

6. Soluble ions more than particulate cobalt-alloy implant debris induce monocyte costimulatory molecule expression and release of proinflammatory cytokines critical to metal-induced lymphocyte reactivity / Caicedo, M.S., Pennekamp P.H., McAllister K., Jacobs J.J., Hallab N.J. // *Biomed Mater Res.*, 2010. – Vol. 93. – P. 1312–1321.

7. Бенаццо, Ф. Тотальное эндопротезирование коленного сустава вступает в новую фазу // *CeraNews*. – 2015. – № 1. – С. 3–10.

8. Saurabh, S. Biomechanical Analysis of Different Knee Prosthesis Biomaterials Using Fem / Saurabh, S., Amit Y., Rawal B.R. // *J. of Mech. and Civil Eng.*, 2014. – Vol. 4. – P. 120–128.

9. Скиба, В.Ю. Анализ напряженно-деформированного состояния проектируемых конструкций эндопротезов коленного сустава / В.Ю. Скиба, В.В. Иван-

цевский // *Приборы и методы измерений*. – 2017. – № 4 (36). – С. 93–102.

10. Пшеничный, А.Д. Физико-механические свойства и деформационное поведение пористой керамики из плазмохимических порошков Al_2O_3 , $ZrO_2(MgO)$ // *Перспективные материалы и технологии*, 2016. – № 4 (36). – С. 260–266.

11. Игнатова А.В., Кудрявцев О.А. Экспериментальное исследование и численное моделирование упругих характеристик и прочности пористой керамики // *Вестник ПНИПУ. Механика*, 2015. – № 4. – С. 121–137.

12. Hip prostheses computational modeling: Mechanical behavior of a femoral stem associated with different constraint materials and configurations / Campioni, I., Andreaus U., Ventura A. // *Computational Modelling of Objects Represented in Images*, 2012. – Vol. 3. – P. 277–281.

УДК 620.179.14

ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАКАЛКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ У8А ПО МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Короткевич З.М., Бурак В.А.

*Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Важной задачей неразрушающего контроля структурного состояния ферромагнитных материалов является обеспечение качества проведенной термообработки, то есть выявление отклонений температуры проведенной термообработки от требуемой в соответствии с технологическим процессом. Для инструментальных углеродистых сталей [1], к которым относится и исследуемая в данной работе инструментальная углеродистая сталь У8А, особенно критично выявление недогрева и перегрева при нагреве под закалку, так как именно эта операция формирует необходимые эксплуатационные характеристики изделий, изготавливаемых из этой стали [2].

Для получения необходимого разнообразия структур цилиндрические образцы из стали У8А диаметром 10 мм и длиной 190 мм были подвергнуты закалке в воду от температур 700, 750, 770, 790, 820, 850, 900 °С.

Особый интерес для поиска новых магнитных параметров, связанных с температурой нагрева под закалку и структурным состоянием, обеспечиваемым термообработкой, представляют параметры магнитной индукции, измеренные в импульсном режиме перемагничивания в разомкнутой магнитной цепи. Для реализации такого метода измерений использовался измеритель магнитной индукции импульсный ИМИ-И с дополнительным шунтом и дросселем, что позволило увеличить передний фронт намагничивающего импульса [3].

Намагничивание прибором ИМИ-И осуществлялось двумя последовательными импульсами и передним фронтом намагничивающего импульса, который необходим для замыкания петли магнитного гистерезиса. Импульсы имели

разную полярность и амплитуды. Первый намагничивающий и замыкающий петлю магнитного гистерезиса импульсы имели амплитуду порядка 40 кА/м, что достаточно для доведения материала исследуемого образца до состояния, близкого к техническому насыщению, а амплитуда размагничивающего импульса составляла около 15 кА/м. Длительность каждого из импульсов составляла 400 мс, длительность переднего фронта первого и замыкающего импульсов составляла 80 мс, а размагничивающего импульса – 130 мс.

При таком режиме намагничивания-перемагничивания образца получается несимметричная петля магнитного гистерезиса, представляющая собой часть предельной петли и частной петли.

Магнитная индукция образца в процессе его двухполярного несимметричного импульсного намагничивания-перемагничивания измерялась в проходном соленоиде прибора ИМИ-И. Это позволило исследовать не только стандартные магнитные характеристики индукции, а также и величины индукции, соответствующие важным точкам, взятым на петле магнитного гистерезиса, и расчетные параметры.

