

Научная статья

УДК 614.841

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.72.016

Исследование влияния температурного воздействия на холоднодеформированные стальные изделия магнитным методом

Ирина Яковлевна Талай

Любовь Викторовна Долгушина¹

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

¹<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>

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

Аннотация. Рассмотрены вопросы влияния температурного воздействия на изменение коэрцитивной силы магнитным методом. Выявлено, что при температурном воздействии на холоднодеформированные стальные объекты в течение 30 минут при 1100 °С коэрцитивная сила уменьшается практически в 2 раза.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, стальные изделия, пожар, температурное воздействие, анализ

Для цитирования: Талай И.Я., Долгушина Л.В. Исследование влияния температурного воздействия на холоднодеформированные стальные изделия магнитным методом // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. №1 (28). С. 24-29. [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.72.016](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.72.016)

Investigation of the effect of temperature exposure on cold-formed steel products by magnetic method

Irina Y. Talay

Liubov V. Dolgushina¹

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

¹<https://orcid.org/0000-0003-1821-144X>

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

Abstract. The issues of the influence of temperature action on the change of coercive force by the magnetic method are considered. It was revealed that when exposed to temperature on cold-formed steel objects for 30 minutes at 1100 °С, the coercive force decreases by almost 2 times.

Keywords: coercive force, steel products, fire, temperature impact, analysis

For citation: Talay I.Y., Dolgushina L.V. Investigation of the effect of temperature exposure on cold-formed steel products by magnetic method // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2023. № 1 (28). pp. 24-29. [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.72.016](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.45.72.016).

С точки зрения пожарно-технической экспертизы металлические конструкции и изделия разделяются на два вида: горячекатаные и холоднокатаные. До 80% всей товарной металлопродукции – это прокат стальной горячекатаный, а оставшиеся 20% - это холодный прокат.

Холоднодеформированными изделиями называют изделия, получаемые методами холодной штамповки,ковки, протяжки, т.д. Холодная прокатка - это обработка металла давлением, которая проводится при температуре ниже температуры рекристаллизации (500 – 600 °С), при этом достигается упрочнение металла (наклеп). При холодной прокатке зерна деформируются, вытягиваются в длину. Изменение структуры приводит к изменению свойств деформированного металла: возрастают прочность, твердость и снижаются пластические свойства металла. Изменяются также и другие свойства, например, резко падает магнитная проницаемость.

Технология производства холоднокатаных изделий изменяет свойства поступившего сырья (стали). Данные свойства и подвергаются исследованию магнитным методом.

Прокатка металлов причисляется к числу основных методов обрабатывания металлов давлением. Прокаткой получают изделия всевозможных габаритов и форм. Прокатка служит не только для получения необходимой формы изделия, но и для образования у него определенной структуры и свойств.

В результате холодного пластического деформирования металл упрочняется, меняются его физические свойства. Наклепанный металл запасает 5–10 % энергии, потраченной для деформирования [1]. Запасенная энергия расходуется для образования повреждений решетки и на упругие искривления решетки. Характеристики наклепанного металла меняются тем сильнее, чем больше уровень деформации.

При деформировании повышаются прочностные характеристики, но снижается пластичность и ударная вязкость. Металлы интенсивно накладываются в исходной стадии деформирования, впоследствии при возрастании деформации механические характеристики меняются не кардинально. С увеличением уровня деформаций предел текучести возрастает быстрее скоротечного сопротивления. Обе характеристики у сильно склепанных металлов сравниваются, а удлинение становится равным нулю. Подобное состояние наклепанного металла является предельным. При попытке продлить деформирование металл разрушается. Путем наклепа твердость и временное сопротивление удается увеличить в 1,5-3 раза, а предел текучести в 3-7 раз.

Благодаря разнородности деформации в объеме металла разнообразны изменения плотности, что служит фактором появления остаточных напряжений - как растягивающих, так и сжимающих.

У ферромагнетиков, к которым причисляется большинство сталей, снижается магнитная проницаемость и остаточная индукция, увеличивается коэрцитивная сила.

