

И.А. Лобаев, Д.А. Вечтомов, Д.Ю. Григорьев, В.В. Плешаков
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: odgpn@yandex.ru)

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ТЕПЛООВОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ЛИСТОВ

Приведены результаты исследования тестовых характеристик теплового повреждения стальных оцинкованных листов.

Ключевые слова: температурный режим, концентрация, оцинкованный лист.

I.A. Lobaev, D.A. Vechtomov, D.U. Grigoryev, V.V. Pleshakov
**DEVELOPMENT OF CRITERIA OF THERMAL DAMAGE
OF GALVANIZED STEEL SHEETS**

Results of research of test characteristics of thermal damage of galvanized steel sheets are given.

Key words: temperature conditions, concentration, galvanized sheet.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 2 декабря 2014 г.

В соответствии с принятой в пожарно-технических исследованиях методикой [1], установление очага и путей распространения пожара производят на основе анализа характера и степени термических повреждений объекта. Такой анализ предусматривает достоверное общенаучное знание природы и механизма процессов слеодообразования на объектах, подлежащих исследованию.

Таким образом, для определения степени термического повреждения объекта необходимо установить его тестовую характеристику, которая объективно отражает зависимость между изменением одного из свойств материала (конструкции) в условиях воздействия на него опасных факторов пожара.

Широкое применение различных видов сталей, в том числе оцинкованных, а также их сохранность после воздействия высоких температур делают сталь перспективным объектом исследования при определении очага и динамики пожара.

В настоящее время специальных методов и методик исследования оцинкованных сталей, с учётом особенностей материала и специфики изменений свойств в условиях термического воздействия пожара, не разработано.

Целью проведённого авторами исследования является разработка критериев оценки степени теплового повреждения стальных листов, изготовленных из оцинкованной стали.

Образцами для исследования послужили фрагменты стального оцинкованного листа размерами 0,2×0,1 м (рис. 1). Образцы нагревались в муфельной печи при различных сочетаниях температуры и времени её воздействия – то есть при различных режимах теплового воздействия.

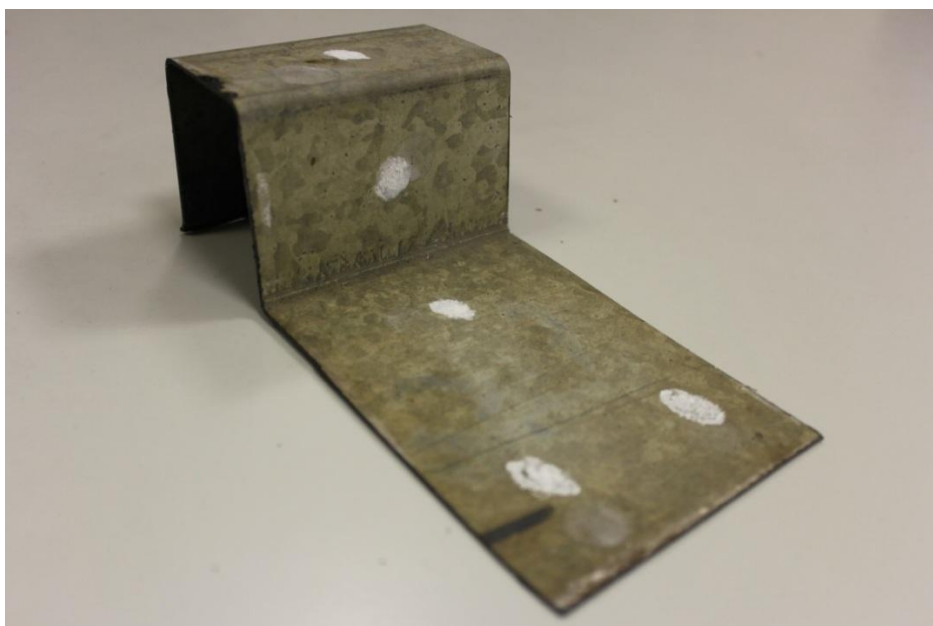
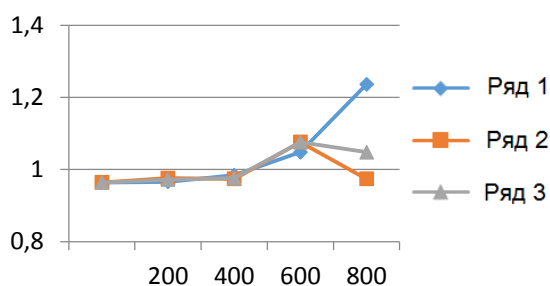
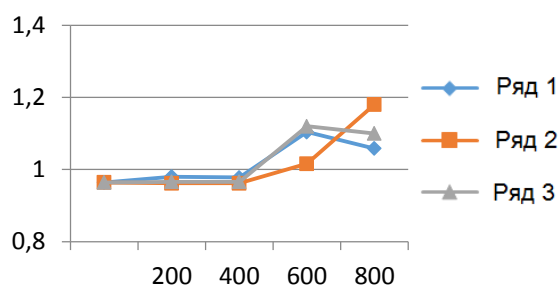


