

Неразрушающий Контроль и Диагностика



ISSN 2224-1752



9 772224 175000

Электронная версия журнала
<http://science.by/nauka/13/>

№ 4 2013

Главный редактор

Мигун Николай Петрович

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

Редакционная коллегия:

№ 4, 2013

Аскирко С.Д.
Боровский В.В.
Венгринович В.Л.
Войцехович Л.Н.
Горбаш В.Г.
Жагора Н.А.
Зуйков И.Е.
Ивлев С.А.
Кулагин В.Н.
Лухвич А.А.
Матюк В.Ф.
Мелешко А.Л.
Пантелеенко Ф.И.
Рудницкий В.А.
Сергеев С.С.

Научно-практический журнал

*Электронная версия журнала
на сайте science.by*

Учредители

Белорусская ассоциация
неразрушающего контроля
и технической диагностики,
*республиканское общественное
объединение*

Институт прикладной физики
НАН Беларуси,
государственное научное учреждение

«Диатех»,
*республиканское научно-производственное
унитарное предприятие*

*Министерство информации Республики Беларусь 4 ноября 2011 г.
зарегистрировало журнал «Неразрушающий контроль и диагностика»
в Государственном реестре средств массовой информации за № 1488.*

*Журнал входит в «Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований».*

*Журнал НКД зарегистрирован в международном каталоге научных
журналов со свободным доступом к полным текстам.
DOAJ (Directory of Open Access Journals, <http://www.doaj.org>).*

Неразрушающий контроль и диагностика
(Электронная версия журнала: <http://science.by/nauka/13/>)

Научно-практический журнал

Издатели

*Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики НАН Беларуси»*

*Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
«Диатех»*

Адрес редакции:
220072 г. Минск, ул. Академическая, 16, к. 314.
Тел.: +375 17 284 0686,
факс: +375 17 284 1740,
e-mail: diatech@tut.by
URL <http://science.by/nauka/13/>

Подписной индекс (ведомственная подписка) 00844.

Подписано в печать 24.12.2013.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Cambria.
Усл. печ. л. 6,98.
Тираж 100 экз. Заказ 6.

Отпечатано в типографии ООО «Смэлток».
Лицензия ЛП №02330/0494212 от 03.04.2009.
Ул. Радиальная, 36, оф. 103, 220070, Минск.

Тексты публикуются в авторской версии без редакционных изменений.

ISSN 2224-1752 (печатная версия журнала).
ISSN 2224-5502 (электронная версия журнала).

© Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики НАН Беларуси», 2013

© Республиканское научно-производственное
унитарное предприятие «Диатех», 2013

50 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ

Н.П. Мигун

Институт прикладной физики НАН Беларуси,

Первые системные исследования в области физики неразрушающего контроля начались в Беларуси в 60-х годах прошлого века. Их инициирование в республике неразрывно связано с именем выдающегося физика-магнитолога, лауреата Государственных премий СССР и БССР, Рокфеллеровской премии и премии имени М.В. Ломоносова, академика АН БССР Н.С. Акулова. Его основополагающие работы в области ферромагнетизма заложили основы научного направления по магнитным методам неразрушающего контроля.

Отдел физики неразрушающего контроля – первое в республике самостоятельное научное подразделение в этой области, впоследствии преобразованное в Институт прикладной физики. Он был создан Президиумом АН БССР по инициативе Н.С. Акулова 15 октября 1963 г. Вскоре, учитывая важность проводимых Отделом работ, Совет Министров БССР своим постановлением № 441 от 25.09.1964 г. утвердил его головной организацией, возложив общее научное руководство работами в области разработки и создания методов и средств неразрушающего контроля.

Сначала основная научная тематика Отдела определялась, прежде всего, теоретическими исследованиями прогнозирования и предупреждения разрушения металлов (статистическая дислокационная теория поликристаллов, явления ползучести и релаксации и т.д.). Затем под руководством и при участии академика Н.С. Акулова было также сформировано научное направление по магнитной толщинометрии и ферритометрии. В начале 70-х годов были заложены основы научного направления по взаимодействию импульсного магнитного поля с ферромагнитными материалами, был разработан импульсный магнитный метод неразрушающего контроля. Развернулись работы по развитию магнитографического, термоэлектрического и других методов контроля.

Под руководством члена-корреспондента Н.Н. Зацепина, возглавившего Отдел физики неразрушающего контроля в 1971 году, был создан ряд новых научных направлений и лабораторий, что дало мощный толчок в развитии новых методов и средств неразрушающего контроля.



Рис. 1. Сотрудники Отдела физики неразрушающего контроля (1975 г.).
На переднем плане Акулов Н.С. (справа) и Зацепин Н.Н. (слева).

В 1980 г. Отдел физики неразрушающего контроля был преобразован в Институт прикладной физики АН БССР, первым директором которого стал член-корреспондент Н.Н. Зацепин, внесший большой вклад в создание и развитие института. В последующие годы институтом руководили член-корреспондент НАН Беларуси В.М. Артемьев (с 1987 по 1993 гг.) и академик НАН Беларуси П.П. Прохоренко (с 1993 по 2004 гг.). Трудно переоценить заслуги В.М. Артемьева и П.П. Прохоренко в деле сохранения и развития научного потенциала института в сложнейших условиях того времени, на которое выпало их руководство институтом. С 2005 г. институтом руководит д.ф.-м.н. Н.П. Мигун.

Если первые годы деятельность Отдела физики неразрушающего контроля редко выходила за рамки развития магнитных, электромагнитных и термоэлектрических методов контроля, то в последующие годы спектр научных исследований и области применения разработок института постоянно расширялись. В Институте прикладной физики были инициированы и получили широкую известность иссле-

дования в области ультразвуковых, радиоволновых и капиллярных методов контроля, рентгеновской томографии.

