



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ»  
(АО «КБСМ»)



пр. Обуховской Обороны, д.120, лит. ЕЧ, Санкт-Петербург, 192012  
Тел.: (812) 665-56-00; Факс: (812) 665-57-99, E-mail: office@kbsm.su  
ОКПО 07560280, ОГРН 1037804017140, ИНН/КПП 7802205799/781101001

№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
Г [ ]

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор,  
генеральный конструктор  
АО «КБСМ»,  
кандидат технических наук

В.Г. Долбенков  
02 2021 г.



**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Петрова С.Н. «Создание комплекса количественных методов электронной микроскопии для анализа структурно-фазовых превращений в сталях и сплавах», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Автор работы Петров С.Н. рассматривает вопросы количественных методов оценки микроструктуры сталей и сплавов с использованием электронной микроскопии. Количественный анализ позволяет объективно сравнивать микроструктуру материалов на различных стадиях технологического процесса производства, испытаний или эксплуатации, что весьма актуально для разработки новых материалов и оценки срока службы существующих. Методы анализа, обоснованные в диссертации, позволяют проводить аттестацию микроструктуры ферритно-бейнитных и бейнитно-мартенситных и высокопрочных мартенситных сталей после деформирования, закалки и отпуска, а также жаропрочных сплавов после испытаний и эксплуатации в конструкциях установок нефтехимического синтеза.

НИЦ «Курчатовский институт»  
НИИ им. Пирогова

вх. № 1442	в ДЕЛО
«17» 02 2021 г.	№ _____
доп	п.
Основ. 3	л.

Существенным достоинством работы является получение информации о микроструктуре на участках большой площади (объема) материала в сочетании с высоким пространственным разрешением исследований. Такой подход, в частности, позволяет проводить определение количественного содержания бейнита и мартенсита в речных структурах высокопрочных сталях и оценивать эволюцию микроструктуры после отпуска на панорамных изображениях, получаемых методом дифракции обратнорассеянных электронов. Ранее эти проблемы могли быть решены только с использованием просвечивающей электронной микроскопии на участках небольшого размера. Также продемонстрированы широкие возможности, открываемые при совместном использовании растровой ионной и просвечивающей электронной микроскопии. Прицельное приготовление объекта исследования для просвечивающей электронной микроскопии позволяет с высочайшим разрешением исследовать тонкую структуру дисперсных частиц размером до 10 мкм, а также переходные слои на их границе с металлом, что было успешно продемонстрировано автором работы на примере жаропрочных сплавов.

Весьма перспективным для проведения оценок ресурса не только пиролизных установок нефтехимического синтеза, но и теплообменного оборудования, используемого в тепловой и атомной энергетике, представляется предложенный автором диссертационной работы метод проведения фазового анализа с использованием растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа. Этот метод позволяет определить содержание вторичных фаз, образующихся в результате теплового старения материалов, на участке шлифа размером более 100 мм<sup>2</sup>, распознавая при этом частицы размером менее 1 мкм. Ранее подобные задачи могли быть решены только путем рентгеноструктурного анализа осадков после растворения фрагмента металла значительного размера. Предложенный в диссертации метод позволяет также учитывать расположение анализируемых частиц, что продемонстрировано автором на примере построения количественных профилей распределения фаз в жаропрочном сплаве, отработавшем длительное время в установке нефтехимического синтеза.

Разработанный автором диссертационной работы комплекс количественных методов анализа структуры сталей и сплавов несомненно полезен для практического применения при разработке новых металлических

материалов, совершенствовании технологических процессов производства, а также оценки влияния условий эксплуатации на деградацию структуры и свойств.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Автор успешно варьирует используемые методические подходы в соответствии с поставленными целями исследований, использует взаимодополняющие методы, обеспечивающие проведение анализа на различных масштабных уровнях. Однако можно сделать ряд замечаний по автореферату:

На странице 11 не уточнены «другие методы, обеспечивающие проведение количественного структурного анализа...». Широко использованные в 20 веке методы цветной металлографии, фазовых осадков и т.д. являлись свое время приоритетными и не должны забываться в наше время.

Установлено, что при температуре испытаний 900 °С максимум зависимости длительной прочности от температуры предварительной изотермической выдержки соответствует максимальному содержанию G-фазы перед началом испытаний. Однако количественной оценки содержания этой фазы не приводится.

Сделанные частные замечания не влияют на высокий научный уровень работы. Судя по автореферату, работа является законченным исследованием и полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». Петров С.Н. несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Начальник расчетно-исследовательского отделения,  
кандидат технических наук, доцент

Д.К. Щеглов

Начальник сектора НЭТС,  
доктор технических наук, профессор

Б.И. Марченко