Рис. 1. Внешний вид образца исследования с нанесёнными точками измерения

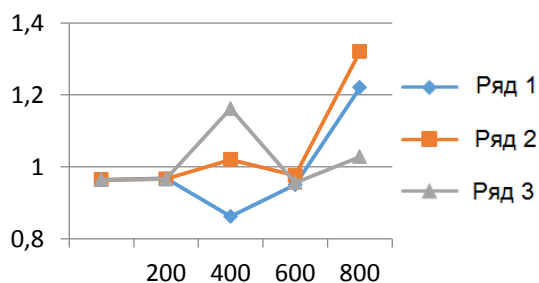
На каждом режиме теплового воздействия проводилось исследование трёх образцов, что обусловило необходимость формирования измерительных рядов на диаграммах (рис. 2). Под измерительным рядом в статье понимается совокупность значений измеренного параметра (толщины), сформированных по номерам проведённых экспериментов.



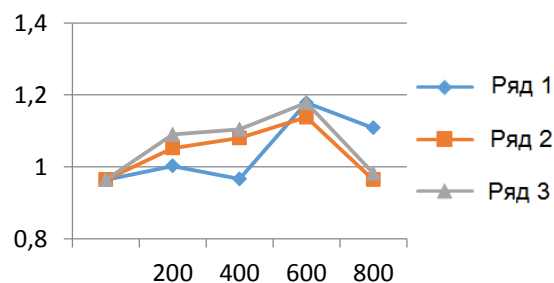
А. Время выдержки – 5 минут



Б. Время выдержки – 10 минут



В. Время выдержки – 15 минут



Г. Время выдержки – 20 минут

Рис. 2. Значение фактической толщины образцов (мм), выдержанных заданное время, от температуры выдержки (°C), сформированное по измерительным рядам

Толщина образцов после теплового воздействия измерялась с использованием микрометра и ультразвукового толщиномера. Поэтому в статье рассматриваются два вида толщины образца: фактическая, измеренная микрометром, и ультразвуковая (УЗ-толщина), измеренная ультразвуковым толщиномером.

Результаты измерений фактической толщины образцов, подвергнутых тепловому воздействию, представлены на рис. 2 в виде графика функции

$$\delta = f(t), \quad \text{при } \tau = \text{const},$$

где δ – среднее значение толщины образца, рассчитанное по результатам 5-ти измерений в точках, представленных на рис. 1, мм;

t – температура, при которой выдерживался образец, °С;

τ – время выдержки образца при заданной температуре, мин.

Как видно, фактическая толщина стального оцинкованного листа изменяется в зависимости от режима теплового воздействия. Однако, это изменение немонотонно. На графиках существует **точка**, после прохождения которой **возможна смена** направления изменения толщины образца (**ТВС**). Зависимость появления этой точки от температуры и времени выдержки представлена на рис. 3 и аппроксимирована уравнением 2:

$$T = -32 \cdot \tau + 800,$$

где T – температура возможной смены направления изменения толщины, °С;

τ – время выдержки образца при температуре T , мин.

