

# МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СТАЛЕЙ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИХ МИКРОСТРУКТУРЫ.

© 2021 г. Магдеев Радик Гильфанович<sup>1\*</sup>, А. Г. Ташлинский<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> – Ульяновский Государственный Технический Университет (УлГТУ),  
432027 г. Ульяновск, улица Северный Венец, д.32

\* - [radiktd2@yandex.ru](mailto:radiktd2@yandex.ru); тел.: 8-937-273-5444; \*\* - [tag@ulstu.ru](mailto:tag@ulstu.ru);

Малоуглеродистые низколегированные перлитные доэвтектоидные стали являются основной продукцией черной металлургии. Одной из ключевых проблем при производстве и эксплуатации изделий из стали является контроль соответствия изделий требуемым характеристикам, в частности механическим свойствам (твердость, прочность, вязкость, упругость, пластичность), остаточному ресурсу и др. [1]. Многочисленные исследования показали связь параметров микроструктуры стали и механических свойств металлов и сплавов [2, 3 и др.]. Микроструктура стали представляет собой совокупность множества зерен в виде прилегающих друг к другу кристаллитов, отличающихся по размеру, форме и пространственной ориентации. При этом на практике многие микроструктурные исследования проводится визуально экспертами, что увеличивает время анализа и вносит в его результаты элемент субъективности.

Предлагаемая методика, основы которой были изложены в работе [4], с использованием методов обработки цифровых изображений позволяет автоматизировать процесс получения микроструктурных характеристик. При этом обработка металлографических изображений включает в себя три основных этапа:

1 этап. Предварительная обработка исследуемых изображений, направленная на увеличение точности и достоверности нахождения микроструктурных параметров зерен перлита. Содержит операции: сокращения цветности изображения с целью упрощения последующих вычислений; выделения рабочей области обработки для исключения малоинформативных участков изображения; фильтрации изображения для компенсации высокочастотных искажений, вызванных особенностями тракта металлографического микроскопа; выравнивания яркости, компенсирующего неравномерность освещённости микрошлифа; эквализации изображения, выравнивающей гистограмму яркостей изображения.

2 этап. Выделение на металлографических изображениях областей, соответствующих зернам перлита, по которым в дальнейшем находятся микроструктурные параметры. Реализуется процедурами: сегментации, направленной на выделение областей перлитных зёрен, математической морфологии для устранения внутренних разрывов в изображениях зёрен и исключения из дальнейшего анализа мелких

объектов, выделения внешних границ и построения выпуклых оболочек зерен для последующего расчета по ним микроструктурных параметров.

3 этап. Оценивание микроструктурных параметров зерен перлита, включающее гауссову фильтрацию выпуклых оболочек выделенных зерен, формирование эталонов для нахождения параметров зерен. Оценка параметров зерен перлита производится с использованием метода псеводградиентной идентификации [4], основанного на безыдентификационной псеводградиентной адаптации изображений [5]. Преимуществом предлагаемого метода является то, что параметры эталонов адаптивны и подстраиваются под параметры пятен, представленных выпуклыми оболочками.

Разработанная методика позволяет по металлографическим изображениям в режиме реального времени определять следующие параметры: отношение перлита к ферриту, зернистость перлита, общий вектор направленности зёрен, средний размер зёрен, разброс размеров зёрен, степень упорядоченности ориентаций зерен, среднее значение коэффициента анизотропности формы.

Проведенные исследования показали, что средние размеры зерен, автоматизировано найденные с использованием предложенной методики, и рассчитанные по традиционным методам ГОСТ 5639 отличаются не более чем на 5 %. Методика может быть использована для определения прочностных характеристик металла на разных стадиях производства и эксплуатации: от контроля качества на заводе до определения остаточного ресурса. Апробация методики на изображениях микрошлифов нефтяных и водных трубопроводов различного срока эксплуатации показала ее высокую эффективность.

Работа поддержана грантами РФФИ № 19-29-09048 и № 19-47-730004.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Материаловедение: Учебник для вузов. под общ. ред. Б.Я. Арзамасова, Г.Г. Мухина. 8-е изд., М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. 648 с.
2. Лисин Ю.В., Неганов Д.А., Гумеров К.М. Исследования изменений свойств металла трубопроводов в процессе эксплуатации: обобщение результатов и перспективные разработки Уфимской научной школы // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т.2. №2. С. 22—30.
3. Гребеньков С.К., Скуднов В.А., Шацов А.А. Деформация и разрушение низкоуглеродистых мартенситных сталей. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2016. №2. С. 33—38.
4. Magdeev R.G., Tashlinskiy A.G. Method for identification of perlite-class steel microstructure parameters using metallographic images // CEUR Workshop Proceedings. V.1901. 2017. P. 169—175.
5. Tashlinskii A.G. Pseudogradient Estimation of Digital Images Interframe Geometrical Deformations // Vision Systems: Segmentation & Pattern Recognition, 2007. Vienna, Austria: I Tech Education and Publishing. P. 465—494.