

Г.А. Сикорова, Ф.А. Дементьев
(Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России;
e-mail: unk-ugps@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЯ ПОЛЕВЫМИ МЕТОДАМИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Анализируется влияние режима охлаждения и конфигурации стальных элементов на возможность определения температурно-временных характеристик их нагрева с использованием портативных приборов при исследовании пожара автомобиля.

Ключевые слова: стальные элементы, автомобиль, очаг пожара, портативные приборы.

G.A. Sikorova, F.A. Dementiev RESEARCH OF STEEL ELEMENTS OF THE CAR FOR FIELD METHODS TO FIRE EXPERTISE

Analysis of influence of the cooling mode and configuration of the steel element in the possibility of determining the time-temperature characteristics of heating using portable equipment in the study vehicle fire is carried out.

Key words: steel components, vehicle, seat of fire, portable devices.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 3 сентября 2015 г.

Согласно статистическим данным, ежегодно порядка 15 % пожаров в России приходится на транспортные средства. По данным из судебно-экспертных учреждений, чаще всего такие пожары связаны с нарушением правил устройств и эксплуатации транспортных средств, затем идет поджог и нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования. Почти 80 % пожаров на автотранспорте происходит, когда автомобиль находится на стоянке при неработающем двигателе. Для подтверждения достоверности выводов о причинах пожаров специалистам в области пожарно-технической экспертизы требуются методики исследования, основанные не на умозаключениях эксперта, а на результатах изучения физико-химических свойств объектов.

Среди материалов, по субстанциональным свойствам которых можно проследить динамику развития пожара, особое место занимают металлы, которые остаются на месте пожара даже при развившемся горении [2, 4, 5]. Особенностью изделий и конструкций из металлов является их способность "запоминать" параметры своего состояния, при котором они подвергались определенным тепловым воздействиям. Поэтому, исходя из результатов их исследований после пожара, эксперт может определить условия, при которых возникли соответствующие следы и признаки.

Если рассматривать такие объекты пожарно-технической экспертизы, как автотранспорт, то при их исследованиях следует ориентироваться, в первую очередь, на те методы, которые позволяют проводить изучение объектов непосредственно на месте происшествия. Вызвано это тем, что изъятие крупногабаритных металлических элементов, таких как кузовные детали, панели крыши и дверей, для лабораторных исследований весьма проблематично, а именно по ним можно проследить, как развивался пожар, в каких областях были достигнуты максимальные значения температуры, как эти области коррелируют с распределением пожарной нагрузки.

Современные исследования конструкций из сплавов на основе железа, в рамках пожарно-технической экспертизы, основываются на методах оценки двух процесса, протекающих в материале [2]. Первые – изучают свойства, зависящие от процессов рекристаллизации, протекающих в металлах при нагреве, вторые – основаны на исследованиях окислительных процессов, протекающих на поверхности металлов, что связано с образованием слоя окалина, состав и толщина которой зависят от температурно-временных характеристик нагрева и состава окружающей атмосферы.

Стальные габаритные элементы автомобиля в основном изготавливают "холодным способом" методом штамповки. Зерна металла в таких изделиях деформируются, вытягиваясь в направлении деформации. Нагрев металла до температур *рекристаллизации* сопровождается резким изменением его микроструктуры и свойств. Нагрев приводит к резкому снижению прочности металла при одновременном возрастании его пластичности. Также снижается электросопротивление и повышается его теплопроводность. Рекристаллизация протекает в две стадии. Первая стадия – *первичная рекристаллизация* заключается в образовании центров кристаллизации и росте новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Новые зерна возникают у границ старых зерен и блоков, где решетка была наиболее искажена. Количество новых зерен постепенно увеличивается и в структуре не остается старых деформированных зерен. Вторая стадия – *собирательная рекристаллизация* заключается в росте образовавшихся новых зерен. Для холоднодеформированных изделий такие процессы наблюдаются в диапазоне температур 600-1000 °С [1, 3].

