

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



«Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина»

ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2
Тел.: +7 (495) 777-93-01; факс: +7 (495) 777-93-00
e-mail: chermet@chermet.net
www.chermet.net

«26» 04 2024 год №
на № от

УТВЕРЖДАЮ:

Первый Заместитель Генерального
директора Государственного научного
центра Федерального государственного
унитарного предприятия «Центральный
научно-исследовательский институт
черной металлургии им. И.П. Бардина»,
К.Т.Н.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Кодирова Давронжона Фарходжона угли «Метрологическое обеспечение измерений цифровых изображений структур сплавов на основе железа», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Структура и объем диссертационной работы

На отзыв представлена диссертация, состоящая из введения, четырех глав, частных и общих выводов, списка литературы из 121 наименования. Работа изложена на 107 страницах, включает в себя 32 рисунка и 14 таблиц.

Актуальность темы диссертационного исследования

Повышение качества выпускаемой металлопродукции непосредственно связано с оценкой структуры, т.к. именно она в конечном итоге определяет уровень механических и физических свойств. В свою очередь структура формируется в результате «прохождения» металла по различным траекториям протяженной технологической цепочки (в пределах её, как правило, достаточно широкого поля допуска), что определяет неоднородность её строения, как в масштабах образца или изделия, так и от изделия к изделию. Существующие на сегодняшний день стандарты для оценки структур, большинство из которых выпущены в конце

прошедшего столетия, преимущественно имеют качественный характер - основаны на сопоставлении с эталонными шкалами - картинками. Перспективным, в связи с этим, является применение цифровых измерений структур. В настоящее время разработано большое количество анализаторов изображений для цифрового анализа, но главный их недостаток — это отсутствие единого подхода к измерениям структур.

В связи с вышесказанным направление диссертационного исследования Кодирова Д.Ф., в котором решена задача по выявлению метрологических факторов цифрового количественного анализа структур сталей и сплавов, влияющих на получение достоверных результатов измерений является актуальной. Помимо этого, оценена эффективность применения эталонных изображений ГОСТ 5639 и 1778 при ранжировании металлопродукции по структуре, что является важным как при практическом применении данных нормативных документов, так для их дальнейшей актуализации.

Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность решаемой научной проблемы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, отражена достоверность полученных результатов, упомянуты публикации соискателя, личный вклад автора, благодарности, а также приведена информация об объеме и структуре диссертации.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по теме исследования, в котором оценена роль структуры в формировании качества металла, в частности влияние неметаллических включений и зеренной структуры на механические свойства. Проанализированы тенденции развития металлографии и существующие на сегодняшний день методы оценки структуры. Также проанализированы все основные этапы цифрового количественного анализа, начиная от пробоподготовки и заканчивая статистической обработкой получаемых результатов. По результатам обзора автором сформулированы основные цели и задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена описанию материалов и методов исследования. В качестве объектов исследования были выбраны эталонные изображения из ГОСТ 5639 и 1778, а также разнородные структуры 8 сплавов на основе железа, различающихся маркой, сортаментом и сферой применения. Приведена основная информация о методиках и оборудовании, которые применялись в работе.

В третьей главе проведен анализ баз данных производственного контроля технологии и продукта различных марок сталей, который позволил выявить большой разброс приемно-сдаточных параметров. Это определяет необходимость измерения структур номинально однотипных, но отличающихся геометрией своего строения и подтверждает актуальность перехода к цифровым измерениям. Большая часть данной главы посвящена определению метрологических факторов цифрового количественного анализа и оценки рисков получения недостоверных результатов при их не учете. В частности, показано, что измерение геометрии структурных составляющих на изображениях, полученных при разных увеличениях микроскопа, разрешениях камеры и яркостях осветительной системы может привести к существенным различиям в результатах. Также выявлена значительная вариация значений порога бинаризации в зависимости от выбранного метода перевода исходного изображения в бинарное, что в свою очередь приводит к значимым различиям в результатах измерений геометрии структурных составляющих. Помимо этого, показана необходимость применения различных морфологических и геометрических фильтров: связность объектов, удаление граничных объектов, дилатация и фильтрация по площади.

В четвертой главе для выявления границ эффективного применения эталонных шкал проведен количественный анализ эталонных изображений неметаллических включений и зерна, представленных в линейке ГОСТ 1778-70 и 5639-82. Так для эталонных изображений ГОСТ были измерены площади объектов и определены характеристики их распределения, значения средней площади, плотности и объемной доли. Выявлено, что для большинства эталонных изображений распределение расстояний между центрами НВ значительно отличается от нормального, что говорит об их неслучайном размещении. Это обстоятельство

необходимо учитывать при сопоставлении загрязненности сталей на основе сравнения с эталонными шкалами. В свою очередь для эталонных шкал ГОСТ 5639-82 показано, что ранжированию соответствует повышение плотности зерен, при понижении средней площади с возрастанием номера зерна. Вариация рассчитанных коэффициентов асимметрии и эксцесса так же, как и в случае с НВ отражает различную статистическую природу формирования изображений эталонов.