За последние 25 лет сотрудники института защитили 15 докторских диссертаций. Сложилась известная как в республике, так и далеко за ее пределами научная школа по физике неразрушающего контроля. Сегодня Институт прикладной физики НАН Беларуси – известный в мире научный центр, в составе которого 14 докторов и 18 кандидатов наук, решающий многоплановые и многоотраслевые задачи неразрушающего контроля и технической диагностики, координирующий фундаментальные и прикладные исследования в этом направлении в Республике Беларусь. Основное научное направление ИПФ НАН Беларуси – физика неразрушающего контроля и технической диагностики, создание новых конкурентоспособных методов, средств и информационных технологий неразрушающего контроля, технической диагностики, мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса промышленных объектов.

В настоящее время в ИПФ НАН Беларуси активно развиваются следующие научные направления физики неразрушающего контроля. Это импульсный магнитный метод контроля физико-механических свойств и структуры материалов; методы магнитной толщинометрии покрытий, измерения магнитных полей и остаточной намагниченности материалов; термоэлектрический метод контроля; вихретоковые методы дефектоскопии и структуроскопии; методы контроля магнитных характеристик магнитомягких материалов; метод магнитошумовой структуроскопии; контактно-динамический метод контроля физико-механических характеристик материалов; методы радиоволновой дефектоскопии и толщинометрии; методы ультразвуковой дефектоскопии и структуроскопии, а также толщинометрии поверхностно упрочненных слоев; капиллярный метод контроля; методы реконструкции изображений в рентгеновской томографии; методы обработки динамических изображений с движущимися объектами на сложном фоне.

Например, традиционно сильным со дня основания института является направление магнитной толщинометрии. Нелишне отметить, что магнитный толщиномер Акулова (рис. 2,а) широко использовался в различных отраслях промышленности для измерения толщины немагнитных покрытий в течение несколько десятилетий. На рис. 2,б представлен разработанный в юбилейном году пондеромоторный электронный толщиномер покрытий для контроля объектов в труднодоступных местах

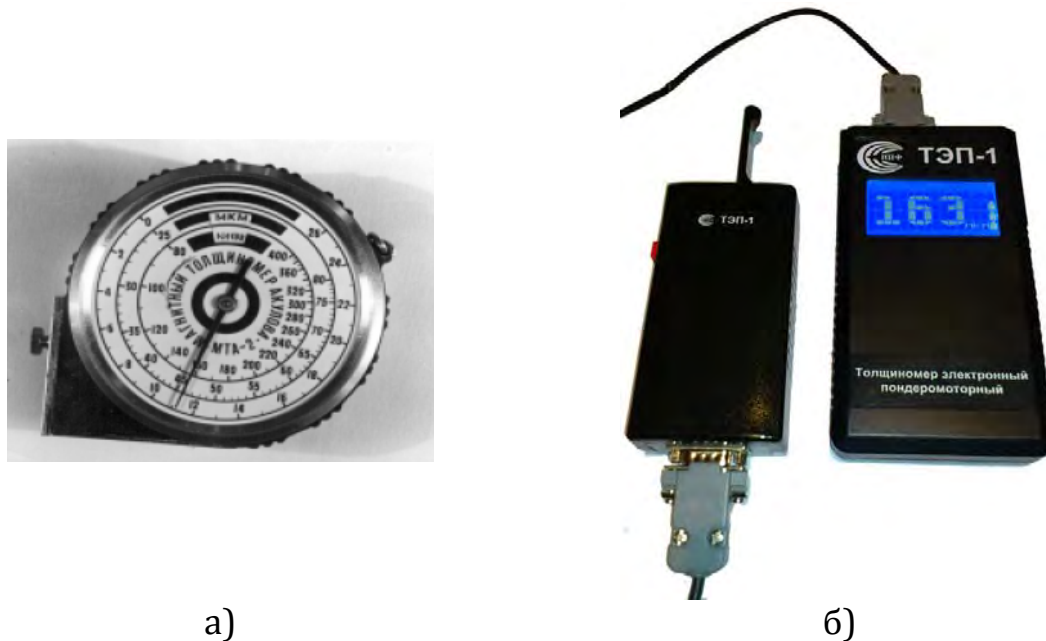


Рис. 2. Магнитный толщиномер Акулова МТА-2 – 1973 г. (а) и пондеромоторный электронный толщиномер покрытий для контроля объектов в труднодоступных местах – 2013 г. (б).

Последние 15 лет в институте успешно разрабатываются эталоны постоянных и переменных магнитных полей, эталонная аппаратура для воспроизведения, хранения и передачи размера единиц удельных магнитных потерь и магнитной индукции в электротехнической стали. Несколько лет назад начались и все шире развиваются работы по созданию востребованных сегодня новейших систем мониторинга технического состояния несущих конструкций уникальных и высотных зданий и сооружений (рис. 3).

Разрабатываются вероятностные методы прогнозирования остаточного ресурса сложных технических объектов, принципы построения систем непрерывного мониторинга конструкций по данным многосенсорной информации, а также основанные на них новые технические средства диагностирования и мониторинга технического состояния несущих конструкций уникальных строительных объектов. В институте разработаны и успешно внедряются системы мониторинга технического состояния несущих конструкций уникальных строительных объектов республики (культурно-спортивный комплекс «Минск-Арена», строящийся спортивный комплекс Фристайл-Центр, культурно-спортивный комплекс «Чижовка-Арена», высотное здание «Парус» Бизнес-Центра в г. Минске и др.) (рис. 3).



а)

б)

Рис. 3. Система мониторинга технического состояния несущей конструкции строящегося спортивного комплекса Фристайл-Центр (г. Минск); а – металлоконструкция объекта; б – установленный датчик деформаций.

Научные достижения института отмечены Государственной премией БССР (Н.С. Акулов, Н.Н. Зацепин, М.А. Мельгуй), премией Совета Министров СССР (М.А. Мельгуй, В.Ф. Матюк), Международной премией Баркгаузена (В.Л. Венгринович), несколькими премиями НАН Беларуси (П.П. Прохоренко, Н.П. Мигун, В.Л. Венгринович, А.А. Лухвич, В.Ф. Матюк).

Институт поддерживает активные международные связи, является одним из учредителей Всемирной федерации центров неразрушающего контроля. Директор института Н.П. Мигун руководит Белорусской ассоциацией неразрушающего контроля и технической диагностики, являющейся одним из членов Европейской федерации неразрушающего контроля (EFNDT). Особенно активно и плодотворно идет сотрудничество с коллегами из крупнейших научно-исследовательских центров в области неразрушающего контроля России и Германии.

