

Научная статья
УДК 614.841
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.34.19.016

Исследование изменений магнитных свойств шурупов и саморезов в результате термического воздействия

Александр Сергеевич Горбунов¹

Александр Александрович Богданов²

^{1,2}Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0002-1971-3436>

Автор ответственный за переписку: Александр Сергеевич Горбунов, gorbunovgps@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований изменений магнитных свойств шурупов и саморезов в результате термического воздействия. В результате пожара происходит уничтожение горючих материалов, и при развитых пожарах признаки очага пожара в виде термических повреждений конструкций, которые можно визуально наблюдать, нивелируются. Однако различного рода крепежные изделия остаются после пожара и меняют свои физические свойства в том числе магнитные. Существуют различные виды крепежных изделий, как по форме и материалу, так и по принципу производства в виде термической обработки для увеличения твердости и прочности. Таким образом исследование крепежных изделий представляет практический и научный интерес в целях пожарно-технической экспертизы для установления очага пожара и путей его распространения. Однако процесс производства метизов влияет на параметры их исследования после пожара.

Ключевые слова: шуруп, саморез, термическое воздействие, коэрцитиметр, магнитные свойства

Для цитирования: Горбунов А.С., Богданов А.А. Исследование изменений магнитных свойств шурупов и саморезов в результате термического воздействия // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 1 (32). С. 151-159. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.34.19.016>

Investigation of changes in the magnetic properties of screws and self-tapping screws as a result of thermal exposure

Alexander S. Gorbunov¹

Alexander A. Bogdanov²

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0002-1971-3436>

Corresponding author: Alexander S. Gorbunov, gorbunovgps@mail.ru

Abstract. The article presents the results of studies of changes in the magnetic properties of screws and self-tapping screws as a result of thermal exposure. As a result of the fire, combustible materials are destroyed, and with developed fires, signs of a fire source in the form of thermal damage to structures that can be visually observed are leveled. However, various kinds of fasteners remain after a fire and change their physical properties, including magnetic ones. There are various types of fasteners, both in shape and material, and according to the principle of production in the form of heat treatment to increase hardness and strength. Thus, the study of fasteners is of practical and scientific interest for the purpose of fire-technical expertise to establish the source of the fire and the ways of its spread. However, the process of manufacturing hardware affects the parameters of their research after a fire.

Keywords: screw, self-tapping screw, thermal effect, coercitimeter, magnetic properties

For citation: Gorbunov A.S., Bogdanov A.A. Investigation of changes in the magnetic properties of screws and self-tapping screws as a result of thermal exposure // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 1 (32). P. 151-159. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.34.19.016>

Введение.

Шурупы и саморезы применяют для монтажа и соединений деталей из различных материалов [1]. Основное отличие согласно ГОСТ 27017-86 [2] заключается в том, что шуруп образует резьбу в изделиях деревянного или пластмассового изделия, а саморез (самонарезающий винт) образует резьбу в отверстии пластмассовых и металлических изделий. В определениях акцент делается на то с каким материалом возможно использование по признаку твердости. Также можно сказать, что саморез это шуруп с самонарезающей резьбой. Отличительными чертами является материал изготовления и форма наконечника. Шуруп и саморез имеет схожие внешние признаки. К примеру, конструкционный шуруп по дереву по своему применению больше относится к саморезу, так как не требуется предварительно подготавливать отверстие, и он имеет сверло на кончике и специальную резьбу [1, 3].

Согласно ГОСТ 59571-2021 [4], самонарезающие винты должны подвергаться химико-термической обработке в виде нитроцементации. Также имеются отличия в применяемых марках стали. Существует множество марок стали для изготовления саморезов и шурупов. Особое внимание заслуживает производство в Китае средних и малых заводов. Состав стали данных производителей неизвестен и может отличаться. Для производства метизов в основном используют следующие марки стали: С1022, С1018, С1010. Стали отличаются содержанием углерода и легирующими добавками. От состава зависят свойства материала: прочность и твердость [5].