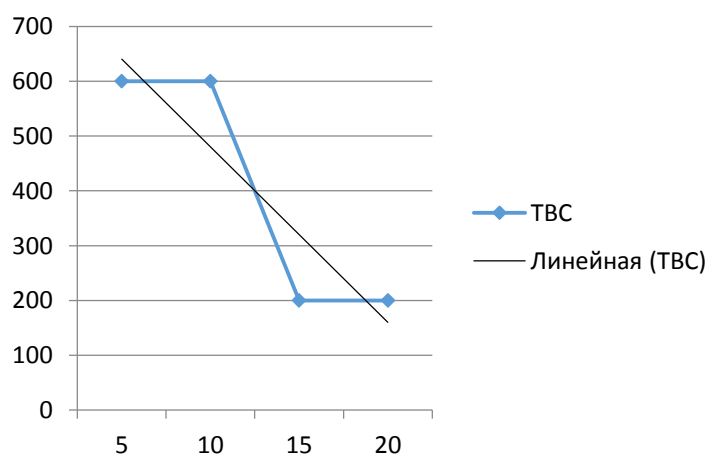


Рис. 3. Зависимость температуры (°С), при которой возможна смена направления изменения толщины образца, от времени выдержки при заданной температуре, мин

Сказанное можно проиллюстрировать следующими примерами: при времени теплового воздействия 5 мин характер изменения толщины образца (рост или снижение) может быть различным после воздействия температур, превышающих 600 °С; при времени 15 мин – 200 °С.

Такой характер зависимости $\delta = f(t)$ делает нецелесообразным вычисление среднего значения в изменении фактической толщины образца и требует дальнейшего исследования.

Обращает на себя внимание существенный разброс значений при температуре 400 °С, которая близка к температуре плавления цинка (419,6 °С). При данной температуре происходит интенсивное перераспределение цинка по поверхности. Степень такого перераспределения может быть оценена коэффициентом поверхности, предложенном авторами данной статьи ранее, который при постоянной температуре зависит от времени теплового воздействия. Однако, разброс значений толщины при температуре свыше 400 °С не связан только с данным процессом.

В процессе нагревания при температура 600 °С и выше на образцах образовывался поверхностный слой желтоватого оттенка. Данный слой на 96 % состоит из цинка (Zn) (рис. 4).

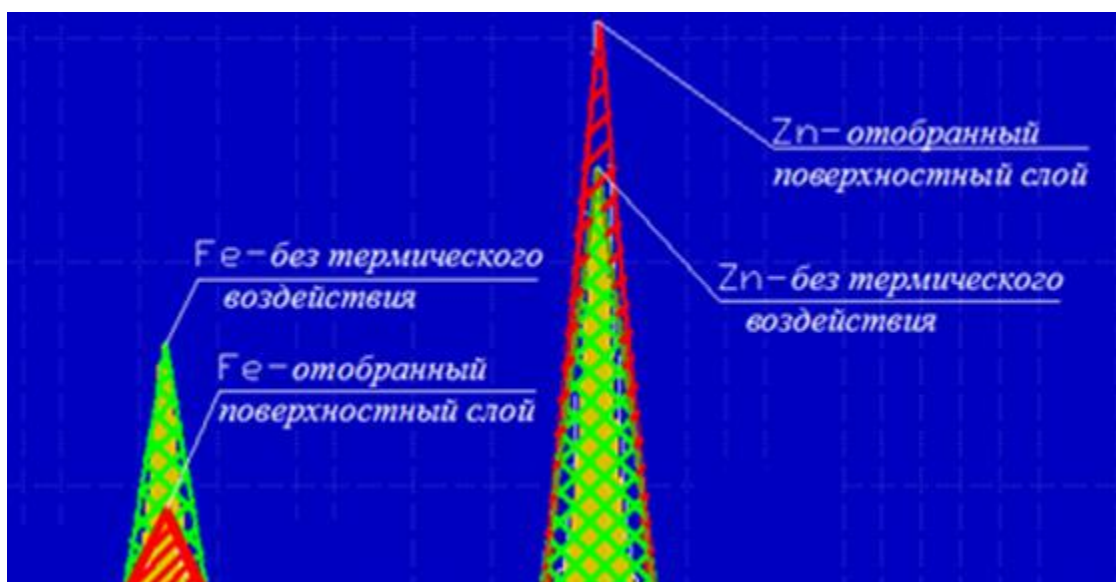


Рис. 4. Рентгенофлуоресцентный анализ состава оцинкованного листа до и после теплового воздействия. Пики атомов цинка (Zn) и железа (Fe): красные линии – поверхностный слой, отобранный с образца подвергнутого теплового воздействию; зелёные линии – образец, не подвергавшийся теплового воздействию

На образцах, выдержанных при температуре $T = 800$ °С, наблюдается отслоение поверхностного слоя. Толщина образца с поверхностным слоем и без него была измерена двумя способами: с использованием микрометра (определение фактической толщины) и ультразвукового толщиномера (определение ультразвуковой толщины).