Наклеп уменьшает плотность металла благодаря нарушению порядка в размещении атомов при увеличении плотности дефектов и образовании микропор. Уменьшение плотности применяют для повышения долговечности деталей, которые при эксплуатации подвержены переменным нагрузкам. С этой целью используют поверхностное пластическое деформирование элементов с помощью обдувки дробью или обработки особым инструментом. Наклепанный слой устремляется расширяться, встречая противодействие со стороны не склепанных участков детали. В результате в этом слое появятся напряжения сжатия, а под ним, на большем расстоянии от поверхности, появятся напряжения растяжения. Сжимающие напряжения в поверхностном слое тормозят зарождение усталостной трещины и тем самым повышают долговечность деталей [2].

Клепанные металлы легче корродируют и склонны к коррозионному растрескиванию. Образование текстуры деформации инициирует анизотропию свойств.

Несмотря на уменьшение пластичности, наклеп обширно применяют для увеличения крепости деталей. Уменьшение пластичности при наклепе улучшает обрабатываемость резанием вязких и пластичных материалов (латуной, сплавов алюминия и др.)

Холоднокатаная сталь обладает следующими преимуществами:

- холоднокатаный метод обрабатывания стальных изделий обуславливает высококачественные характеристики выходящего продукта;
- холоднокатаная сталь может также является тонколистовым изделием (посредством этого процесса возможно получить даже фольгу толщиной в несколько микрон);
- поверхность полученных изделий гладкая, блестящая, обладает высокой эстетической ценностью;
- отсутствуют какие-либо опасности при сваривании металлопроката.
- возможность получения точной формы и размеров высочайшей точности.

Недостатки данной продукции:

- пониженная пластичность, обусловленная высокой жесткостью (весьма условно);
- дороговизна – подобная продукция значительно дороже горячекатаной;
- в процессе эксплуатации, например, в строительстве сооружений на основе ЛСТК, требуется добавочная антикоррозионная обработка, так как холоднокатаная сталь подвержена коррозии, но только не оцинкованная.

Обнаружение объектов исследования.

При исследовании места пожара необходимо обнаружить объекты, которые эксперт (специалист) будет непосредственно исследовать полевым методом. Обнаружить их можно в принципе в любом месте (в зоне пожара) но более вероятно нахождение таких элементов будет в тех областях, где предположительно известны места для крепежа каких-либо частей, деталей или конструкций чего-либо. Например, это могут быть гвозди, которыми были прибиты доски пола или листы шифера; болты или скобы, скрепляющие стеллажи, каркасы или стропиловку помещения.

Существует два основных полевых инструментальных метода исследования металлических конструкций и изделий, которые пользуются высокой популярностью среди пожарно-технических экспертов – это магнитный метод исследования холоднодеформированных изделий и вихрековый метод.

Для исследования холоднодеформированных стальных изделий применяется магнитный метод. Он предназначен для определения зон термических поражений путем измерения коэрцитивной силы (или тока размагничивания) на однотипных холоднодеформированных стальных изделиях, находящихся в различных участках горения при пожаре.

Коэрцитивная сила - это значение напряженности внешнего магнитного поля, необходимое для полного размагничивания остаточных магнитных напряжений (после теплового воздействия) в холоднодеформированных стальных изделиях.

Сущность метода заключается в оценке глубины образования дорекристаллизационных и рекристаллизационных процессов у холоднодеформированных стальных изделий при нагревании в ходе пожара [3].

Метод базируется на зависимости величины тока размагничивания от уровня рекристаллизации холоднодеформированного металла, пропорциональной температуре нагрева при пожаре.

Структурные трансформации в холоднодеформированной стали при нагреве происходят в несколько стадий, таких как: 1 - возврат, 2 - полигонизация, 3 - рекристаллизация. Следствием процессов, проходящих на данных стадиях, является изменение структурно чувствительных свойств стали, противоположное тому, которое имело место при холодной деформации.