Саморезы подвергаются термической обработке. Термообработка позволяет достигнуть нужной прочности, износостойкости, сопротивлению усталостному разрушению, устраняет металлургические дефекты, снижает внутренние напряжения [5].

Процесс термообработки состоит из трех этапов: химико-термическая обработка (цементация), закалка, отпуск. Химико-термическая обработка заключается в насыщении поверхностного слоя металла углеродом (при температурах 920-950 °С). Закалка представляет собой процесс нагрева до определенной температуры, выдержке и быстром охлаждении. При закалке (при температуре 810-830 °С) увеличивается хрупкость и саморез не выдерживает ударных и изгибающих нагрузок. Для устранения негативных последствий закалки производят отпуск (нагрев 130-240 °С и медленное охлаждение (2,5 часа)). В связи с тем, что отпуск стали является затратной процедурой, то производитель «эконом-класса» в ущерб качеству экономит. Экономия дает разницу от 4 до 7 % в цене самореза. А полная экономия на качестве стали и термообработке дает разницу 7-12 % [5].

Также стоит отметить, что процент продаж метизной продукции нижнего ценового сегмента на рынках РФ составляет более 70% [6], а существующие экономические проблемы (санкции, инфляция и т.д.) способствуют дальнейшему росту рынка поддельной и некачественной продукции.

Дальнейший этап изготовления шурупов и саморезов заключается в нанесении защитного покрытия (цинк, кадмий, хром, фосфатирование, оксидирование). В результате чего саморезы и шурупы имеют разный цвет серебристый, желтый или черный. Цвет самореза или шурупа не говорит о его закалке или других механических свойствах [7].

Таким образом, процесс производства, материал, сложность в отличии шурупа и самореза дает основание полагать, что и при исследовании данных объектов после пожара также имеются отличия.

Объекты исследования. Объектами исследования были выбраны различные виды метизов (Рис. 1) по пять образцов на каждый вид. Выбор осуществлялся по принципу внешнего отличия: цвет, резьба, наконечник.



Рис. 1. Выбранные объекты исследования

Образец № 1 представлен в виде самореза черного цвета. Образец № 2 представляет собой винт желтого цвета. Образец № 3 – конфирмат («евровинт», «шурупная стяжка») серебряного цвета. Образец № 4 – саморез серебряного цвета с острым наконечником. Образец № 5 – саморез серебряного цвета с наконечником в виде сверла.

Далее к выбранным объектам исследования было применено механическое воздействие на излом с помощью фиксации в тисках одного конца и воздействия плоскогубцев с другого конца.

Результаты механического воздействия отображены на Рис. 2.



Рис. 2. Выбранные объекты исследования после механического воздействия на излом

Образец № 1 и образец № 5 обладают повышенной хрупкостью. Образцы № 3, № 4, № 5 легко деформируются, разрушения целостности не произошло. Можно сделать вывод, что при закалке увеличивается хрупкость, и образцы № 1 и № 5 поэтому не выдержали изгибающих нагрузок, отпуск произведен не был.

Метод исследования. В процессе пожара происходит термическое воздействие на металлы, что приводит к изменениям в структуре и свойствах материала [8, 9].

Следует отметить, что металлы и их сплавы имеют кристаллическую структуру, состоящую из множества зерен. В результате холодной деформации при производстве происходит изменение внутренней структуры [9].

Холодное пластическое деформирование металлов, а также кристаллов в целом, приводит к перемещению различных частей кристалла (кристаллита). Деформированный (наклепанный) металл имеет большую свободную энергию по сравнению с отожжённым [9].

Изменение структуры стали при повышении температуры, например в случае пожара, связано с увеличением подвижности атомов и осуществлением процессов, возвращающих металл в его стабильное состояние. Степень структурных изменений зависит от параметров теплового воздействия, особенно температуры, на холоднодеформированный металл [9].

Одним из методов исследования для пожарно-технической экспертизы, который удовлетворяет указанным параметрам и может быть использован в полевых условиях, являются магнитные методы исследования. Магнитными характеристиками материала являются

коэрцитивная сила (ток размагничивания) и остаточная магнитная индукция. Использование этих характеристик в технике позволяет провести неразрушающий контроль структуры, механических свойств металла и других параметров [9].

