвата изображений, поверенный стационарный твердомер по «Виккерсу», персональный компьютер с программным обеспечением «Adobe Photoshop», «MFRDrom» (разработана Г.В. Встовским в ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова), «Excel».

Подготовка сварных соединений к параметризации в программе «MFRDrom» включала вырезку образцов и изготовление микрошлифа сварного соединения, травление, фотографирование, оцифровку изображения, выделение областей необходимого размера из микроструктуры, преобразование изображений. Из всех параметров структуры были выбраны однородность  $F_{200}$  и упорядоченность  $D_1$ - $D_{200}$ , как наиболее информативные параметры. Предварительная обработка изучаемых изображений структур заключалась в обработке цифровых изображений с использованием средств компьютерной графики.

Зависимости однородности и упорядоченности от разрешения изображений в пикселях получены на основе анализа программой MFRDrom серии из 220 цифровых снимков различного разрешения стали с баллом зерна от 1-10. Для повышения точности и надежности прогнозирования твердости проведен расчет температурных полей при аргонодуговой сварке. Исследование распределения температуры предельного состояния по сечению сварного соединения позволило провести

моделирование структуры, полученной при охлаждении после сварки, используя диаграммы состояния и сопоставлением изотерм и структур соответствующих участков [3].

Часть исследований была посвящена разработке методики, адаптации известного метода и установление взаимосвязи балла зерна и параметров однородности и упорядоченности. Известные в литературе сведения и данные, полученные авторами, позволяют установить зависимость однородности и упорядоченности структуры при малых и при больших разрешениях изображений микроструктур, которые получены на основной шкале 1 для определения балла зерна (1-10) при увеличении  $\times 100$ . Анализ зависимостей показывает, что существует достаточно четкая корреляция между баллом зерна ( $z$ ) и параметрами однородности и упорядоченности для сварного соединения без дефектов, что позволяет определять балл зерна методом параметризации структур в автоматизированном режиме.

Также можно сделать вывод, что на упорядоченность и однородность структуры сварного соединения влияет как количество, так и размер пор или шлаковых включений, а также размер трещин или следов от шлифования и полирования. Это необходимо учитывать при подготовке шлифов и выборе мест исследования сварного соединения, так как участки шлифа с дефектами могут искажать результаты расчета.

Для установления взаимосвязи твердости и фрактальных характеристик может использоваться аппроксимация функций методом нейронных сетей в пакете прикладных программ MATLAB. Общая схема прогнозирования твердости представлена на рисунке.

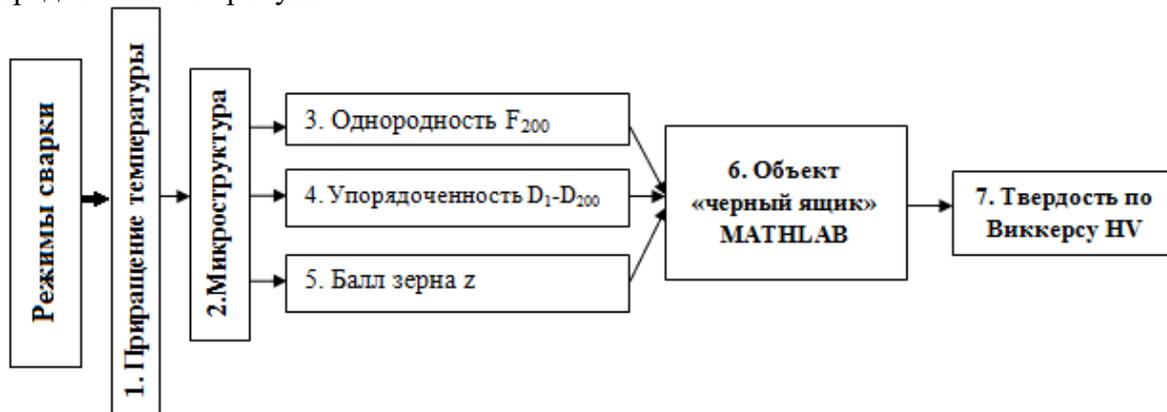


Рисунок. Общая схема прогнозирования твердости

Проведение подобного анализа может быть полезным для прогнозирования твердости на участках металла деталей машин, где по каким-либо причинам невозможно определение твердости методами механических испытаний или необходимо восстановить ее значения на неизмеренных участках.

#### Библиографический список

1. Встовский, Г.В. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов [Текст] / Г.В. Встовский, А.Г. Колмаков, И.Ж. Бунин // Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 116 с.
2. Встовский, Г.В. Элементы информационной физики [Текст] / Г.В. Встовский – М.: МГИУ, 2002. – 260 с.
3. Беляев, А.В. О возможности прогнозирования твердости металлических материалов [Текст] / Э.Р. Галимов, И.А. Абдуллин, А.В. Беляев, Л.В. Сироткина // Вестник Казанского государственного технологического университета. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2014, Т. 17, №17. – С. 98-99.