

Научная статья

УДК 614.84

doi: 10.34987/2712-9233.2024.28.37.007

Особенности исследования стальных объектов в пожарно-технической экспертизе

*Ирина Яковлевна Талай*¹
Любовь Викторовна Долгушина^{1,3}
Андрей Владимирович Коровченко^{1,2}

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

²СЭУ ФПС № 93 «ИПЛ» МЧС России

³<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>

Автор ответственный за переписку: Любовь Викторовна Долгушина, se@sibpsa.ru

Аннотация. Рассмотрены современные методы исследования структуры стальных объектов. Использование современных методов исследования структуры стальных объектов помогает выявить изменения свойств стали после контакта с огнем, определить температуру воздействия и глубину повреждений. Это дает возможность специалистам точно определить причины возникновения пожара и предложить наилучшие методы минимизации последствий. Глубокое изучение структуры и свойств стальных конструкций при проведении пожарно-технической экспертизы является необходимым шагом для достижения объективного вывода о причинах произошедшего пожара и возможном очаге его возникновения. Знание особенностей поведения материала под действием огня помогает разработать эффективные меры по защите зданий от возможной аварийной ситуации.

Ключевые слова: пожарно-техническая экспертиза, пожар, стальные материалы, сталь, металлографический анализ, микроскопия, анализ

Для цитирования: Талай И.Я., Долгушина Л.В., Коровченко А.В. Особенности исследования стальных объектов в пожарно-технической экспертизе // Актуальные проблемы безопасности в техносфере 2024. № 3 (15) С.41-46. URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2024.28.37.007>

Peculiarities of research of steel objects in fire-technical expertise

*Irina Y. Talay*¹
Liubov V. Dolgushina^{1,3}
Andrey V. Korovchenko^{1,2}

¹Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

²Forensic expert organization of the Federal Fire Service № 93 «Test fire laboratory» EMERCOM of Russia

³<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>

Corresponding author: Liubov V. Dolgushina, se@sibpsa.ru

Abstract. Modern methods of studying the structure of steel objects are considered. The use of modern methods for studying the structure of steel objects helps to identify changes in the properties of steel after contact with fire, determine the temperature of exposure and the depth of damage. This allows specialists to accurately determine the causes of the fire and suggest the best methods for minimizing the consequences. A deep study of the structure and properties of steel structures during a fire technical examination is a necessary step to achieve

an objective conclusion about the causes of the fire and the possible source of its occurrence. Knowledge of the behavior of the material under the influence of fire helps to develop effective measures to protect buildings from a possible emergency.

Keywords: fire and technical expertise, fire, steel materials, steel, metallographic analysis, microscopy, analysis

For citation: Talay I.Y., Dolgushina L.V., Korovchenko A.V. Features of research of steel objects in fire-technical expertise // Actual problems of safety In the technosphere 2024. No. 3 (15). P. 41-46. URL:<https://doi.org/10.34987/2712-9233.2024.28.37.007>

Пожарно-техническая экспертиза является важной составляющей в расследовании пожаров [1-2]. Она охватывает проверку различных аспектов пожара, включая исследование материалов, из которых состоят объекты, подвергшиеся воздействию огня. Среди таких материалов особое место занимают стальные изделия, которые широко используются в строительстве и других отраслях промышленности.

Одной из важных задач пожарно-технической экспертизы стальных изделий является определение степени повреждения, которое они понесли в результате пожара. Это важно для оценки возможности их дальнейшего использования или необходимости их замены. Кроме того, эксперты занимаются исследованием причин возникновения пожара и его динамики, а также определением возможных нарушений в проектировании и строительстве объекта.

Сталь, несмотря на свою высокую стойкость к огню, все же подвержена деформациям и потере прочности при высоких температурах. В результате пожара могут происходить изменения в структуре металла, такие как перекристаллизация, изменение механических свойств и образование трещин.

Микроструктура металлов тесно связана с их свойствами, поэтому для ее изучения используют микроанализ. Микроанализ, также известный как микроскопия, предполагает изучение структуры металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа.

