

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИЗДЕЛИЙ К ИССЛЕДОВАНИЮ МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Ю.Н. Елисеев, кандидат технических наук;
И.Д. Чешко, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;
В.Г. Плотников.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Показана эффективность использования ультразвукового способа очистки стальных изделий после пожара для их последующего исследования магнитными методами. Проведены исследования для оценки возможного влияния ультразвуковой очистки на величину тока размагничивания.

Ключевые слова: пожар, пожарно-техническая экспертиза, стальные изделия, ультразвуковая очистка, магнитные методы

При расследовании пожаров в условиях неочевидности для установления места возникновения горения часто проводятся инструментальные исследования. Одним из основных методов оценки степени термического поражения холоднодеформированных стальных изделий является магнитный метод.

В процессе холодной деформации структура зерен меняется за счет их фрагментации, движения атомов и искажения атомной решетки. Этот процесс сопровождается повышением внутренней энергии металла, сплава, резким изменением структурно-чувствительных механических и физических свойств. Неустойчивая структура пластически деформированного металла стремится освободиться от искажений кристаллической решетки и запаса остаточной энергии и перейти в устойчивое состояние. Но при комнатной температуре подвижность атомов недостаточна для упорядочения строения кристаллической решетки. При повышении температуры, например в процессе пожара, увеличивается подвижность атомов, и происходят процессы, возвращающие металл в устойчивое состояние [1].

Величина структурных изменений зависит от параметров теплового воздействия на холоднодеформированный металл, и в первую очередь от температуры нагрева. Оценив структурные изменения холоднодеформированных изделий, расположенных в различных зонах пожара, можно выявить зоны различного по интенсивности термического воздействия на конструкции.

Коэрцитивная сила (или соответствующая ей величина тока размагничивания) и остаточная магнитная индукция являются наиболее структурочувствительными магнитными характеристиками материала. Это позволяет использовать их для количественной оценки степени термических поражений холоднодеформированных стальных изделий.

Согласно методическим принципам [1, 2], для того чтобы провести исследование холоднодеформированных стальных изделий после пожара магнитным методом необходимо

провести предварительную подготовку их поверхностей к измерению. Для этого нужно удалить с поверхности металла остатки краски, ржавчины, окалины и т.д. В пожарно-технической экспертизе это происходит вручную с использованием механических инструментов, что существенно увеличивает трудоемкость применяемого метода.

В промышленности в настоящее время для очистки различных поверхностей широко используют ультразвук (УЗ). Использование механических эффектов УЗ энергии для интенсификации различных процессов (растворение, очистка, диспергирование, экстракция и др.) достаточно хорошо известно. Основную роль при воздействии УЗ на вещества и процессы в жидкостях играет акустическая кавитация.

Кавитация (от лат. *cavitas* – пустота) – это процесс образования в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (так называемых кавитационных пузырьков, или каверн) [3, 4].

В настоящее время создано большое количество источников УЗ колебаний, так называемых УЗ преобразователей (излучателей).

Принцип действия у них одинаков, различие состоит в способе крепления преобразователя (к дну резервуара или к волноводу).

Основные составные части технологической УЗ колебательной системы являются (рис. 1) [3]:

- УЗ генератор;
- электроакустический преобразователь (магнитострикционный или пьезоэлектрический);
- волновод-излучатель.

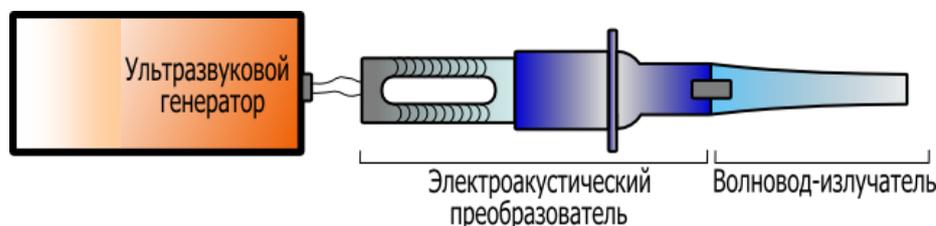


Рис. 1. Составные части типовой технологической УЗ системы

Генератор формирует переменный сигнал, который, вследствие проявления одного из указанных физических эффектов – магнитострикционного или пьезоэлектрического, вызывает механические колебания преобразователя, который, в свою очередь, передает их волноводу-излучателю. УЗ система работает на частоте механического резонанса акустики (преобразователь + волновод).

В то же время неясна эффективность использования данного метода для очистки поверхностей стальных изделий после пожара, особенно с учетом специфики последующих исследований. Необходимо чтобы способ очистки металлических поверхностей не влиял на конечные результаты последующего исследования магнитным методом. Как известно [5], при УЗ очистке повышается микротвёрдость поверхности, снижается шероховатость и возникают остаточные напряжения сжатия, все это может оказать влияние на результаты последующего исследования изъятых с места пожара образцов.

