

**INVESTIGATION OF THE MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF U8
STEEL USING HIGHLY SENSITIVE PENDULUM WEIGHTS**

Pustovoit V.N.¹, Dolgachev Yu.V.², Lysenko V.I.³ (Russian Federation)

Email: Pustovoit513@scientifictext.ru

¹Pustovoit Victor Nikolaevich - Doctor of Technical Sciences;

²Dolgachev Yuri Vyacheslavovich – Docent;

³Lysenko Vladislav Ivanovich – Student,

FACULTY OF HIGHER QUALIFICATION TRAINING DEPARTMENT,

PHYSICAL AND APPLIED MATERIALS SCIENCE,

DON STATE UNIVERSITY,

ROSTOV-ON-DON

Abstract: *as a result of the work, the following tasks were solved:*

- studied the technology of heat treatment in a magnetic field;*
- the principle of operation of the installation of highly sensitive pendulum scales;*
- selected sample for research;*
- theoretically substantiated the feasibility of using the installation of highly sensitive pendulum scales;*
- the method of measuring magnetic susceptibility was selected and justified;*
- investigated the magnetic susceptibility and its temperature dependence in steel U8;*
- the temperature dependence of the inverse magnetic susceptibility is constructed;*
- the theoretical justification of the process is given.*

Keywords: *Key words: susceptibility, steel, austenite, scales, dependence, magnet, temperature.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ СТАЛИ
У8 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
МАЯТНИКОВЫХ ВЕСОВ**

Пустовойт В.Н.¹, Долгачев Ю.В.², Лысенко В.И.³

(Российская Федерация)

¹Пустовойт Виктор Николаевич - доктор технических наук;

²Долгачев Юрий Вячеславович – доцент;

³Лысенко Владислав Иванович - студент,

факультет управления подготовки кадров высшей квалификации,

физического и прикладного материаловедения,

Донской государственной университет,

г. Ростов-на-Дону

Аннотация: в результате выполнения работы были решены следующие задачи:

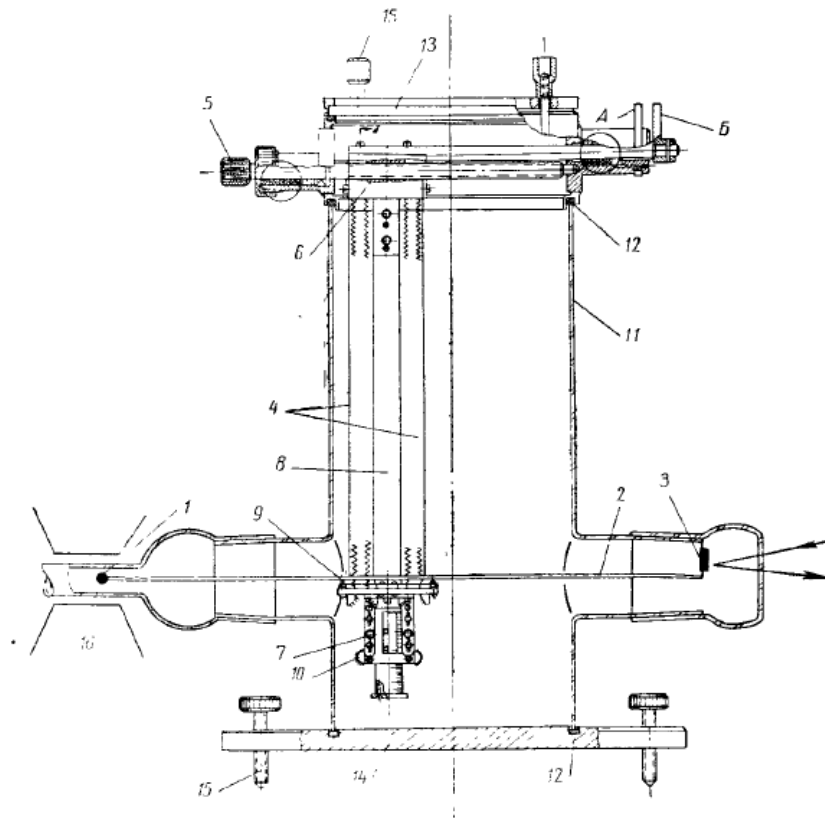
- изучена технология термической обработки в магнитном поле;
- исследован принцип работы установки высокочувствительных маятниковых весов;
- подобран образец для исследования;
- теоретически обоснована целесообразность применения установки высокочувствительных маятниковых весов;
- выбран и обоснован метод измерения магнитной восприимчивости;
- исследована магнитная восприимчивость и ее температурная зависимость у стали У8;
- построена температурная зависимость обратной магнитной восприимчивости;
- приведено теоретическое обоснование процесса.

Ключевые слова: восприимчивость, сталь, аустенит, весы, зависимость, магнит, температура.

УДК 669.017.16:539.384

Известно, что магнитное поле оказывает влияние на протекание фазовых превращений в сталях и сплавах [1-5]. Для прояснения механизмов воздействия магнитного поля на сталь выше температуры Кюри представляется целесообразным изучить магнитное состояние аустенита.

Для исследования магнитного поведения образца из стали У8 (с 0,8% С) использовались высокочувствительные маятниковые весы с механической компенсацией (рисунок 1). Данная сталь была выбрана исходя из того, что аустенит в ней сохраняется до наиболее низких температур среди углеродистых сталей.