Оценка термических повреждений возможна по величине тока размагничивания I_r , либо величине остаточной магнитной индукции B_r . Начиная с температуры 200 °С и заканчивая завершением процесса рекристаллизации при 600 - 700 °С, происходят изменения величин I_r и B_r в динамическом режиме нагрева.

Таким образом, в пределах указанных температур, чем ниже величина тока размагничивания или остаточная магнитная индукция, тем выше степень термических повреждений металла.

Оборудование. В системе СЭУ ФПС МЧС России предпочтительно применяется коэрцитиметр КИМ-2 фирмы Кропус Рис. 3.



Рис.3. Коэрцитиметр КИМ-2 фирмы Кропус

КИМ-2 состоит из электронного блока и измерительного преобразователя. Работа коэрцитиметра заключается в намагничивании контролируемого участка детали до технического насыщения с помощью накладного преобразователя, затем его размагничивание, фиксирование напряженности поля, соответствующей коэрцитивной силе материала детали по значению тока размагничивания [9].

Муфельная печь LOIP LF 7/13-G1 (точность поддержания температур ± 10 °С, предел нагрева 1300 °С) была использована для нагрева образцов (Рис.4).



Рис. 4. Муфельная печь LOIP LF 7/13-G1

Результаты исследований. План проведения исследований предусматривал нагревание образцов от 300°C до 600°C (с шагом в 100°C). В нагретую муфельную печь до определенной температуры помещали по одному образцу каждого вида метиза. Образцы выдерживали в течение 30 минут. Далее извлекали образцы из печи при достижении временного промежутка и охлаждали в естественных условиях окружающей среды.

Результаты термического воздействия на образцы представлены на Рис. 5-9.



Рис. 5. Образец № 1 после термического воздействия



Рис. 6. Образец № 2 после термического воздействия



Рис. 7. Образец № 3 после термического воздействия



Рис. 8. Образец № 4 после термического воздействия



Рис. 9. Образец № 5 после термического воздействия

По результатам термического воздействия на образце № 1 при 600 °C видны следы образования высокотемпературных окислов в виде окалины. На образце № 2 при температуре

500 °С исчезает желтый цвет, а при 600 °С образуется окалина. На образцах № 3, № 4, № 5 наблюдается постепенное изменение цвета от 300 °С, при температуре 600°С наблюдаются следы образования оксидов цинка.

Далее были произведены замеры величины тока размагничивания. Результаты измерений представлены в Таблице.

Таблица. Результаты измерений тока размагничивания.

№ образца	I, исходного образца, А	I, при 300 °С, А	I, при 400 °С, А	I, при 500 °С, А	I, при 600 °С, А
Образец № 1	0,021	0,025	0,020	0,022	0,018
Образец № 2	0,015	0,013	0,011	0,011	0,008
Образец № 3	0,022	0,021	0,018	0,017	0,011
Образец № 4	0,052	0,035	0,019	0,016	0,016
Образец № 5	0,033	0,035	0,030	0,030	0,022

Как видно из таблицы, только образец № 4 показал зависимость тока размагничивания от термических повреждений. Также наблюдается изменение тока размагничивания при достижении 600 °С всех представленных образцов. Образцы № 1, № 2, № 3, № 5 показали незначительные изменения (в пределах погрешности прибора) тока размагничивания при термических повреждениях от 300 до 500 °С.

Обсуждение. В методике [9] указано, что объектами исследования могут быть любые холоднодеформированные стальные изделия без последующей закалки или отжига. В методике [9] приведены примеры гвозди, саморезы, корпусные детали автомобиля, холодильников. Однако производство саморезов предусматривает закалку. Также стоит учитывать экономию на производстве и положение рынка метизов в стране. Таким образом, изъятие или проведение исследований на месте пожара саморезов считается нецелесообразным в связи с непредсказуемостью состава и условий производства.

Заключение.