Исходя из этого, для оценки возможности очистки металлических изделий после пожара с целью их дальнейшего исследования магнитным методом были проведены лабораторные исследования на установке, показанной на рис. 2.

На первом этапе исследования оценивалась эффективность использования УЗ для очистки стальных изделий после пожара.

Первоначально исследования проводились на контрольных образцах: гвоздях и саморезах. Данные объекты чаще всего исследуются магнитным методом в пожарно-технической экспертизе. Образцы подвергались нагреву в муфельной печи в различных температурных

и временных режимах. Температура варьировалась в пределах от 300 °С до 900 °С, а длительность выдержки составляла 10–20 мин.

Полученные образцы, помещали в ванну – толстостенный стеклянный стакан, и заливали 3–5 % раствором соляной кислоты. Емкость с исследуемыми объектами помещали на штативный столик. Регулируя высоту крепления корпуса преобразователя на штативе, погружали волновод-излучатель в реакционную среду так, чтобы излучающая поверхность не соприкасалась с образцами (рис. 2).

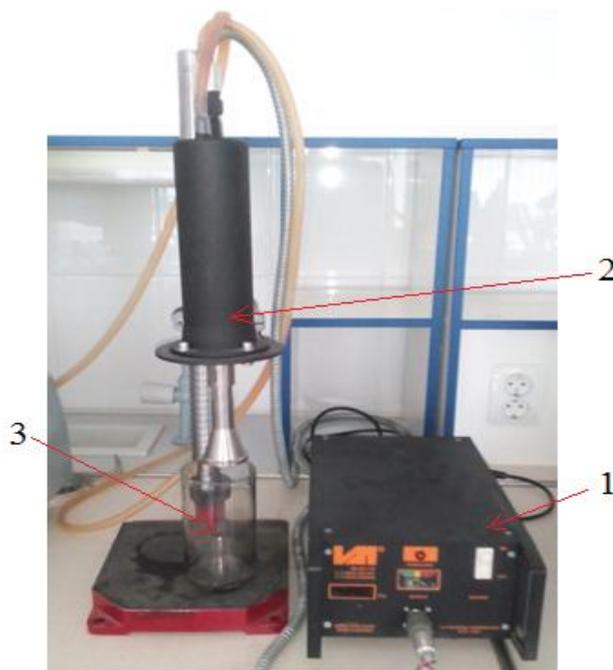


Рис. 2. УЗ установка, для очистки образцов:
1 - УЗ генератор; 2 – преобразователь с излучателем; 3 – ванна для образцов

УЗ воздействие на объекты продолжалось до достижения оптимального эффекта очистки и в среднем составляла 3–5 мин. На рис. 3 приведены фотоснимки контрольных объектов (гвоздей и саморезов) до очистки и после.

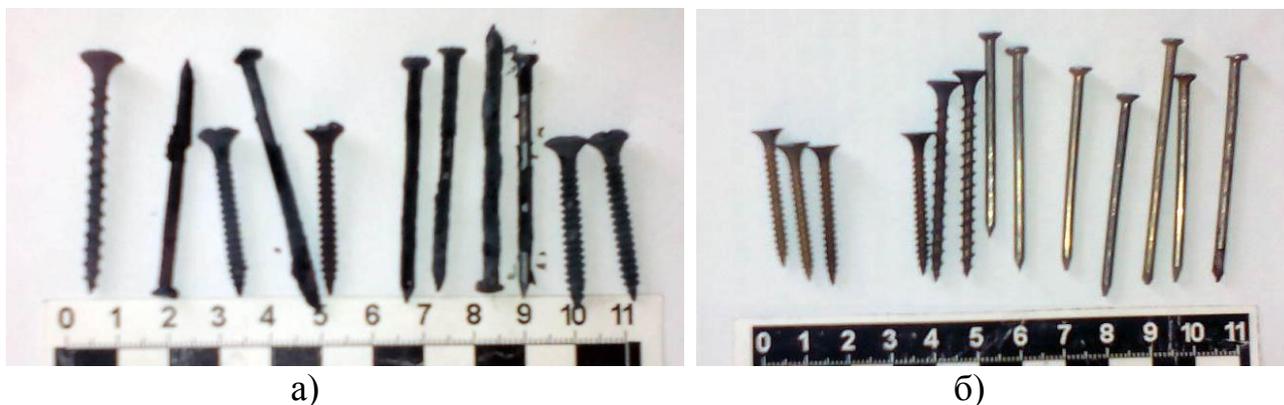


Рис. 3. Фотоснимки объектов исследования
а) до УЗ-очистки; б) после УЗ-очистки

Указанные исследования показали высокую эффективность и относительно низкую трудоемкость УЗ очистки изделий после пожара. Данный вывод был также подтвержден и в результате экспериментов по очистке металлических образцов с реально произошедших пожаров.