Для дальнейшего исследования на выявление пригодности для импульсного магнитного контроля качества закалки инструментальной углеродистой стали У8А были рассмотрены следующие информативные параметры, связанные с магнитной индукцией (рисунок 1):

- максимальная магнитная индукция B_m ;
- остаточная магнитная индукция B_r ;
- магнитная индукция при максимальной амплитуде размагничивающего импульса B_{mp} ;
- разность $\delta_{B_{mp}-B_r}$ между магнитной индукцией при максимальной амплитуде размагничи-

вающего импульса и остаточной магнитной индукцией;

– магнитная индукция $B_{\delta mH}$ при напряженности магнитного поля, соответствующего максимальной разности δ_{mH} вдоль оси H между начальной кривой намагничивания и первой частью ниспадающей ветви.

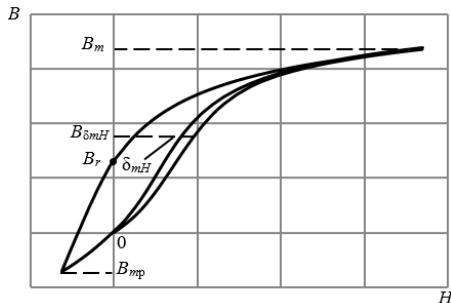


Рисунок 1 – Информативные параметры, связанные с магнитной индукцией

На рисунке 2 представлены зависимости величин, связанных с магнитной индукцией, измеренные в разомкнутой магнитной цепи по несимметричной петле магнитного гистерезиса, от температуры закалки испытуемых образцов стали У8А.

Рассматриваемые параметры были взяты в относительных единицах от соответствующих величин для незакаленного состояния. Такой подход к представлению результатов эксперимента позволяет не только оценить пригодность того или иного магнитного параметра для импульсного магнитного контроля качества термообработки, но и легко оценить чувствительность к температуре закалки.

Как видно из рисунка 2, для всех взятых по петле магнитного гистерезиса параметров, связанных с магнитной индукцией, наблюдается заметное изменение величин в области температур закалки, вызывающих важные структурные превращения и приводящих к повышению твердости инструментальной углеродистой стали У8А. Наиболее чувствительной к структурным превращениям при закалке является остаточная магнитная индукция B_r – в интервале изменения температур закалки от 700 до 790 °С ее величина изменяется приблизительно в 3 раза.

Дальнейшее увеличение температуры нагрева под закалку приводит к уменьшению величины остаточной магнитной индукции B_r . Неоднозначная зависимость этого параметра от температуры термообработки не позволяет использовать B_r для контроля качества закалки инструментальной углеродистой стали У8А, возможно лишь выявление недогрева при закалке.

Величины магнитной индукции при максимальной амплитуде размагничивающего импульса B_{mp} и магнитной индукции $B_{\delta mH}$ при напряженности магнитного поля, соответствующего максимальной разности δ_{mH} вдоль оси H между

начальной кривой намагничивания и первой частью ниспадающей ветви, с ростом температуры нагрева под закалку до 790 °С уменьшаются приблизительно на 40 % и 30 % соответственно, а дальнейшее увеличение температуры нагрева под закалку не приводит к изменению величин этих параметров, что позволяет использовать их только для выявления незакаленных изделий из стали У8А.

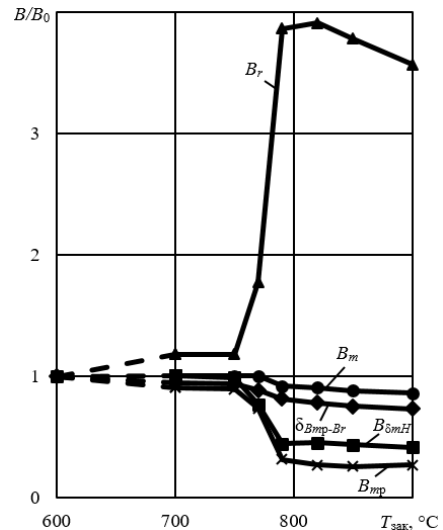


Рисунок 2 – Зависимость параметров магнитной индукции стали У8А от температуры нагрева под закалку в относительных единицах

Максимальная магнитная индукция B_m практически не изменяет свое значение с увеличением температуры нагрева под закалку до 760 °С, а затем плавно уменьшается с дальнейшим ростом температуры термообработки стали У8А.