В течение нескольких десятилетий в институте ведется подготовка кадров высшей квалификации через аспирантуру и докторантуру, работает единственный в Беларуси докторский совет по защите диссертаций по специальностям в области неразрушающего контроля.

В ИПФ НАН Беларуси работают две аккредитованные Госстандартом РБ лаборатории. Одна из них – испытательная лаборатория

неразрушающего контроля, сотрудники которой выполняют работы по техническому диагностированию опасных производственных объектов на основании лицензии на осуществление деятельности в области промышленной безопасности. Другая – поверочная лаборатория, осуществляющая поверку изготавливаемых и внедряемых средств измерений магнитных полей и остаточной намагниченности, толщиномеров покрытий.

Кроме того, при институте создан Технический комитет по стандартизации № 10 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» с целью проведения работ по государственной, межгосударственной и международной стандартизации в области неразрушающего контроля и технической диагностики.

В Научно-методическом центре института проводятся научно-практические семинары для специалистов аккредитованных лабораторий с целью подготовки к квалификационным экзаменам в соответствии с требованиями СТБ EN 473-2011 и их последующей сертификации по трехуровневой европейской системе по ряду методов неразрушающего контроля.

В течение многих лет институт также оказывает помощь университетам (Белорусско-Российский университет, Белорусский национальный технический университет, Белорусский государственный университет транспорта и др.) в подготовке инженерных кадров в области неразрушающего контроля и технической диагностики. Эта работа проводится в рамках долгосрочных договоров с университетами страны, которые готовят специалистов соответствующего профиля.

В настоящее время важнейшей задачей института является выполнение и координация фундаментальных и прикладных научных исследований в рамках подпрограммы «Техническая диагностика» государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия» на 2011-2015 гг., по которой институт является головной организацией в стране. Выполняются также задания ряда государственных научно-технических программ и программ Союзного государства, проводятся научные исследования в рамках проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. Ежегодно учеными института выполняются десятки хозяйственных договоров и контрактов с организациями и предприятиями Республики Беларусь, стран ближнего и дальнего зарубежья по разработке и внедрению средств неразрушающего контроля и технической диагностики.

Прикладные разработки института характеризуются широким спектром решаемых научно-технических задач и находят применение в энергетике, металлургии, авто- и тракторостроении, моторостроении, строительстве, сварочном производстве, нефтехимии, железнодорожном и автомобильном транспорте, авиастроении, ремонтных службах, коммунальном хозяйстве, медицине и др.

Институт гордится своими ветеранами, которые и сегодня вносят большой вклад в развитие методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики. Среди них главные научные сотрудники, члены-корреспонденты Н.Н. Зацепин и В.М. Артемьев, заместитель директора по научной работе к.т.н. С.А. Новиков, заведующие лабораториями, доктора наук И.И. Брановицкий, В.Л. Венгринович, А.А. Лухвич, В.Ф. Матюк и В.А. Рудницкий, главные научные сотрудники, доктора наук А.П. Гусев, М.А. Мельгуй, А.Р. Баев, ведущие и старшие научные сотрудники В.Н. Бусько, Н.В. Деленковский, Г.Е. Коновалов, Н.В. Кременькова, В.Д. Пиунов, И.В. Стойчева, А.В. Чернышев, В.И. Шарандо, А.К. Шукевич и др.

В институт приходит творческая, одаренная молодежь, без которой уже трудно представить себе дальнейшее успешное развитие научных направлений института. Это защитившийся в 2012 году самый молодой в НАН Беларуси доктор наук А.П. Крень, научные сотрудники В.А. Бурак и А.Л. Лукьянов, аспиранты Л.Л. Кохан, И.Т. Скурту, Е.И. Гнутенко и др.

Полувек юбилей институт встречает в обстановке проводимых в стране преобразований, направленных на усиление инновационного развития экономики, повышение качества и конкурентоспособности продукции, то есть в условиях, когда значение и востребованность разработок института – современных методов и средств неразрушающего контроля качества – будет неуклонно возрастать.

Статья поступила в редакцию 05.11.2013

**УЛУЧШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕР ГРАДИЕНТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТИПА МГПД**
*Improving metrological characteristics of МГПД type magnetic field
gradient standards*

Матюк В.Ф.
Matyuk V.F.

Показана возможность увеличения протяженности зоны однородности магнитного поля и постоянства градиента магнитного поля в рабочих областях меры градиента магнитного поля типа МГПД. Приводятся методика устранения зависимости магнитного поля в рабочих зонах меры от частоты моделируемых импульсов и температуры окружающей среды и методика моделирования смещения контролируемого листа относительно магниточувствительных элементов поверяемого средства контроля.

The possibility of increasing the extent of magnetic field homogeneity and the constancy of magnetic field gradient within working spaces of МГПД type magnetic field gradient standard is discussed. The procedure of removing the magnetic field dependency on simulated pulses frequency and ambient temperature within standard working areas and the procedure of simulating controlled sheet offset in regard to magnetosensitive elements of verifying devices are given.

Введение

Разработанная в Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси мера градиента магнитного поля типа МГПД создает в областях расположения магниточувствительных элементов преобразователей поверяемых средств импульсного магнитного контроля магнитные поля с постоянным градиентом, причем величина и знак поля, воздействующего на соответствующий магниточувствительный элемент, совпадают с величиной и знаком поля от листа, локально намагниченного с двух сторон [1, 2].

Расширение возможностей средств неразрушающего контроля (установок типа ИМПОК [3]), поверяемых с помощью меры МГПД, не может быть обеспечено без соответствующего улучшения ее метрологических характеристик.

Среди новых требований к мере МГПД можно выделить необходимость увеличения протяженности зоны однородности магнитного поля и постоянства градиента магнитного поля в ее рабочих областях, устранение зависимости формируемого поля от частоты пропускаемых через меру импульсов тока и от температуры окружающей среды, необходимость моделирования смещения контролируемого листа относительно магниточувствительных элементов поверяемого средства контроля.

ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ ОДНОРОДНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПОСТОЯНСТВА ГРАДИЕНТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧИХ ОБЛАСТЯХ МЕРЫ

Мера МГПД состоит из трех пар катушек (рис. 1, б из [2]): $L_1 - L_2$, $L_3 - L_4$, $L_5 - L_6$ со средним радиусом a_1 для создания однородных магнитных полей противоположной полярности в рабочих областях I и II и трех пар катушек: $L_7 - L_8$, $L_9 - L_{10}$, $L_{11} - L_{12}$ со средним радиусом a_2 для создания в рабочих областях I и II полей с постоянным градиентом (все катушки системы соосны). Расстояние между парами катушек равно $2h_1$, а между катушками в парах – h_2 . Катушки в парах системы для создания однородных полей противоположных полярностей соединены между собой последовательно-встречно, а катушки соседних пар – последовательно-согласно. Катушки системы для создания полей с постоянным градиентом соединены между собой последовательно-встречно.

При расчете меры МГПД [1, 2] учитывалось влияние лишь четырех катушек, ближайших к рабочей области меры. Однако при малых значениях расстояния h_2 между катушками в парах это может привести к недопустимо большому непостоянству градиента магнитного поля вдоль рабочей области (расстояния $2h_1$ и h_2 определяются конструкцией преобразователя поверяемого средства: величина $2h_1$ должна быть больше длины феррозонда, а h_2 ограничена зазором между элементами преобразователя установок типа ИМПОК). Уменьшить это непостоянство при сохранении симметрии меры можно за счет изменения соотношения числа витков N_k и N_c между крайними и двумя центральными катушками меры отдельно для каждой из составляющих ее систем (системы для создания однородного магнитного поля и системы для создания магнитного поля с постоянным градиентом) [4].

Рассмотрим систему катушек для создания в каждой из рабочих областей меры однородного магнитного поля (катушки $L_1 - L_6$). Будем считать, что поле катушек $L_1 - L_6$ создается витками со средним радиусом a_1 , лежащими на расстоянии $h_1 + h_2$, h_1 , $-h_1$, $-(h_1 + h_2)$, $-(3h_1 + h_2)$, $-(3h_1 + 2h_2)$ соответственно от центра рабочей области (точка 0 на оси z на рис. 1, б из [2]). Обозначим число витков крайних катушек меры (катушки L_1, L_2, L_5 и L_6) через $N_{1к}$, число витков центральных катушек (катушки L_3, L_4) через $N_{1ц}$, а составляющую поля от i -той катушки через H_i , где $i = 1, 2, \dots, 6$. За положительное направление магнитного поля принимаем направление, совпадающее с направлением оси z . Поля крайних катушек, удаленных от соответствующей рабочей области (в рассматриваемом случае – катушек L_5, L_6), ослабляют поля катушек центральной пары (L_3, L_4) в этой области. Поэтому, и в силу симметрии задачи для двух рабочих областей, при одной величине тока через катушки $L_1 - L_6$, катушки центральной пары должны иметь большее число витков по сравнению с числом витков катушек крайних пар.

Воспользуемся соотношениями (1) – (6) из [2]. Тогда с учетом направления включения катушек и их расположения относительно рабочей зоны

$$H_1 = -\frac{IN_{1к}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)F_{n+1}(\alpha_2) \left(\frac{z}{a_1}\right)^n, \quad (1)$$

$$H_2 = \frac{IN_{1к}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)F_{n+1}(\alpha_1) \left(\frac{z}{a_1}\right)^n, \quad (2)$$

$$H_3 = \frac{IN_{1ц}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_1) \left(\frac{z}{a_1}\right)^n, \quad (3)$$

$$H_4 = -\frac{IN_{1ц}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_2) \left(\frac{z}{a_1}\right)^n, \quad (4)$$

$$H_5 = -\frac{IN_{1к}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_5) \left(\frac{z}{a_1}\right)^n, \quad (5)$$

$$H_6 = \frac{IN_{1к}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_6) \left(\frac{z}{a_1}\right)^n, \quad (6)$$

где

$$F_n(\alpha_i) = \left(2 - \frac{1}{n}\right) \frac{\alpha_i}{1 + \alpha_i^2} F_{n-1}(\alpha_i) - \left(1 - \frac{1}{n-1}\right) \frac{1}{1 + \alpha_i^2} F_{n-2}(\alpha_i), \quad (7)$$

$$F_n(-\alpha_i) = (-1)^{n+1} F_n(\alpha_i), \quad (8)$$

$$\alpha_1 = \frac{h_1}{a_1}, \alpha_2 = \frac{h_1 + h_2}{a_1}, \alpha_5 = \frac{3h_1 + h_2}{a_1}, \alpha_6 = \frac{3h_1 + 2h_2}{a_1}. \quad (9)$$

Результирующее поле

$$H_I = \frac{IN_{1к}}{2a_1} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n \left\{ \left[\frac{N_{1ц}}{N_{1к}} + (-1)^n \right] [F_{n+1}(\alpha_1) - F_{n+1}(\alpha_2)] - \right. \\ \left. - F_{n+1}(\alpha_5) + F_{n+1}(\alpha_6) \right\} \left(\frac{z}{a_1}\right)^n. \quad (10)$$

Максимальная однородность магнитного поля, создаваемого рассматриваемой системой катушек, будет достигнута в том случае, если в выражении (10) все члены, зависящие от z , будут равны нулю. С точностью до членов третьего порядка относительно z_1/a_1 это условие будет выполнено, если

$$\left[\frac{N_{1ц}}{N_{1к}} - 1 \right] [F_2(\alpha_2) - F_2(\alpha_1)] + F_2(\alpha_5) - F_2(\alpha_6) = 0 \quad (11)$$

и

$$\left[\frac{N_{1ц}}{N_{1к}} + 1 \right] [F_3(\alpha_2) - F_3(\alpha_1)] - F_3(\alpha_5) + F_3(\alpha_6) = 0. \quad (12)$$