То есть при термическом воздействии начинается рекристаллизация, в которой протекают процессы - ликвидации структурных повреждений (в первую очередь понижает на несколько порядков плотность дислокаций), меняются размеры зерен и возможны изменения их кристаллографической ориентации (текстуры). Рекристаллизация переводит металл в состояние с большей термодинамической устойчивостью: при первичной рекристаллизации - за счет убавления искажений, внесённых деформацией; при собирательной и вторичной

рекристаллизации - за счет убавления суммарной поверхности пределов зёрен. Рекристаллизация изменяет все структурно-чувствительные характеристики деформированного материала и зачастую возвращает начальную структуру, текстуру и характеристики (до деформации). А это значит, что полученное в ходе деформации напряжение понижается с увеличением температуры и продолжительности воздействия теплового потока на металл.

Скорость рекристаллизации и изменение общей величины коэрцитивной силы при нагреве в изотермических условиях ступенчато увеличивается с ростом температуры нагрева. При нагреве в динамическом режиме изменение тока размагничивания, наступает от 200 °С и завершается с прекращением процесса рекристаллизации при 600–700 °С.

Оценив степень рекристаллизации однотипных холоднодеформированных изделий, находящихся в различных участках пожара, возможно, установить зоны с максимальными и минимальными термическими поражениями. Выявление зон, с различными по интенсивности термических воздействий на объекты, дает эксперту (специалисту) сделать предположение о том, где возможно находится очаг пожара.

Установление уровня рекристаллизации проводится магнитным методом, для чего применяется прибор – коэрцитиметр, определяющий величину тока размагничивания изымаемых изделий.

Коэрцитиметр – это устройство для измерения коэрцитивной силы ферромагнитных материалов (то есть в частности и холоднодеформированных стальных изделий).

Цель: выяснение экспериментальным путем теоретических положений данного метода, то есть, необходимо выяснить: насколько этот метод является эффективным для решения поставленных задач в производстве пожарно-технической экспертизы, при какой температуре начинаются процесс рекристаллизации, какая динамика изменений данного параметра.

Исследованию подверглись стальные однотипные болты марки «WF8.8».



Рис. 1. Внешний вид стальных однотипных болтов марки «WF8.8» до нагрева

Данные болты имеют цвет стали. Болты состоят из головок, которые имеют форму шестигранника, и цилиндрического стержня с наружной резьбой. Размеры болтов: длина болтов – 45 мм; диаметр стержней – 5 мм; диаметр головок (от ребра до ребра) – 10мм; диаметр головок (от угла до угла) – 11 мм.

Первоначально были проведены измерения коэрцитивной силы, каждого из болтов при комнатной температуре. Далее каждый из болтов (кроме болта под № 1) по отдельности помещался в муфельную печь. Болты отжигались по 30 минут каждый, но температура отжига была у каждого болта разная.

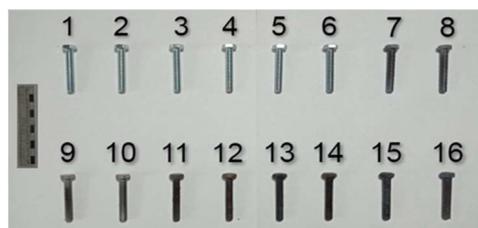


Рис. 2. Внешний вид стальных однотипных болтов марки «WF8.8» после обжига

Табл.1. Результаты замеров коэрцитивной силы болтов

№ болта	Температура во время замеров, °С	I_p^0 , mA	Температура отжига, °С	Время нагрева, мин	I_p^1 , mA	ΔI_p , mA
1	19	12,54	19	0	12,54	0
2	19	12,53	100	30	12,39	0,14
3	19	12,53	150	30	12,38	0,15
4	19	12,54	200	30	12,17	0,37
5	19	12,50	250	30	11,58	0,92
6	19	12,52	300	30	11,21	1,31
7	19	12,54	350	30	11,10	1,44
8	19	12,51	400	30	10,77	1,74
9	19	12,54	450	30	10,24	2,3
10	19	12,54	550	30	9,68	2,86
11	19	12,54	650	30	9,06	3,48
12	19	12,50	750	30	8,55	3,95
13	19	12,52	800	30	8,02	4,5
14	19	12,52	900	30	7,12	5,4
15	19	12,54	1000	30	6,69	5,85
16	19	12,53	1100	30	6,43	6,1

Результаты исследования показаны на рис. 3.