В настоящее время основными полевыми методами, применяемыми в пожарно-технической экспертизе для оценки степени термического воздействия на стальные изделия, являются *индукционная толщинометрия (метод вихревых токов – МВТ)* и измерение коэрцитивной силы (*магнитный метод*), эти два метода были выбраны для дальнейших исследований [2, 5, 6].

Использование первого метода основано на том, что слой окалина отличается по своему физико-химическому составу от металла, на котором он образуется, этот слой уменьшает действие электромагнитного поля и вихревые токи, возникающие в металле, ослабевают. Данное обстоятельство позволяет применять вихретоковый метод для исследования окалина, образовавшейся на стальных изделиях: чем меньше величина ЭДС, тем толще слой образовавшейся окалина и больше термическое воздействие на конструкцию (изделие).

При использовании второго выбранного в работе метода определение зон термических поражений проводится путем измерения магнитных параметров стальных объектов, находящихся в различных зонах места пожара.

Измеряли значение коэрцитивной силы H_c , под которой подразумевают напряженность размагничивающего поля, которое должно быть приложено, чтобы установить значение остаточной индукции, равное нулю.

Как метод вихретокового анализа, так и измерение коэрцитивной силы активно используются в пожарно-технической экспертизе [6]. Они отлично зарекомендовали себя при исследованиях изымаемых с места пожара мелких крепежных деталей, а также конструкционных элементов, изготовленных путем пластической деформации металла при относительно низкой температуре методами холодной штамповки, высадки, волочения, которые являются удобными и информативными объектами экспертного исследования.

Это связано, в первую очередь, с их однотипностью и, соответственно, возможностью сравнивать между собой полученные результаты. Другое дело, когда объектом исследования является габаритное изделие сложной формы. Будет ли корректно сравнивать результаты, полученные с разных точек замеров на нем, если изначально на различных участках степень деформации зерна металла будет различна?

Кроме того, до настоящего времени не проводилось исследование влияния на результаты, получаемые полевыми методами, режима охлаждения металлического объекта. Целью проведенных авторами исследований было оценить влияние на результаты исследований поверхности стального объекта методом вихретокового анализа и измерения коэрцитивной силы режима охлаждения, кроме того ставилась задача оценить влияние на сходимость получаемых результатов конфигурации габаритного элемента в точке проведения замера.

В качестве объекта исследований был выбран капот автомобиля, который был разделен на фрагменты размером 10×10 см. Для исследований были выбраны 10 фрагментов, отличающихся своей конфигурацией. Образцы помещались в муфельную печь и выдерживались в течение 20 мин при температуре от 500 до 1100 °С. Затем образцы вынимали из муфельной печи, при этом часть из них охлаждалась медленно, а другие помещались в холодную воду для резкого охлаждения (моделирую водяное тушение пожара).

Сначала образцы исследовались методом вихретокового анализа. Для каждого образца значение ЭДС поверхности измерялось по 10 раз, полученные средние значения для каждого образца, выдержанного при определенной температуре, и среднее значение для всех образцов, подвергнутых одинаковому температурному воздействию, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты исследований образцов методом вихретокового анализа

$T, ^\circ\text{C}$	Среднее значение ЭДС по 10 измерениям, мкВ										Средн. знач., мкВ	СКО, %
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10		
500	4950	5171	4883	5097	4852	4931	4892	5069	5102	4942	4989	2,2
600	4482	4582	4212	4567	4280	4498	4512	4421	4383	4513	4445	2,7
700	4082	4050	4012	4091	4041	4102	4112	4081	4201	4029	4080	1,3
800	3785	3922	4025	3869	3824	3721	3832	3893	3913	3847	3863	2,2
900	3619	3652	3620	3555	3589	3542	3628	3532	3423	3501	3566	2,0
1000	2837	2956	3116	3284	2930	2898	2968	3152	2899	3128	3017	4,8
1100	2410	2637	2789	2750	2756	2603	2725	2721	2624	2719	2673	4,2

Таблица 2

Результаты исследований образцов методом вихретокового анализа после охлаждения водой