Из (11) следует, что

$$N_{1ц} = N_{1к} \left[1 + \frac{F_2(\alpha_6) - F_2(\alpha_5)}{F_2(\alpha_2) - F_2(\alpha_1)} \right]. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12), получим

$$2 + \frac{F_2(\alpha_6) - F_2(\alpha_5)}{F_2(\alpha_2) - F_2(\alpha_1)} + \frac{F_3(\alpha_6) - F_3(\alpha_5)}{F_3(\alpha_2) - F_3(\alpha_1)} = 0. \quad (14)$$

Из (9) видно, что

$$\alpha_5 = 2\alpha_1 + \alpha_2, \quad \alpha_6 = \alpha_1 + 2\alpha_2. \quad (15)$$

С учетом (15) выражение (14) примет вид

$$2 + \frac{F_2(\alpha_1 + 2\alpha_2) - F_2(2\alpha_1 + \alpha_2)}{F_2(\alpha_2) - F_2(\alpha_1)} + \frac{F_3(\alpha_1 + 2\alpha_2) - F_3(2\alpha_1 + \alpha_2)}{F_3(\alpha_2) - F_3(\alpha_1)} = 0, \quad (16)$$

где

$$F_2(\alpha_i) = \frac{3}{2} \frac{\alpha_i}{(1 + \alpha_i^2)^{5/2}}, \quad F_3(\alpha_i) = \frac{4\alpha_i^2 - 1}{2(1 + \alpha_i^2)^{7/2}}. \quad (17)$$

Решая уравнение (17) численными методами, по заданному α_1 можно найти α_2 , затем по (15) – α_5 и α_6 , а по (13) – соотношение витков в соответствующих катушках меры. Результаты расчета представлены на рис. 1, а, б. По приведенным зависимостям при заданных значениях h_2 и h_1 можно найти средний радиус a_1 и соотношение $N_{1ц}/N_{1к}$ витков центральных и крайних катушек.

Так как в большинстве практических случаев α_5 и α_6 заведомо больше 1 и близки друг к другу по величине, то

$$F_3(\alpha_5) - F_3(\alpha_6) \cong 0. \quad (18)$$

Тогда конфигурация катушек $L_1 - L_6$ может быть выбрана из условия

$$F_3(\alpha_1) = F_3(\alpha_2), \quad (19)$$

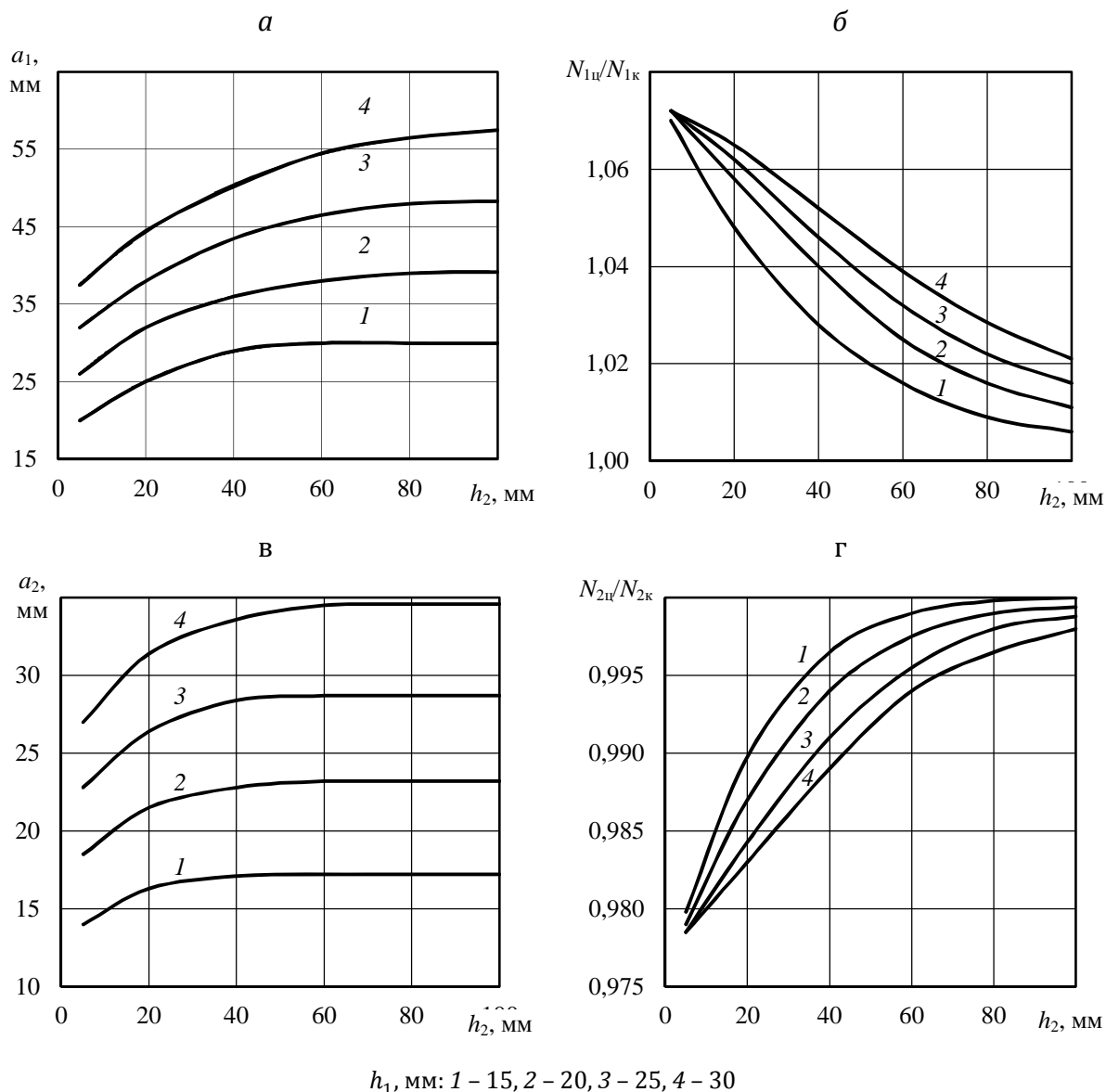


Рис. 1. Зависимость средних радиусов и соотношений витков центральных и крайних катушек от расстояний между катушками в парах и парами катушек

которое совпадает с условием (9) из [2] при учете полей от четырех ближайших катушек $L_1 - L_4$. При этом соотношение витков центральных и крайних катушек по-прежнему определяется выражением (13).