*Рис. 1. Схема маятниковых весов с механической компенсацией:
 1 - исследуемый образец, 2 - кварцевый стержень, 3 -
 зеркало, 4 – нити подвеса, 5 - микрометрический винт, 6 -
 каретка, 7 – отсчетное приспособление, 8 - планка, 9 - контакт,
 10 - ползунок, 11 - металлический цилиндрический корпус, 12 -
 вакуумные прокладки, 13 - крышка из стекла, 14 - латунное
 основание, 15 - винты, 16 – полюса электромагнита*

Исследуемый образец *1* укрепляют на конце кварцевого стержня *2*, который подвешивают на нитях *4*. В качестве нитей можно использовать или вольфрамовую проволоку, или шелковую нить толщиной в несколько микронов. Длина подвеса составляет 200-250 мм. Верхние концы нитей подвеса прикрепляют к подвижной каретке *6*, которая перемещается с помощью микрометрического винта *5*, позволяющего производить отсчет с точностью до 0,01 мм. Для отчета смещения каретки *6* можно также использовать опоры АБ, расстояние между внешними плоскостями которых измеряется с помощью микрометра.

Магнитную восприимчивость измеряют нулевым методом. Для этого используют метод механической компенсации. При этом методе кварцевый стержень с образцом возвращается в первоначальное положение при помощи винта *5*.

Данная установка позволяет проводить исследование в широком температурном интервале от азотных температур до 1800 К. Измерение легко осуществить в вакууме или в инертной среде. Для этого весы помещают в латунный цилиндрический корпус 11, который находится на латунном основании 14. Чувствительность описанной установки, достаточна для измерения удельной восприимчивости $1 \cdot 10^{-7}$ при массе образца 30-50 мг.

Была исследована магнитная восприимчивость и ее температурная зависимость у стали с 0,8% С (рисунок 2).

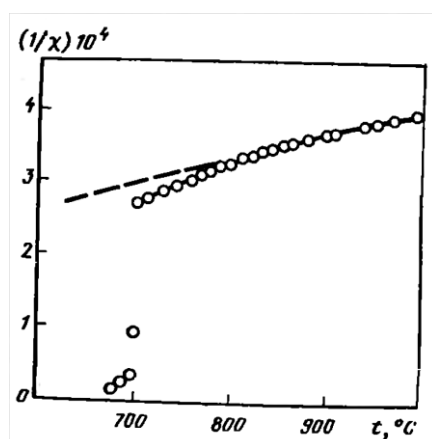


Рис. 2. Температурная зависимость обратной магнитной восприимчивости

Измерение восприимчивости железоуглеродистого аустенита оказалось возможным до температуры $\sim 700^\circ\text{C}$. Ниже этой температуры измерению мешает распад твердого раствора с образованием ферромагнитной α -фазы. При температурах 820°C γ -фаза находится в парамагнитном состоянии, зависимость $1/\chi$ (Т) линейна и описывается законом Кюри – Вейса. Ниже 820°C наблюдается заметное возрастание χ , что приводит к отклонению зависимости $1/\chi$ (Т) от закона Кюри – Вейса, при этом ход кривой удовлетворительно описывается функцией Ланжевена для суперпарамагнетиков. Такое изменение магнитных свойств γ -фазы связано с самопроизвольным возникновением флуктуаций дальнего ферромагнитного порядка («роев» спинов) [5]. «Рои» спинов представляют собой малые (однодоменные) ферромагнитные области, возникающие и аннигилирующие по статистическим законам.

Воздействие магнитным полем приводит к возникновению магнитоstrictionных напряжений в данных ферромагнитных областях и как следствие, инициирует образование ферромагнитной фазы [6-8].

Вывод: Наличие ферромагнитных кластеров в аустените обусловлено проявлением в микрообъемах с концентрационной неоднородностью (обогащенных атомами ферромагнитных веществ) положительного

обменного взаимодействия, приводящего к установлению ферромагнитного порядка при температурах выше точки Кюри (или выше $T_{\gamma \rightarrow \alpha}$ для сталей, испытывающих при охлаждении $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение с образованием ферромагнитной α -фазы). При этом суперпарамагнитные свойства аустенита рассматриваются как проявление «критического» суперпарамагнетизма, обусловленного магнитной неоднородностью вещества вблизи критической температуры (например, точки Кюри, M_c).

Список литературы / References

1. Счастливец В.М., Калетина Ю.В., Фокина Е.А., Мирзаев Д.А. Влияние внешних воздействий и магнитного поля на мартенситное превращение в сталях и сплавах // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2016. № 5 (731). С. 3-9.
2. Гришин С.А. Повышение конструкционной прочности сталей термической обработкой в магнитном поле. Ростов-на-Дону: Институт водного транспорта имени Г.Я. Седова – филиал «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 2015. 81 с.
3. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В., Рожкова В.М. Энергетические особенности образования зародышей мартенсита и кинетика гамма-альфа перехода при действии внешнего магнитного поля // *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2015. № 5 (160). С. 131-135.
4. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Зарождение мартенсита в условиях сверхпластичности аустенита и воздействия внешнего магнитного поля // *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2016. № 2 (181). С. 114-120.
5. Pustovoit V.N., Dolgachev Y.V. Ferromagnetically ordered clusters in austenite as the areas of martensite formation // *Emerging Materials Research*, 2017. Т. 6. № 2. С. 249-253.
6. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. К вопросу о местах зарождения мартенсита // *Известия Волгоградского государственного технического университета*, 2014. № 23 (150). С. 110-114.
7. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. О природе мест зарождения мартенсита при закалке стали // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*, 2019. Т. 62. № 2. С. 109-114.
8. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В., Домбровский Ю.М., Корнилов Ю.А. О местах сдвигового образования зародышей при фазовых превращениях в стали // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*, 2018. Т. 61. № 2. С. 114-119.