$T, ^\circ\text{C}$	Среднее значение ЭДС по 10 измерениям, мкВ										Средн. знач., мкВ	СКО, %
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10		
500	4950	5171	4883	5097	4852	4931	4892	5069	5102	4942	4966	2,3
600	4482	4582	4212	4567	4280	4498	4512	4421	4383	4513	4891	1,1
700	4082	4050	4012	4091	4041	4102	4112	4081	4201	4029	4736	2,2
800	3785	3922	4025	3869	3824	3721	3832	3893	3913	3847	4490	1,2
900	3619	3652	3620	3555	3589	3542	3628	3532	3423	3501	3031	3,9
1000	2837	2956	3116	3284	2930	2898	2968	3152	2899	3128	2593	4,5
1100	2410	2637	2789	2750	2756	2603	2725	2721	2624	2719	2673	2,3

СКО, характеризующее разброс значений, полученных для образцов разной степени деформации, при температурах до 900 °С не превышает 2,5 %. Увеличение его при дальнейшем нагреве образцов связано с частичным осыпанием слоя окалины, которое наблюдается при температуре более 800 °С.

Зависимости температуры от нормированных по максимуму значений ЭДС образцов приведены на рис. 1.

Для образца, который охлаждался медленно, зависимость температуры от нормированных по максимуму значений ЭДС образцов имеет вид:

$$T = 1820 - 1337 \text{ ЭДС}_{\text{норм.}}$$

Достоверность аппроксимации составляет $R^2 = 0,98$. Для образцов, подвергнутых водяному охлаждению, чёткой зависимости не прослеживается, это связано с тем, что окалина на таких образцах частично осыпалась уже при 700 °С.

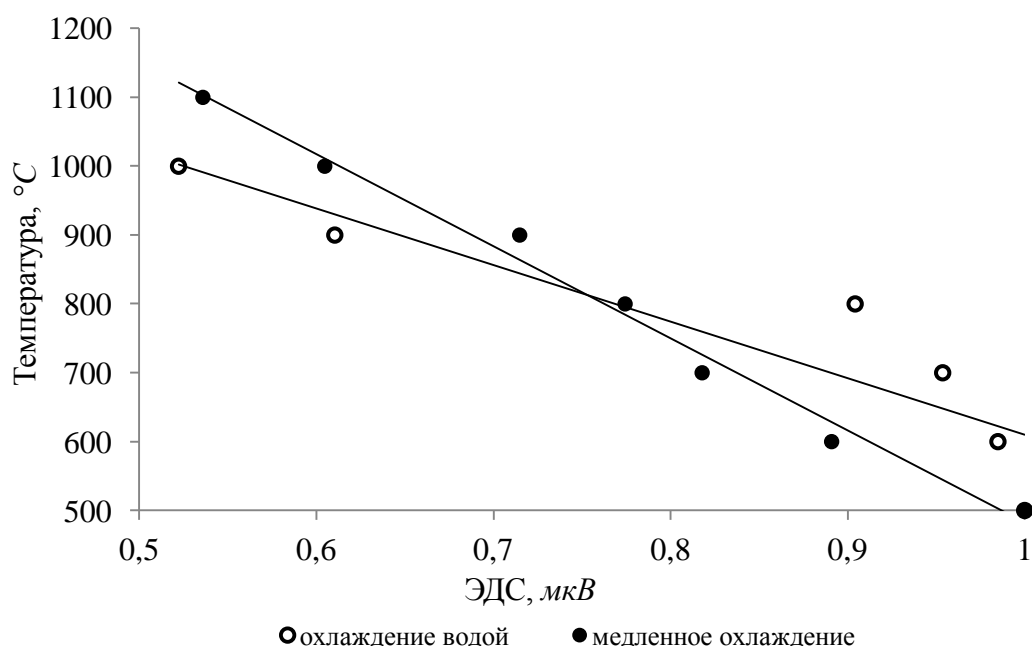


Рис. 1. Изменение величины ЭДС образцов при нагреве

Таким образом, при использовании метода вихретокового анализа при исследованиях габаритных стальных элементов автомобиля наибольшее значение имеет сохранность слоя окалины, нежели начальная деформация стального листа в месте замера. Полученную зависимость можно использовать для оценки степени термического воздействия на материал.