Рассмотрим теперь систему катушек $L_7 - L_{12}$ со средним радиусом a_2 для создания в рабочих областях меры полей с постоянным градиентом.

Введем обозначения

$$\alpha_3 = \frac{h_1}{a_2}, \quad \alpha_4 = \frac{h_1 + h_2}{a_2}, \quad \alpha_7 = \frac{3h_1 + h_2}{a_2}, \quad \alpha_8 = \frac{3h_1 + 2h_2}{a_2}. \quad (20)$$

Обозначим число витков крайних катушек через $N_{2к}$ (катушки L_7, L_8, L_{11} и L_{12}), число витков центральных катушек через $N_{2ц}$ (катушки L_9 и L_{10}), а составляющую поля от i -той катушки через H_i , где $i = 7, 8, \dots 12$.

Тогда

$$H_7 = \frac{IN_{2к}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)F_{n+1}(\alpha_4) \left(\frac{z}{a_2}\right)^n, \quad (21)$$

$$H_8 = -\frac{IN_{2к}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)F_{n+1}(\alpha_3) \left(\frac{z}{a_2}\right)^n, \quad (22)$$

$$H_9 = \frac{IN_{2ц}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_3) \left(\frac{z}{a_2}\right)^n, \quad (23)$$

$$H_{10} = -\frac{IN_{2ц}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_4) \left(\frac{z}{a_2}\right)^n, \quad (24)$$

$$H_{11} = \frac{IN_{2к}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_7) \left(\frac{z}{a_2}\right)^n, \quad (25)$$

$$H_{12} = -\frac{IN_{2к}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n F_{n+1}(\alpha_8) \left(\frac{z}{a_2}\right)^n. \quad (26)$$

Суммарное поле

$$H_{II} = \frac{IN_{2к}}{2a_2} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(-1)^n \left\{ \left[\frac{N_{2ц}}{N_{2к}} - (-1)^n \right] [F_{n+1}(\alpha_3) - F_{n+1}(\alpha_4)] + \right. \\ \left. + F_{n+1}(\alpha_7) - F_{n+1}(\alpha_8) \right\} \left(\frac{z}{a_2}\right)^n. \quad (27)$$

С учетом того, что [2]

$$\frac{\partial F_n(\alpha)}{\partial \alpha} = (n + 1)F_{n+1}(\alpha), \quad (28)$$

градиент напряженности поля системы катушек $L_7 - L_{12}$ в рабочей области будет равен

$$\begin{aligned} \nabla H_{II} = & \frac{IN_{2к}}{2a_2^2} \sum_{n=1}^{\infty} n(n + 1)(-1)^n \times \\ & \times \left\{ \left[\frac{N_{2ц}}{N_{2к}} - (-1)^n \right] [F_{n+1}(\alpha_3) - F_{n+1}(\alpha_4)] + F_n(\alpha_7) - F_n(\alpha_8) \right\} \left(\frac{z}{a_2} \right)^n. \end{aligned} \quad (29)$$

Градиент магнитного поля, создаваемого рассматриваемой системой катушек, будет постоянным вдоль оси рабочей области, если в выражении (29) все члены, зависящие от z , будут равны нулю. С точностью до членов третьего порядка относительно z/a_2 это условие будет выполнено, если

$$\left(\frac{N_{2ц}}{N_{2к}} - 1 \right) [F_3(\alpha_3) - F_3(\alpha_4)] + F_3(\alpha_7) - F_3(\alpha_8) = 0 \quad (30)$$

и

$$\left(\frac{N_{2ц}}{N_{2к}} + 1 \right) [F_4(\alpha_4) - F_4(\alpha_3)] - F_4(\alpha_7) + F_4(\alpha_8) = 0. \quad (31)$$

Из (30) следует, что

$$N_{2ц} = N_{2к} \left[1 - \frac{F_3(\alpha_8) - F_3(\alpha_7)}{F_3(\alpha_4) - F_3(\alpha_3)} \right]. \quad (32)$$

Из (20) видно, что

$$\alpha_7 = 2\alpha_3 + \alpha_4, \quad \alpha_8 = \alpha_3 + 2\alpha_4. \quad (33)$$

Подставив (32) в (31) с учетом (33), получим

$$2 - \frac{F_3(\alpha_3 + 2\alpha_4) - F_3(2\alpha_3 + \alpha_4)}{F_3(\alpha_4) - F_3(\alpha_3)} + \frac{F_4(\alpha_3 + 2\alpha_4) - F_4(2\alpha_3 + \alpha_4)}{F_4(\alpha_4) - F_4(\alpha_3)} = 0, \quad (34)$$

где

$$F_4(\alpha) = \frac{5\alpha(4\alpha^2 - 3)}{8(1 + \alpha^2)^{9/2}}. \quad (35)$$

Решая уравнение (34) численными методами для заданного α_3 , можно найти α_4 , затем по (33) – α_7 и α_8 , а по (32) – соотношение витков в соответствующих катушках меры. Результаты расчета приведены на рис. 1, в, г. По приведенным зависимостям при заданных значениях h_2 и h_1 можно найти средний радиус a_2 и соотношение $N_{2ц}/N_{2к}$ витков центральных и крайних катушек. Следует отметить, что, в отличие от системы $L_1 - L_6$, центральные катушки системы $L_7 - L_{12}$ имеют меньше витков, чем крайние.

Так как в большинстве практических случаев α_7 и α_8 заведомо больше 1 и близки друг к другу по величине, то

$$F_4(\alpha_7) - F_4(\alpha_8) \approx 0. \quad (36)$$

Тогда конфигурация катушек $L_7 - L_{12}$ может быть выбрана из условия

$$F_4(\alpha_7) = F_4(\alpha_8), \quad (37)$$

которое совпадает с условием (13) из [2] при учете полей от четырех ближайших катушек ($L_7 - L_{10}$). При этом соотношение витков центральных и крайних катушек по-прежнему определяется выражением (32).