Научная новизна результатов исследования

1. На основе анализа полей яркости (в 256 градациях серого) ряда изображений структур (феррито-цементитной смеси различной морфологии, литой, зерна феррита и аустенита, частиц неметаллической и графитовой природы) сопоставлены риски получения различных результатов измерения значений геометрии составляющих структуры (определяющие процессы деформации и разрушения материала), возникающие при неизбежной вариации продолжительности травления, применении различных критериев выбора порогового значения контраста, включая оценку меры риска, обусловленного возможной трансформацией изображения структур при изменении оптического увеличения, различиями в процедурах перевода цветного изображения в оттенки серого и разрешении цифровой камеры. Проведенные оценки учитывали вид распределения значений геометрических параметров составляющих структуры.

2. Из сопоставления значений параметров геометрии элементов (и их взаимного расположения – на основе статистики полиэдров Вороного) изображений эталонных структур, содержащихся в нормативных документах (ГОСТ 5639-82 и 1778-70 - шкалы ОТ, НТ и НА) и подобных реальных структур, выявлено существенное различие в статистических характеристиках (коэффициенты асимметрии и эксцесса) распределения исходных значений ($-0,4 < A_s < 1,6$ и $-0,9 < E_x < 2,4$), что отражает многообразие их статистической природы. Это обстоятельство необходимо учитывать при сопоставлении различных выборок результатов измерений параметров геометрии структур.

3. Для изображений неметаллических включений на нетравленном металлографическом шлифе развита «локальная» методика определения порога бинаризации (с привязкой к однотипным элементам структуры), основанная на сопоставлении диаграмм распределения значений интенсивности яркости фона и неметаллических включений.

Достоверность результатов обеспечивается использованием современной исследовательской техники, массовых цифровых измерений структур в сочетании с использованием разнообразного программного обеспечения и адекватных статистических методов обработки результатов, согласием с результатами, имеющимися в научно-технической литературе по данной проблеме. Основные результаты, полученные в ходе научной работы опубликованы в виде 6 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus и WoS, 12 тезисов. Результаты диссертации были представлены на 4 конференциях: X-ой и XI-ой Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур», г. Москва, 2021 и 2023 гг, LXIII Международной конференции «Актуальные проблемы прочности» в 2021 г. и XI Международной школе «Физическое материаловедение» (победа в конкурсе в номинации «Молодой ученый») в 2023 г. в городе Тольятти. Также в рамках «Металл-Экспо 2020» в составе коллектива авторов получена Серебряная медаль за разработку импортозамещающих твёрдых сплавов с повышенной износостойкостью и сопротивляемостью преждевременному разрушению для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих сельхозмашин, эксплуатирующихся в абразивной среде.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

В работе получен ряд новых результатов, представляющих интерес в первую очередь для научных организаций в области материаловедения и металлургии, металлургических предприятий в связи с необходимостью повышения объективности аттестации качества металлопродукции по структуре. Также результаты работы и выводы по ним будут полезны разработчикам программных

продуктов, связанных с измерением и анализом изображений структур сталей и сплавов.

Замечания по работе:

1) Аналитический обзор литературы принято завершать выводами из которых вытекает цель работы и постановка задач. Для большинства разделов аналитического обзора имеются локальные выводы, но следовало бы их обобщить и вывести в отдельный раздел.

2) Автором не обоснован выбор метода полиэдров Вороного для определения ближайших соседей и последующей оценки неоднородности размещения объектов на шлифе.

3) В работе уделено большое внимание различным методам бинаризации, однако существуют и другие методы сегментации изображений, которые могли бы быть более эффективными для выделения объектов.

4) Следовало бы оценить не только эффективность применения эталонных шкал ГОСТ 5639 и 1778, но и остальных количественных методов, регламентированные данными стандартами.

5) В работе имеется ряд опечаток и неточностей: на стр. 7 продублирован абзац, посвященный выступлениям на конференциях; на стр. 69 интенсивность пикселей обозначена буквой «I», а на графиках (рис .23) – Y ; по тексту встречаются различия в обозначении номеров ГОСТ, как с указанием года выпуска, так и без него.

Заключение

Отмеченные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают ценность диссертационной работы Кодирова Д.Ф., имеющей научную новизну и практическую значимость в актуальной области современного металловедения. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований предложены новые научно обоснованные решения, связанные с контролем и анализом структур в металлургии и материаловедении, определяющие получение объективных оценок их морфологии. Диссертационная работа и автореферат соответствуют всем

требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, а автор работы Кодиров Давронжон Фарходжон угли заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация, автореферат Кодирова Д.Ф. и отзыв обсуждены и приняты на заседании Научно-технического совета Научного центра качественных сталей ведущей организации ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», протокол № 3 от 22.04.2024г.

Директор Научного центра качественных сталей
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д.т.н.,
профессор



Г. А. Филиппов

Филиппов Георгий Анатольевич
Специальность 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Данные об организации: Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» (ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»). 105005, г. Москва, ул. Радио, дом 23/9, стр.2. Телефон: +7 (495) 777-93-01, E-mail: chermet@chermet.net