Затем образцы исследовали с использованием коэрцитиметра. Для проведения измерений поверхность зачищалась от окалины. Так же, как и при использовании метода вихретокового анализа, на каждом образце проводилось по 10 замеров. Результаты представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты измерений коэрцитивной силы H_c на поверхности образцов (без водяного охлаждения)

$T, ^\circ\text{C}$	Среднее значение H_c по 10 измерениям, А/см										Средн. знач., мкВ	СКО, %
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10		
500	6,82	6,06	5,92	5,51	5,43	5,95	5,86	6,12	6,24	5,93	6,0	6,5
600	5,92	5,87	5,39	5,25	5,33	5,31	5,48	5,65	5,97	5,83	5,6	5,0
700	5,36	4,94	4,55	4,86	4,87	5,16	5,11	5,15	5,21	5,23	5,0	4,7
800	4,34	4,37	4,56	4,46	4,79	4,9	4,42	4,63	4,92	4,48	4,6	4,7
900	3,6	3,69	3,67	3,72	3,82	3,91	3,7	3,72	3,71	3,82	3,7	2,4
1000	3,33	3,35	3,36	3,4	3,31	3,47	3,37	3,5	3,43	3,56	3,4	2,4
1100	3,63	3,38	3,58	3,44	3,55	3,53	3,49	3,51	3,44	3,47	3,5	2,1

**Результаты измерений коэрцитивной силы H_c на поверхности образцов
после охлаждения водой**

$T, ^\circ\text{C}$	Среднее значение H_c по 10 измерениям, A/cm										Средн. знач., $мкВ$	СКО, %
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	Образец 10		
500	6,09	5,96	5,98	5,45	5,63	6,05	5,28	5,68	5,97	6,18	5,8	5,1
600	5,63	5,17	5,28	5,12	5,23	5,62	5,18	5,31	5,81	5,93	5,4	5,4
700	4,46	4,26	4,54	4,97	4,67	4,86	4,15	4,75	4,23	4,53	4,5	6,1
800	4,04	4	4,02	4,11	3,89	4,2	3,92	4,13	3,75	3,88	4,0	3,4
900	3,6	3,69	3,67	3,72	3,82	3,91	3,7	3,72	3,71	3,82	3,7	2,4
1000	3,11	3,15	3,16	3,2	3,22	3,31	3,27	3,34	3,28	3,26	3,2	2,3
1100	3,21	3,18	3,26	3,14	3,15	3,19	3,27	3,22	3,24	3,17	3,2	1,4

Как видно из полученных результатов, образцы, подвергнутые нагреву до $700\text{ }^\circ\text{C}$, характеризуются наибольшим разбросом получаемых значений ЭДС, о чем можно судить по СКО результатов. При больших температурах получаемые значения различаются меньше. Как видно, для образцов, отличающихся температурой нагрева, полученные значения коэрцитивной силы H_c отличаются мало, поэтому для подтверждения того, что они могут использоваться для определения температуры нагрева образцов, были рассчитаны для полученных выборок F -критерий и t -критерий. Рассчитанные значения F -критерия варьировали от 1,1 до 2,4, что ниже критического (для данных выборок $F_{кр}(P, f_1, f_2) = 2,97$). Рассчитанные значения t -критерия во всех случаях выше критического (для выборок данного размера ($n_1 = n_2 = n = 10$)) $t_{кр} = 2,26$, что говорит о значимых различиях для образцов, выдержанных при разных температурах.

Следовательно, полученные значения можно использовать для оценки температуры нагрева габаритных стальных элементов автомобиля при исследовании пожаров и на полученный результат не будет оказывать влияния конфигурация места проведения замера.

Полученные зависимости нормированных по максимуму значений коэрцитивной силы H_c от температуры нагрева образцов приведены на рис. 2: как видно, на полученные результаты принудительное тушение водой не оказывает заметного влияния.