Разность показаний – с поверхностным слоем и без него – для различных методов измерения приведена в табл. 1.

**Разность показаний (с поверхностным слоем и без него)
для различных методов измерения**

Режим теплового воздействия		Измерительный прибор	Разность показаний между толщиной образца с поверхностным слоем и без него
Температура, °С	Длительность, мин		
800	10	Микрометр	0,01
		УЗ-толщиномер	0,53

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что поверхностный слой желтоватого оттенка, образующийся на оцинкованном листе железа в процессе теплового воздействия, состоит практически целиком из атомов цинка со следовым количеством железа и является оксидом цинка. Изменение скорости распространения ультразвука в исследуемом образце не может быть связано с элементным составом и перераспределением цинка по поверхности образца в процессе теплового воздействия.

Рыхлая структура поверхностного слоя и его отслоения от стального листа позволяют утверждать, что увеличение скорости ультразвука происходит из-за изменения структуры цинкового слоя с литой на рыхлую, а также отслоения рыхлого слоя оксида цинка от стального листа. Поскольку измеряемая толщина материала зависит от скорости и времени прохождения импульса, то значение толщины, показываемое прибором, будет характеризовать структуру поверхностного слоя, следовательно, и режим теплового воздействия.

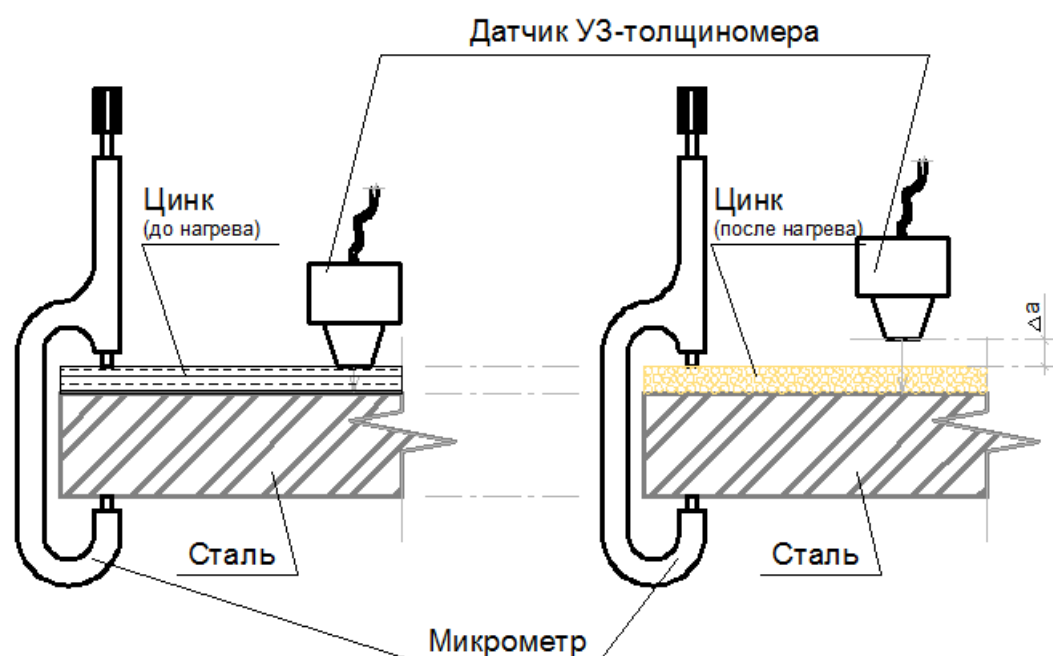


Рис. 5. Схема измерения толщины образца до и после нагрева с использованием микрометра и УЗ-толщиномера:
 Δa – мнимое увеличение толщины образца, вызванное изменением условий прохождения УЗ-волны

Механизм такого изменения заключается в том, что с увеличением интенсивности теплового воздействия происходит разрушение литой структуры слоя цинка и образование рыхлой структуры оксида цинка, с дальнейшим отслаиванием от стального листа. Это приводит к снижению скорости распространения ультразвуковых волн в материале, что фиксируется как увеличение УЗ-толщины образца.