Неоднозначная зависимость остаточной магнитной индукции B_r , нечувствительность магнитной индукции при максимальной амплитуде размагничивающего импульса B_{mp} и магнитной индукции $B_{\delta mH}$ при напряженности магнитного поля, соответствующего максимальной разности δ_{mH} вдоль оси H между начальной кривой намагничивания и первой частью ниспадающей ветви, в области температур свыше 790 °С, низкая (менее 15 % во всем диапазоне изменения температур) чувствительность максимальной магнитной индукции B_m к изменению температуры нагрева под закалку, не позволяют использовать эти параметры для импульсного магнитного контроля качества термообработки инструментальной углеродистой стали У8А.

Разность $\delta_{B_{mp}-B_r}$ между магнитной индукцией при максимальной амплитуде размагничивающего импульса и остаточной магнитной индукцией является наиболее оптимальным из рассмотренных параметром, связанным с магнитной индукцией, для импульсного магнитного контроля качества закалки инструментальной углеро-

дистой стали У8А. Для этой величины наблюдается однозначный ход зависимости от температуры нагрева под закалку, изменение величины $\delta_{Втр-Вг}$ с ростом температуры в области структурных превращений происходит со скоростью около 15 % на 100 °С.

Литература

1. ГОСТ 1435–99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общетехни-

ческие технические условия. – Введ. 2001.09.01. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 21 с.

2. Лахтин, Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М. : Машиностроение. 1980. – 493 с.

3. Короткевич, З.М. Прибор для измерения магнитной индукции ферромагнитных стержней в процессе импульсного намагничивания- перемагничивания / З.М. Короткевич и [др] // Приборостроение-2013: материалы 6-й МНТК; редкол.: О.К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013, с. 70–72.

УДК 541.136

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ГРАФЕНА ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Шаронов Г.В., Корякин С.В., Гусаков Г.А., Михалёнок Е.В.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Миниатюризации электронных устройств и повышение их срока функционирования требует создания эффективных и компактных источников тока и накопителей энергии. Использование графена, обладающего высокой удельной поверхностью и высокой проводимостью, в качестве добавки на электродах химических источников тока позволяет существенно повысить кинетику электрохимических процессов.

В зависимости от исходного материала, условий синтеза, оксид графена и графен могут обладать различными физическими свойствами. Существует несколько методов получения графена [1]. Наиболее распространенным является последовательное получение оксида графена и его восстановление до графена.

Для получения оксида графена в основном используют хорошо отработанные методы Броди, Штауденмайера и Хаммерса [2]. Сущность этих методов заключается в длительной обработке графита в присутствии HNO_3 и сильного окислителя, такого как KClO_3 или KMnO_4 . При этом последний метод получения и его модификации является наиболее распространенным и позволяет получать оксид графена с различными физическими свойствами [3]. Процесс восстановления графена имеет важное значение, поскольку при этом процессе уникальные свойства графена восстанавливаются полностью или частично. Полное восстановление графена из оксида графена для применения в химических источниках тока является необязательной задачей [4].

Целью настоящей работы является отработка методики получения графенового материала для использования в химических источниках тока, изучение процессов получения, исследование свойств полученного материала.

В качестве исходного материала использовались препараты коллоидно-графитовые НПК и

водный В-1 производства ООО "ГРАФИТ" (Воскресенск). НПК и В-1 представляют собой стабилизированную водную суспензию высокодисперсного термографита с добавками стабилизатора и пленкообразующих веществ. Исходным материалом для них служит искусственный графит, получаемый по технологии термообработки из каменноугольного антрацита.

В качестве методов исследования использовались РЭМ, ИК- спектроскопия, КР-спектроскопия.

Процесс подготовки материала для получения оксида графена можно разделить на две стадии. Первая стадия включала в себя химическую обработку исходного материала: коагуляция исходной суспензии в при температуре ниже +5 °С, последующий отжиг при 800 °С в течение 5 часов, кипячение в HCl в течение 2 часов и промывка в воде.

Вторая стадия (интеркаляция) – отжиг в серной кислоте в муфельной печи при температуре 600 °С в течение 3 часов.

Окисление проводилось методом Хаммерса: взрыв интеркалированного графита в присутствии NaNO_2 , H_2SO_4 и H_3PO_4 с добавлением KMnO_4 , перекиси водорода и NaOH на завершающей стадии процесса. Завершительными этапами окисления были центрифугирование, промывка, сушка.

Восстановление графена проводился термическим методом - отжиг в вакуумной печи при температурах выше 1000 °С в течение 1 часа.

На рисунке 1 представлено изображение поверхности полученного оксида графена. Материал представлял собой ажурную, пористую массу, составленную из тонких слоев оксида графена, беспорядочно ориентированных друг относительно друга. Насыпная плотность материала была в несколько раз меньше, чем исходного