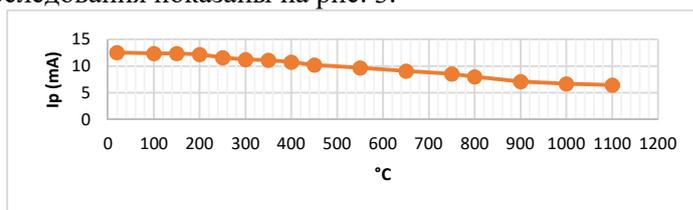


Рис. 3. Изменение величины коэрцитивной силы при нагреве объектов исследования в динамическом режиме

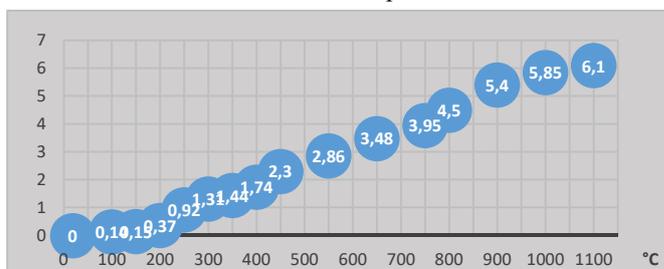


Рис. 3. Изменение величины коэрцитивной силы при нагреве объектов исследования в динамическом режиме

Судя по графику можно заметить, что при увеличении температуры нагрева изделий показатели тока размагничивания падают. Это свидетельствует о том, что остаточная напряженность в изделиях уменьшается по мере увеличения термического воздействия. Так же на данном графике можете проследить динамику изменений измеряемого параметра. Потеря величины коэрцитивной силы металлического болта за 30 минут при выдерживании в условиях нагрева 1100 °С достигает 6,1 мА. То есть коэрцитивная сила объекта уменьшается практически в 2 раза.

Коэрцитивная сила в изделиях уменьшается по мере увеличения термического воздействия, начиная от 100 °С.

Следовательно, при измерении коэрцитивной силы монотипных стальных объектов на месте пожара можно предположить место, подвергшееся наибольшему температурному воздействию. Зона с экстремально низкими значениями данного параметра, соответствует

экстремально высоким термическим поражениям и наоборот. И после того, как были выявлены данные зоны далее можно предположить о примерном нахождении места очага пожара, который соответствует экстремально высоким термическим поражениям.

Список источников

1. Бутрим Виктор Николаевич. Развитие научных основ технологии производства и модернизации хромоникелевых сплавов для серийных и перспективных изделий космической техники: диссертация ... доктора Технические наук: 05.16.01 / Бутрим Виктор Николаевич; [Место защиты: ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук], 2018.- 312 с.

2. Шарафутдинова, В. Г. Материаловедение. Модуль 1: учеб.-метод. пособие / Казан. гос. технол. ун-т; В. Г. Шарафутдинова. — Казань : КГТУ, 2006. — 92 с. : ил.

3. Никифоров, А. В. Методы исследования холоднодеформированных стальных изделий в экспертных целях / А. В. Никифоров // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 20 марта 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. – С. 52-54.

List of sources

1. Butrim Viktor Nikolaevich. Development of the scientific foundations of the technology of production and modernization of chromium-nickel alloys for serial and advanced products of space technology: dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 05.16.01 / Butrim Viktor Nikolaevich; [Place of protection: A.A. Baykov Institute of Metallurgy and Materials Science of the Russian Academy of Sciences], 2018.- 312 p.

2. Sharafutdinova, V. G. Materials Science. Module 1 : studies.- method. manual / Kazan. gos. technol. un-t; V. G. Sharafutdinova. — Kazan : KSTU, 2006. — 92 p. : ill.

3. Nikiforov, A.V. Methods of research of cold-formed steel products for expert purposes / A.V. Nikiforov // Theoretical and applied issues of complex safety: Materials of the III International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, March 20, 2020. – St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 2020. – pp. 52-54.

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 редакция 25.02.2023; одобрена после рецензирования 15.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was submitted 25.02.2023, approved after reviewing 15.03.2023, accepted for publication 21.03.2023.