Для оценки возможного влияния УЗ-способа очистки на конечные показатели при использовании магнитного метода, а именно на величину тока размагничивания, были проведены соответствующие экспериментальные исследования в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.



Рис. 4. Схема проведения исследований для оценки возможности использования УЗ очистки образцов

Однотипные образцы (гвозди и саморезы) нагревали в муфельной печи при температурах от 300 °С до 900 °С в течение 15 мин. Часть образцов подготавливали к дальнейшему исследованию механическим способом. Очистку от окалины оставшихся образцов производили с помощью УЗ в 3–5 % растворе соляной кислоты. Далее на полученных образцах производили измерения величины тока размагничивания в соответствии с методическими принципами, изложенными в [1].

Табл. 1. Величина тока размагничивания контрольных образцов (механическая предварительная очистка)

№ образца	Средняя величина тока размагничивания (мА)	
	Исследование гвоздей	Исследование саморезов
1	0,080	0,057
2	0,084	0,056
3	0,098	0,057
4	0,089	0,054
5	0,086	0,056
6	0,086	0,059
7	0,084	0,057
8	0,089	0,058
9	0,084	0,054
10	0,084	0,056
Среднее значение	0,086	0,056
Стандартное отклонение	0,005	0,001
Доверительный интервал, ±	0,007	0,005

Оценку достоверности полученных результатов проводили согласно ГОСТ Р ИСО 21748-2012 [6]. За основу принималось то утверждение, что среднее значение контролируемого параметра, полученное на образцах, предварительная очистка которых проводилась УЗ методом, должно находиться в доверительном интервале (доверительная вероятность 95 %) для среднего значения тока размагничивания, полученного на однотипных образцах, очистка которых производилась механическим способом.

В табл. 1 приведена величина тока размагничивания, полученная при исследовании образцов (температура нагрева которых составляла 600 °С в течение 20 мин) магнитным методом. Из данной таблицы следует, что для того чтобы была обеспечена достоверность полученных результатов, средняя величина тока размагничивания аналогичных объектов, предварительная очистка которых проводилась УЗ методом, должна составлять: для гвоздей $0,086 \pm 0,007$ мА, для саморезов $0,056 \pm 0,005$ мА.

В результате исследования магнитным методом однотипных образцов (одинаковой длины и диаметра, температура нагрева которых также составляла 600 °С в течение 20 мин), предварительная очистка которых производилась УЗ-методом, были получены значения (табл. 2), которые находятся в указанных выше пределах.

Табл. 2. Величина тока размагничивания контрольных образцов (УЗ-очистка)

№ образца	Средняя величина тока размагничивания (мА)	
	Исследование гвоздей	Исследование саморезов
1	0,089	0,051
2	0,086	0,050
3	0,094	0,050
4	0,086	0,057
5	0,086	0,056
6	0,084	0,056
7	0,084	0,054
8	0,082	0,053
9	0,087	0,054
10	0,090	0,052
Среднее значение	0,087	0,053

Аналогичные исследования были проведены на образцах, нагрев которых производился при температурах 300–800 °С в течение 10–30 мин, во всех проведенных исследованиях достоверность полученных результатов была соблюдена. Данное обстоятельство позволяет сделать вывод, что процесс УЗ-очистки объектов исследования не влияет на величину тока размагничивания.

Таким образом, показана возможность и эффективность использования метода УЗ-очистки металлических объектов после пожара для их дальнейшего исследования магнитным методом.

Литература

1. Применение инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров: сб. метод. рекомендаций / под ред. И.Д. Чешко, А.Н. Соколовой. СПб.: СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. 279 с.
2. Чешко И.Д., Соколова А.Н., Елисеев Ю.Н. Способ выявления скрытых очаговых признаков пожара: пат. Рос. Федерации на изобретение № 2329077. 2006. URL: <http://allpatents.ru/patent/2329077.html> (дата обращения: 14.01.2017).
3. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев [и др.]. Бийск: Изд-во АГТУ, 2007. 203 с.

4. Медведев А.М. Ультразвуковая очистка. Теория и практика. URL: <http://www.utinlab.ru/pages.html> (дата обращения: 14.01.2017).
5. Зайцев К.В., Аралкин А.С. Применение ультразвука при обработке углеродистых сталей и титановых сплавов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3.
6. ГОСТ Р ИСО 21748–2012. Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».