Данный признак информативен начиная с температуры 600 °С и выше в сочетании со временем теплового воздействия при ней – 20 мин. Начиная с температуры 800 °С признак информативен в интервале времени воздействия от 5 до 20 мин. При этом следует учитывать возможность осыпания поверхностного слоя цинка со стального листа.

В качестве количественного критерия, характеризующего состояние (структуру) поверхностного слоя цинка для листов различной толщины можно предложить коэффициент состояния:

$$K_{\text{пс}} = \frac{\delta_{\text{ф}}}{\delta_{\text{уз}}},$$

где $K_{\text{пс}}$ – коэффициент состояния поверхностного слоя;

$\delta_{\text{ф}}$ – фактическая толщина образца (измерена микрометром);

$\delta_{\text{уз}}$ – ультразвуковая толщина образца (измерена УЗ-толщиномером).

Отметим, что незначительный рост фактической толщины образца без поверхностного слоя цинка (табл. 1) связан с образованием окалины на поверхности стали в процессе теплового воздействия. Тогда коэффициент состояния поверхностного слоя показывает, насколько процесс структурных изменений поверхностного слоя цинка преобладает над процессом образования окалины на поверхности стального листа. Данный коэффициент зависит от режима теплового воздействия – сочетания температуры и длительности теплового воздействия.

Проведённые исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

При увеличении температуры и длительности теплового воздействия на оцинкованный лист железа наблюдается изменение его фактической толщины. На графике изменения толщины листа на координатной плоскости (T, τ) имеется характерная точка – точка возможной смены направления изменения толщины образца. Неоднозначный характер изменения фактической толщины не даёт возможности предложить зависимость, позволяющую с достаточной точностью определить степень теплового воздействия на материал только по данному признаку.

Также при увеличении интенсивности теплового воздействия на стальной оцинкованный лист наблюдается рост ультразвуковой толщины (УЗ-толщины) листа, по отношению к фактической. Механизм такого изменения заключается в том, что с увеличением интенсивности теплового воздействия происходит разрушение литой структуры слоя цинка и образование рыхлой структуры оксида цинка с дальнейшим отслаиванием от стального листа. Это приводит к снижению скорости распространения ультразвуковых волн в материале, что фиксируется как изменения УЗ-толщины.

В качестве количественного критерия, характеризующего состояние поверхностного слоя цинка для листов различной толщины, можно предложить коэффициент состояния $K_{пс}$, который определяется как отношение фактической толщины к толщине, измеренной ультразвуковым толщиномером, и показывает, насколько процесс структурных изменений поверхностного слоя цинка за счёт окисления преобладает над процессом образования окалина на поверхности стального листа. Данный коэффициент зависит от режима теплового воздействия – сочетания температуры и длительности теплового воздействия.

Для оценки интенсивности теплового воздействия на оцинкованный лист температур менее 600 °С можно применять коэффициент поверхности, предложенный авторами статьи ранее.

Литература

1. **Методология** судебной пожарно-технической экспертизы: основные принципы. М.: ВНИИПО МЧС России, 2013. 23 с.
2. **Применение** инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров: сборник методических рекомендаций / Под ред. Чешко И.Д., Соколовой А.Н. С.-Пб.: С.-Пб. филиал ВНИИПО МЧС России, 2008. 279 с.
3. **Чешко И.Д., Плотников В.Г.** Анализ экспертных версий возникновения пожара. Кн. 1. С.-Пб.: С.-Пб. филиал ВНИИПО МЧС России, 2010. 708 с.
4. **Чешко И.Д., Плотников В.Г.** Анализ экспертных версий возникновения пожара. Кн. 2. С.-Пб.: С.-Пб. филиал ВНИИПО МЧС России, 2012. 364 с.
5. **Зернов С.И.** Основные положения пожарно-технической экспертизы: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2008.
6. Единицы измерений и соотношения между ними: мини-энциклопедия. М.: изд-во АСТ, изд-во "Астрель", 2004. 255 с.
7. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие. С.-Пб.: изд-во "Лань", 2010. 608 с.
8. **Богатищев А.И., Зернов С.Ю., Карпов С.Ю.** Методы решения задач пожарно-технической экспертизы: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009.