Относительная неоднородность поля, создаваемого системой катушек $L_1 - L_6$, с точностью до членов пятого порядка относительно z/a_1 может быть определена по формуле

$$\delta_I = \frac{H_I(0) - H_I\left(\frac{z}{a_1}\right)}{H_I(0)} =$$

$$= \frac{4 \left\{ \left(\frac{N_{1Ц}}{N_{1К}} - 1 \right) [F_4(\alpha_1) - F_4(\alpha_2)] - F_4(\alpha_5) + F_4(\alpha_6) \right\} \left(\frac{z}{a_1} \right)^3}{\left(\frac{N_{1Ц}}{N_{1К}} + 1 \right) [F_1(\alpha_1) - F_1(\alpha_2)] - F_1(\alpha_5) + F_1(\alpha_6)} +$$

$$+ \frac{5 \left\{ \left(\frac{N_{1Ц}}{N_{1К}} + 1 \right) [F_5(\alpha_2) - F_5(\alpha_1)] + F_5(\alpha_5) - F_5(\alpha_6) \right\} \left(\frac{z}{a_1} \right)^4}{\left(\frac{N_{1Ц}}{N_{1К}} + 1 \right) [F_1(\alpha_1) - F_1(\alpha_2)] - F_1(\alpha_5) + F_1(\alpha_6)}. \quad (38)$$

При использовании для определения соотношения между α_1 и α_2 выражения (19) величина δ_I увеличивается за счет добавления в числитель формулы (38) члена, содержащего $(z/a_1)^2$,

$$3[F_3(\alpha_6) - F_3(\alpha_5)] \left(\frac{z}{a_1} \right)^2. \quad (39)$$

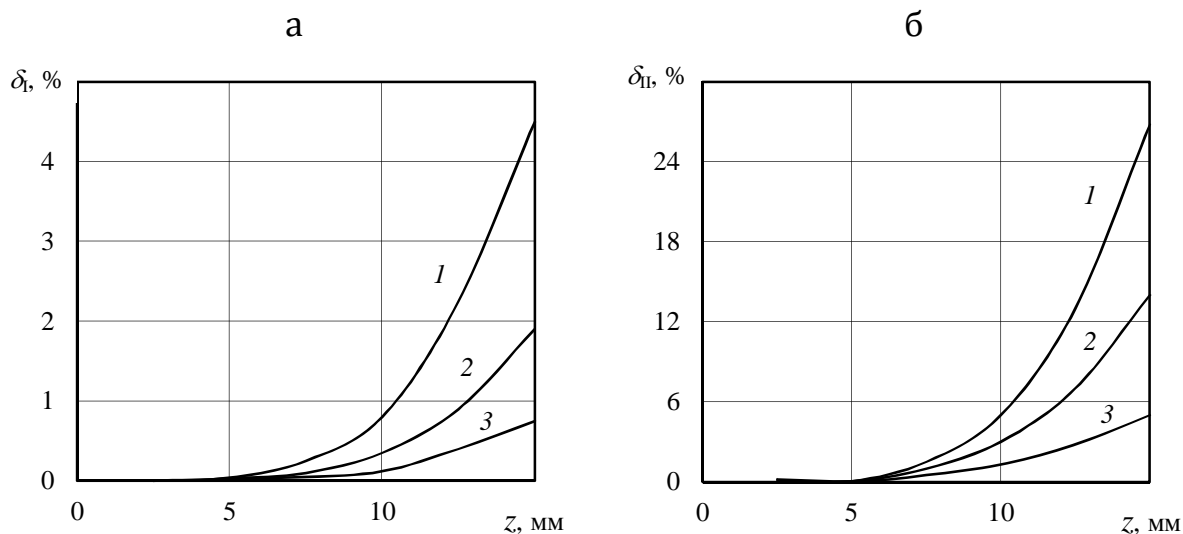
Зависимости величины δ_I от z при разных значениях h_1 и h_2 представлены на рис. 2, а.

Непостоянство вдоль оси рабочей области меры градиента магнитного поля, создаваемого системой катушек $L_7 - L_{12}$, с точностью до членов пятого порядка относительно z/a_2 может быть определено по формуле:

$$\delta_{II} = \frac{\nabla H_{II}(0) - \nabla H_{II}\left(\frac{z}{a_2}\right)}{\nabla H_{II}(0)} =$$

$$= \frac{10 \left\{ \left(\frac{N_{2Ц}}{N_{2К}} - 1 \right) [F_5(\alpha_4) - F_5(\alpha_3)] - F_5(\alpha_7) + F_5(\alpha_8) \right\} \left(\frac{z}{a_2} \right)^3}{\left(\frac{N_{2Ц}}{N_{2К}} + 1 \right) [F_2(\alpha_4) - F_2(\alpha_3)] - F_2(\alpha_7) + F_2(\alpha_8)} +$$

$$+ \frac{15 \left\{ \left(\frac{N_{2Ц}}{N_{2К}} + 1 \right) [F_6(\alpha_3) - F_6(\alpha_4)] + F_6(\alpha_7) - F_6(\alpha_8) \right\} \left(\frac{z}{a_2} \right)^4}{\left(\frac{N_{2Ц}}{N_{2К}} + 1 \right) [F_2(\alpha_4) - F_2(\alpha_3)] - F_2(\alpha_7) + F_2(\alpha_8)}. \quad (40)$$



1 - $h_1 = 30$ мм, $h_2 = 10$ мм; 2 - $h_1 = 30$ мм, $h_2 = 30$ мм; 3 - $h_1 = 40$ мм, $h_2 = 30$ мм

Рис. 2. Относительная неоднородность магнитного поля системы катушек $L_1 - L_6$ (а) и непостоянство градиента магнитного поля системы катушек $L_7 - L_{12}$ (б) вдоль оси меры

При использовании для определения соотношения между α_3 и α_4 выражения (37) величина δ_{II} увеличивается за счет добавления в числителе формулы (40) члена, содержащего $(z/a_2)^2$

$$6[F_4(\alpha_8) - F_4(\alpha_7)] \left(\frac{z}{a_2}\right)^2. \quad (41)$$

Зависимости δ_{II} от z при разных значениях h_1 и h_2 представлены на рис. 2, б.