С помощью оптического микроскопа можно изучить состав металла при увеличении от нескольких десятков до 2000-3000 раз. Если размер частиц различных фаз в сплаве превышает 0,2 мкм, то использование микроанализа позволяет определить их размер и расположение. Размер большинства фаз металлических сплавов колеблется от 10⁻⁴ до 10⁻² см, поэтому их легко различить под микроскопом.

При анализе однофазных сплавов и чистых металлов на микроуровне можно определить размер зерен и наблюдать наличие дендритных структур. Эти сплавы обычно находятся в виде твердых растворов.

Размер зерен можно определить с помощью количественного металлографического метода или путем сравнения с предварительно установленной структурной шкалой [3].

Наличие дендритных структур в образце может указывать на химическую неоднородность, которая становится заметной после микроанализа протравленного образца. Если однофазный сплав состоит из полностью однородных частиц, это свидетельствует о том, что система достигла равновесия.

В многофазных сплавах микроанализ позволяет определить не только количество, форму и размер включений в отдельных фазах, но и их взаимное распределение [4].

Различные фазы не являются специфичными для конкретного сплава, но могут создавать согласованный механизм общего распространения, присущий всем категориям сплавов, которые имеют общие изменения, показанные на фазовой диаграмме, такие как эвтектика и эвтектическое превращение.

На свойства сплавов большое влияние оказывает количество эвтектики или эвтектических структур, а также их распределение и структура. Количество перлита (эвтектоида) и его структура оказывают значительное влияние на свойства стали. В зависимости от типа термообработки форма перлита может варьироваться от крупной структуры до мелких частиц.

Размер термической и термообработки могут влиять на образование различных фаз, в том числе отдельных включений различной формы, округлых, слоистых, игольчатых, а также в виде линий и сеток. Равномерно распределенные карбиды в суперэвтектической структуре обеспечивают отличные механические свойства инструмента, но наличие цементитных сеток, распределенных по границам зерен, может привести к хрупкости, что является общеизвестным фактом.

Если фаза не слишком рассеяна и присутствует в значительном количестве, то, анализируя площадь и плотность каждого структурного компонента, видимого под микроскопом, можно определить количество присутствующих фаз, однако этот метод дает лишь приблизительные результаты.

Микроанализ позволяет идентифицировать структуру сплава не только в равновесном, но и в неравновесном состояниях. В некоторых случаях может быть представлена информация о предыдущей обработке сплава.

Изменение структуры от поверхностного слоя к центру изделия указывает на характер нагрева (наличие окисления или обезуглероживания стали) или применение химико-термической обработки (цементирование, азотирование и т.д.) [5].

Сталь представляет собой железоуглеродистый сплав, на ее свойства могут влиять изменения химического состава (содержание углерода и добавление легирующих элементов) и термическая обработка.

Структурная схема железо-углерод (рис. 1) является первой основой для термической обработки. Показаны микроструктурные компоненты и их количества, присутствующие в равновесном состоянии. Из диаграммы состава видно, что аустенит и цементит в супер эвтектической стали существует при температурах выше линии GSK. Очень медленное охлаждение приводит к установлению равновесных условий при комнатной температуре, что приводит к превращению аустенита в другие типы микроструктур.