Можно записать аппроксимирующую зависимость температуры от полученных нормированных по максимуму значений коэрцитивной силы: она линейна для образцов независимо от условий охлаждения:

$$T = 1600 - 1080 H_{c\text{max}}$$

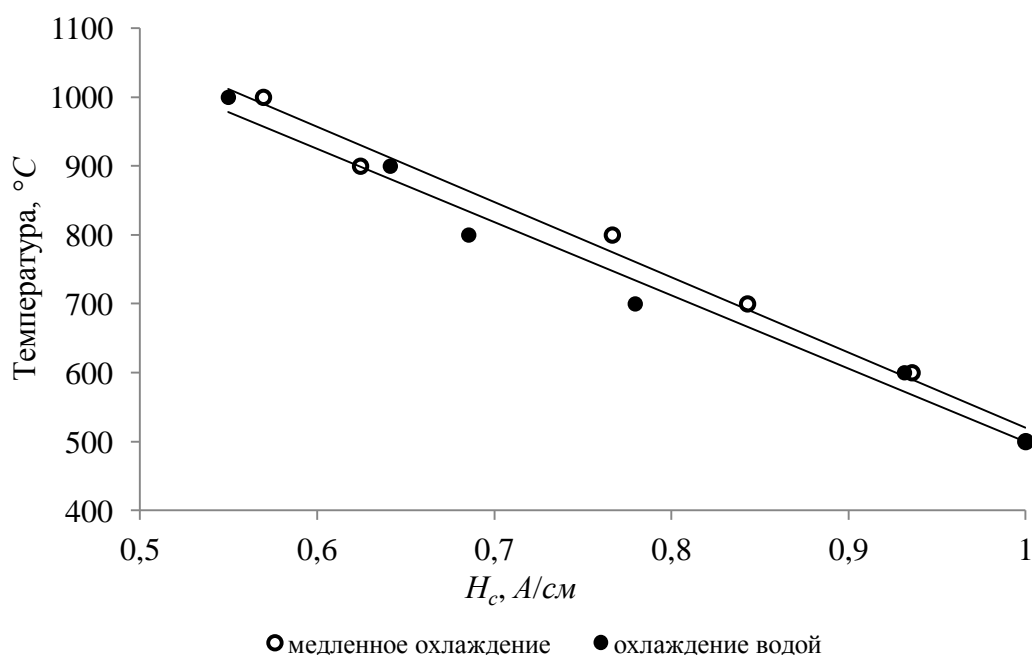


Рис. 2. Изменение величины относительной коэрцитивной силы при нагреве образцов

Сравнивая полученные результаты можно сказать, что для исследования после пожара габаритных стальных элементов автомобиля предпочтение следует отдать использованию коэрцитиметра, поскольку результаты, полученные данным методом, слабо зависят от условий охлаждения. Для получения достоверного результата имеет смысл использовать оба метода, поскольку данные по распределению зон термических поражений, полученные вихретоковым методом, в совокупности будут дополнять результаты измерений коэрцитивной силы в каждой области проводимых измерений.

Литература

1. **Кудишин Ю.И.** Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: изд. центр "Академия", 2007. 688 с.
2. **Галишев М.А., Бельшина Ю.Н., Дементьев Ф.А. и др.** Пожарно-техническая экспертиза: учебник. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. 453 с.
3. **Садовский В.Д., Малышев К.А., Сазонов Б.Г.** Фазовые и структурные превращения при нагреве стали. М.: Свердловск: Metallurgizdat, 1994. 183 с.
4. **Чешко И.Д., Голяев В.Г.** Комплексная методика установления очага пожара. Л.: ЛФ ВНИИПО МВД СССР, 1987. 114 с.
5. **Чешко И.Д., Плотников В.Г.** Анализ экспертных версий возникновения пожара, в 2-х кн. Кн. 1. СПб.: Береста, 2010. 708 с.
6. **Сысоева Т.П., Бельшина Ю.Н., Галишев М.А.** Комплексная методика анализа окрашенных стальных элементов автомобиля, на основе полевых методов исследования // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2015. № 1. <http://vestnik.igps.ru>.