Магнитный метод для исследования на месте пожара стальных изделий имеет температурные ограничения, а также ограничения связанные с выбором объектов исследования. Данный метод предназначен только для исследования холоднодеформированных стальных изделий. Сегодняшний рынок метизов отличается непредсказуемостью состава материала и условиями производства. Определить по внешнему виду качество, вид и возможность проведения исследования метизов не представляется возможным.

Список источников

1. Чем шуруп отличается от самореза? В чем разница и как отличить шуруп от самореза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kmp-trade.ru/item/blog/chem_otlichaetsya_shurup_ot_samoreza/ (дата доступа 05.02.2024).
2. ГОСТ 27017-86 Изделия крепежные. Термины и определения (с Изменением N 1).
3. ГОСТ Р 59571-2021. Винты самонарезающие. Общие технические условия
4. Dietsch P., Brandner R. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements–A state-of-the-art report //Construction and Building Materials. – 2015. – Т. 97. – С. 78-89..
5. Глава 1. Производители и марки стали, использующиеся при производстве саморезов. Оборудование и технология закалки саморезов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://favorkrep.ru/analiticheskie-materialy> (дата доступа 05.02.2024).
6. Саморезы для монтажа ЛМК_ Анализ ценовых сегментов рынка метизов РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://favorkrep.ru/analiticheskie-materialy> (дата доступа 05.02.2024).
7. ТОП-5 заблуждений о черных саморезах - мифы и ошибки при работе с саморезами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kmp-trade.ru/item/blog/5-mifov-ochyornyh-samorezah/> (дата доступа 05.02.2024).

8. Экспресс-методы экспертного исследования неорганических материалов при установлении очага пожара: Методические рекомендации / Елисеев Ю.Н., Чешко И.Д., Плотников В.Г., Мокряк А.Ю., Касаев Р.А. - СПб.: ФГБОУ ВО «СПб университет ГПС МЧС России», 2019. – 61 с.
9. Соколова А. Н., Шидловский А. Л., Сай В. В. Применение стандартных образцов коэрцитивной силы при исследовании ферромагнитных изделий после пожара //Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – 2012. – №. 1. – С. 43-46.

References

1. How does a screw differ from a self-tapping screw? What is the difference and how to distinguish a screw from a self-tapping screw [Electronic resource]. – Access mode: https://kmp-trade.ru/item/blog/chem_otlichaetsya_shurup_ot_samoreza/ (access date 02/05/2024).
2. GOST 27017-86 Fasteners. Terms and definitions (as Amended N 1).
3. GOST R 59571-2021. The screws are self-tapping. General technical conditions
4. Dietsch P., Brandner R. Self-tapping screws and threaded rods as reinforcement for structural timber elements—A state-of-the-art report //Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 97. – pp. 78-89..
5. Chapter 1. Manufacturers and grades of steel used in the manufacture of self-tapping screws. Equipment and technology for hardening screws. [electronic resource]. – Access mode: <https://favorkrep.ru/analiticheskie-materialy> (access date 02/05/2024).
6. Screws for mounting LMK_ Analysis of price segments of the hardware market of the Russian Federation [Electronic resource]. – Access mode: <https://favorkrep.ru/analiticheskie-materialy> (access date 02/05/2024).
7. TOP 5 misconceptions about black screws - myths and mistakes when working with screws [Electronic resource]. – Access mode: <https://kmp-trade.ru/item/blog/5-mifov-o-chyornyh-samorezah/> (access date 02/05/2024).
8. Express methods of expert research of inorganic materials in the establishment of a fire source: Methodological recommendations / Eliseev Yu.N., Cheshko I.D., Plotnikov V.G., Mokryak A.Yu., Kasaev R.A. - St. Petersburg: St. Petersburg State Budgetary Educational Institution of the Ministry of Emergency Situations Russia", 2019. – 61 p.
9. Sokolova A. N., Shidlovsky A. L., Say V. V. Application of standard samples of coercive force in the study of ferromagnetic products after a fire //Supervisory activities and forensic examination in the security system. - 2012. – No. 1. – pp. 43-46.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 23.01.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2024; принята к публикации 21.03.2024.

The article was submitted 23.01.2024, approved after reviewing 01.03.2024, accepted for publication 21.03.2024.