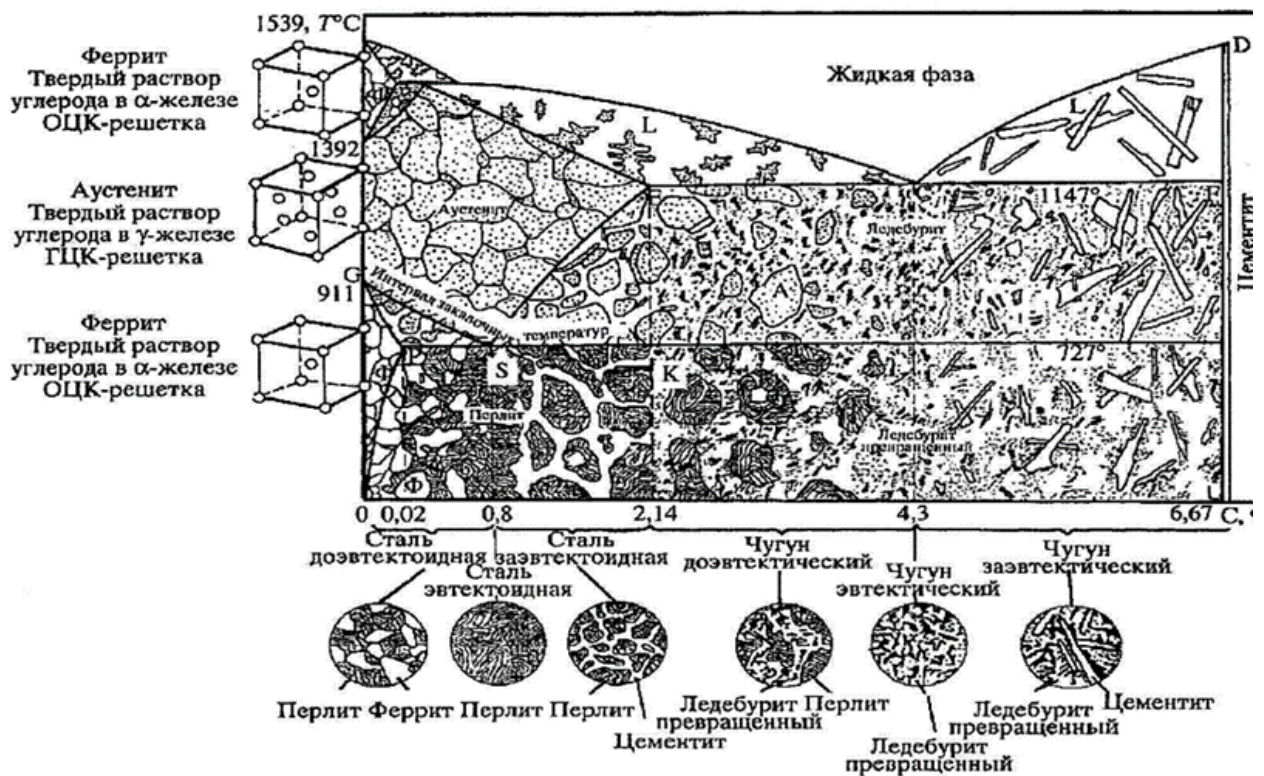


Рис. 1. Структурная схема железо-углерод

В сталях с содержанием углерода менее 0,8 % при охлаждении феррит отделяется от аустенита, а оставшийся аустенит при температуре ниже 723°C разлагается на перлит (рис. 2). Перлит с содержанием углерода 0,8 % образуется только в виде смеси феррита и цементита. В сталях с содержанием углерода 0,8 % образуются перлит и цементит, что приводит к выделению вторичного цементита на границах зерен. Добавляя легирующие элементы, можно изменять температуру превращения и линию равновесия, а также влиять на образование карбидов. Структурная схема не дает информации микроструктуре стали, которая быстро охлаждается и за аустенитной области. Другие типы микроструктур, такие как сорбит, троостит, бейнит и мартенсит, которые не могут быть отображены на диаграмме соотношения железа и углерода, образуются из-за того, что аустенит преобразуется при более высокой скорости охлаждения, а не при соблюдении равновесных условий.

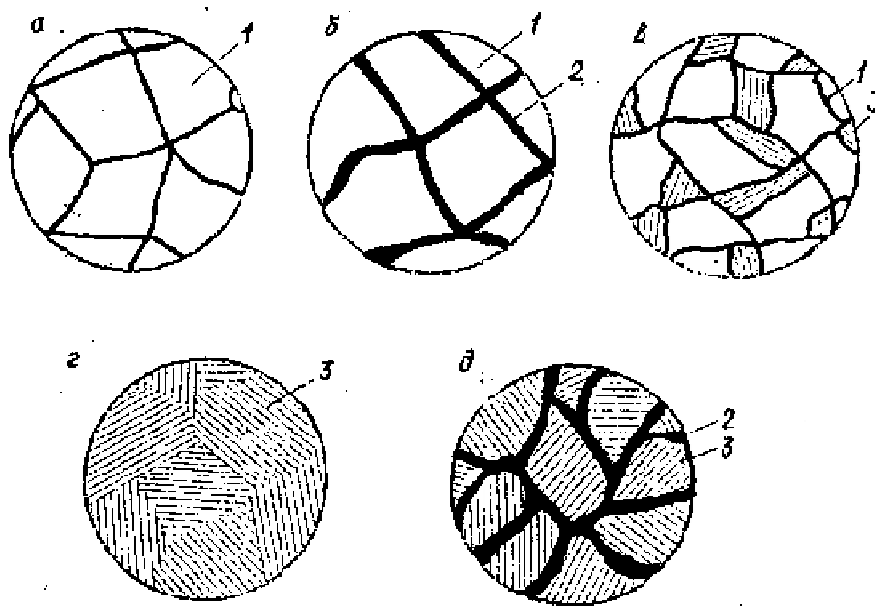


Рис. 2. Схемы микроструктур стали в равновесном состоянии: а - ферритная; б - ферритно-цементитная; в - ферритно-перлитная; г - перлитная; д - перлитно-цементитная; 1 - феррит; 2 - цементит; 3 - перлит

Анализ пожара требует специальных знаний для изучения мест возгорания, различных конструкций, материалов и сгоревшего мусора. Цель состоит в том, чтобы собрать достаточно информации для определения происхождения и причины пожара, способна сжигания и характера сгоревшего материала. Кроме того, эта информация поможет решить другие проблемы, которые могут возникнуть при осмотре и расследовании пожара.

Стальные изделия и конструкции широко используются как в промышленности, так и в быту, часто возникают при пожарах, что делает их важным объектом расследования. Изучая изменения свойств стали как полевыми, так и лабораторными методами, можно выявить участки, подвергающиеся воздействию различных уровней нагрева. Это связано с тем, что сталь имеет самый широкий температурный диапазон среди металлов, что позволяет получить информацию о характеристиках нагрева в случае пожара.

Холоднодеформированной сталью могут быть болты, детали кузова автомобиля, шурупы, скобы, некоторые виды труб (изготовленные методом холодной деформации) и т.д. Это изделия, изготовленные методом холодной деформации – броши, штамповка, срезы [5].

Для проведения исследований на месте пожара необходимо выбрать те же виды стальных изделий, которые были разбросаны в зонах, пострадавших от пожара. Примером такого изделия может служить крепеж, используемый для крепления автомобильных деталей. Также очень важно брать образцы из одного и того же материала для лабораторного анализа литых конструкций и деталей. Извлеченные изделия должны быть одинакового размера, и для получения точных результатов рекомендуется взять не менее 10-12 образцов (чем больше размер, тем, по возможности, лучше вынести 1 экземпляр одного и того же изделия за пределы зоны нагрева в качестве объекта сравнения). В настоящее время инспекторы оценивают внешние характеристики образца для последующей проверки, основываясь исключительно на внешних характеристиках образца. Он или она должны взять образец на месте пожара и решить, следует ли регистрировать это решение. Результаты анализа помогут выявить участки, пострадавшие от перегрева, что может привести к выявлению источника возгорания.

Криминалистические и специализированные подразделения Федеральной противопожарной службы МЧС России обладают необходимыми навыками и знаниями для проведения пожарно-технических осмотров.

Одной из основных экспертиз является металлографическое исследование металлических объектов [6].

Основное внимание при изучении металлических конструкций и изделий уделяется, прежде всего, тому, как они подвергаются воздействию тепла в случае пожара. Это может привести к различным изменениям в их составе, свойствах и форме, некоторые из них не обратимы. Используя визуальные или инструментальные методы для наблюдения и документирования этих изменений, эксперты могут получить ценную информацию, которая поможет определить источник пожара.

Стальные конструкции, как правило, обладают низкой огнестойкостью, что приводит к деформации, которая в той или иной степени наблюдается практически при всех пожарах.

Нагрев стали до температуры выше 300-350 °С делает ее более гибкой, но менее прочной и постепенно увеличивает деформацию. Прочность углеродистой стали при температуре 500-600 °С снижается на 50 %, а при температуре 1000 °С – примерно в 10 раз. Это означает, что металлическая конструкция может начать заметно деформироваться уже при температуре 300 °С, а нагруженные стальные элементы могут испытывать значительную деформацию при температуре 550-600 °С, что может привести к их разрушению после 15-20 минут нагрева.

Металлографическое исследование при поиске источников возгорания отнимает много времени, но, в отличие от других исследований и методов, оно является наиболее информативным. Ведь для того, чтобы иметь возможность объективно оценить распределение температурной зоны на месте пожара, необходимо определить соответствующие параметры в 10-20, иногда в 100-150 точках. При использовании металлографического метода исследования необходимо вырезать нужное количество образцов из структуры металла, подготовить шлифы, протравить их и, наконец, выполнить само исследование.

Во время дорекристаллизации и рекристаллизации структура металла и его физико-механические свойства меняются в отличие от того, что происходило при пластической деформации. Это позволяет исследовать холоднодеформированные изделия для выявления зон термического повреждения и выявления источников возгорания.

В качестве теста для оценки степени термического повреждения металла при пожаре лучше всего выбрать следующие характеристики:

- а) монотонно меняется увеличение температуры и продолжительность нагрева, чем шире диапазон температур, тем лучше;
- б) легко определяется, предпочтительно быстрым и не разрушающим методом.

В настоящее время возрастает роль и значение инженерно-технических экспертиз и исследований (взрывотехническая, пожарно-техническая, автотехническая, металловедческая). Одним из обычных предметов, изымаемых в качестве важных вещественных доказательств при проведении подобных проверок, являются изделия и фрагменты металлического происхождения. Изучение структуры металлов под металлографическим микроскопом дает много информации, необходимой для решения задач, с которыми сталкиваются специалисты.

Поведение материала всегда определяется его структурой. Наука, изучающая структуру металлических материалов, называется металловедением.

Металлографический анализ (металлографическое исследование) – это изучение структуры металлов и сплавов. Он позволяет изготовить небольшой образец и исследовать его как с помощью оптического, так и электронного микроскопа.

Металлографическое исследование направлено на изучение микроскопических особенностей металлов и сплавов с помощью микроскопии. Для проведения данного исследования, включая изучение структурных особенностей под световым или электронным микроскопом и их количественную оценку, сначала необходимо подготовить образцы и шлифы.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что металлографические исследования при поиске источников возгорания очень трудоемки, но, в отличие от других исследований и методов, являются наиболее информативными. Для качественной оценки распределения температурной зоны на месте пожара требуется провести анализ в 10–20 точках, определяя соответствующие параметры. При использовании металлографического метода для исследования необходимо подготовить нужное количество образцов из металлоконструкций, подготовить шлифы, их травление, и, наконец, провести само исследование. Специалисты из судебно-экспертных учреждений и подразделений МЧС России должны обладать высокой квалификацией для выполнения металлографических исследований.

Список использованных источников

1. Богданов А.А. Практикум по дисциплине Экспертиза пожаров. [Текст]: учебное пособие / А.А. Богданов, А.Н. Лагунов – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – 178 с.
2. Чешко И.Д., Юн Н.В., Плотников В.Г. и др. Осмотр места пожара: методическое пособие. – М.: ВНИИПО, 2004 – 503 с.
3. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна: Государственный стандарт утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.08.82 N 3394, дата введения 01.01.1983// Техэксперт: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005473> (дата обращения 06.06.2024)
4. Лапин, И.В. Структурные методы исследования металлов : учеб. пособие / В.В. Жилияков; Казан. нац. исслед. технол. ун-т; И.В. Лапин .— Казань : КНИТУ, 2020 .— 100 с. : ил. — ISBN 978-5-7882-2818-1 .
5. Пожарно-техническая экспертиза: Учебное пособие / Ж.К. Макишев, П.В. Максимов, С.М. Баратов – Кокшетау: Кокшетауский технический институт КЧС МВД Республики Казахстан, 2020 г. – 156 с.
6. Гафарова, Ю. Р. Металлографический метод исследования в пожарно-технической экспертизе / Ю. Р. Гафарова, В. П. Перминов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 2, № 1(6). – С. 299-302.

Информация об авторах

Л.В. Долгушина – кандидат химических наук, доцент

Information about the author

L.V. Dolgushina - Ph.D. of Chemical Sciences, docent

Статья поступила в редакцию 29.07.2024, одобрена после рецензирования 27.08.2024, принята к публикации 25.09.2024.

The article was submitted 29.07.2024, approved after reviewing 27.08.2024, accepted for publication 25.09.2024.