При создании реальной конструкции меры соответствующие расстояния $2h_1$ и h_2 между катушками меры были выбраны одинаковыми как для системы катушек, создающих однородное поле ($L_1 - L_6$), так и системы катушек, создающих поле с постоянным градиентом ($L_7 - L_{12}$), а радиусы a_1 и a_2 определяли по выражениям (15) и (16) из [2]. При $2h_1 = 60$ мм и $h_2 = 30$ мм $a_1 = 46$ мм и $a_2 = 31$ мм. В соответствии с (13) и (32) и с учетом соотношений между h_1 , h_2 , a_1 , a_2 и α_i число витков в обмотках можно представить в виде

$$\frac{N_{1ц}}{N_{1к}} = 1 + \frac{\frac{3h_1 + 2h_2}{\left[1 + \left(\frac{3h_1 + 2h_2}{a_1}\right)^2\right]^{5/2}} - \frac{3h_1 + h_2}{\left[1 + \left(\frac{3h_1 + h_2}{a_1}\right)^2\right]^{5/2}}}{\frac{h_1 + h_2}{\left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{a_1}\right)^2\right]^{5/2}} - \frac{h_1}{\left[1 + \left(\frac{h_1}{a_1}\right)^2\right]^{5/2}}}. \quad (42)$$

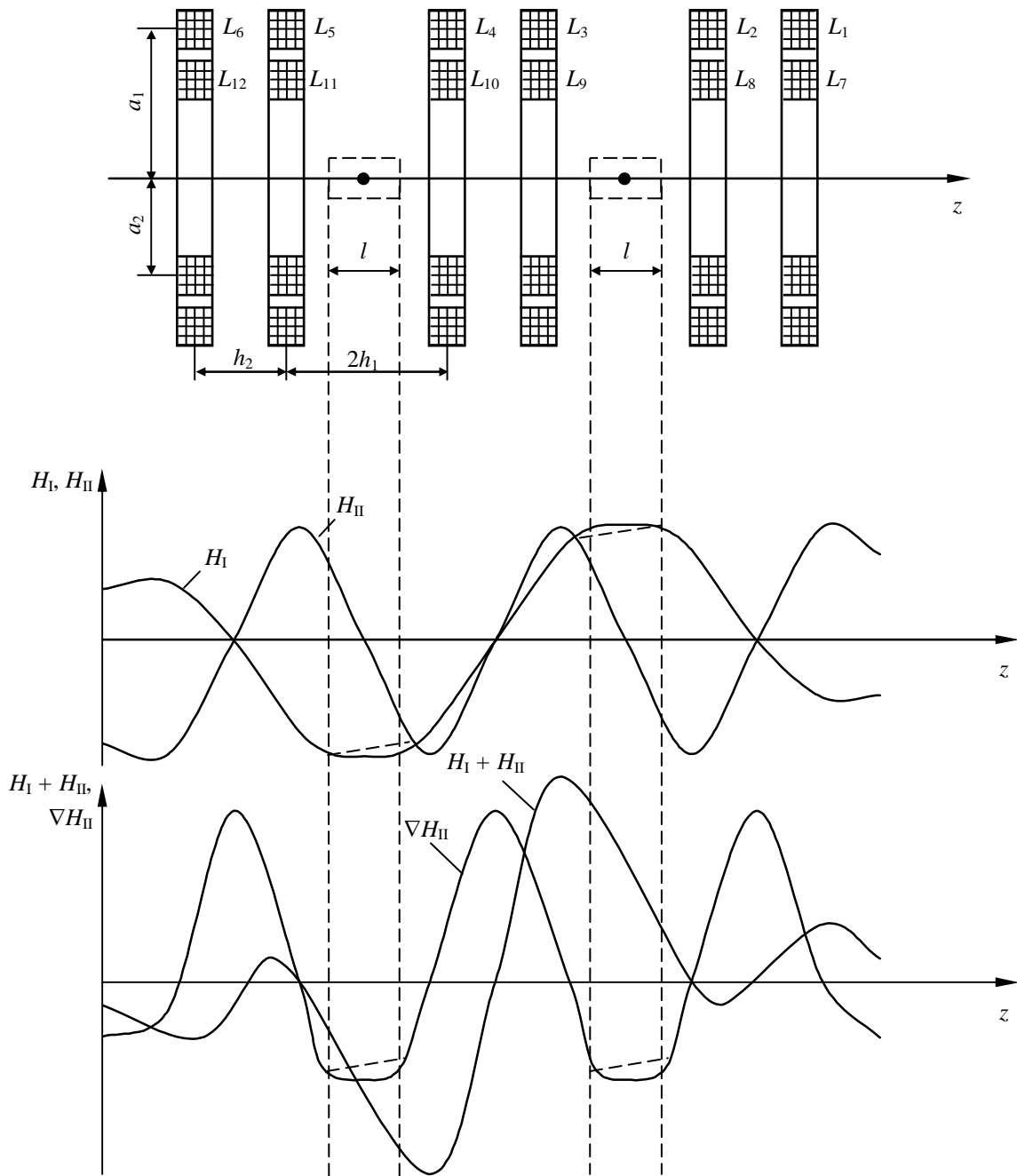
$$\frac{N_{2ц}}{N_{2к}} = 1 - \frac{\frac{a_2^2 - 4(3h_1 + 2h_2)^2}{\left[1 + \left(\frac{3h_1 + 2h_2}{a_2}\right)^2\right]^{7/2}} - \frac{a_2^2 - 4(3h_1 + h_2)^2}{\left[1 + \left(\frac{3h_1 + h_2}{a_2}\right)^2\right]^{7/2}}}{\frac{a_2^2 - (h_1 + h_2)^2}{\left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{a_2}\right)^2\right]^{7/2}} - \frac{a_2^2 - h_1^2}{\left[1 + \left(\frac{h_1}{a_2}\right)^2\right]^{7/2}}}. \quad (43)$$

В реальной мере добавка витков к центральным катушкам L_3 и L_4 системы "поля" составила примерно 5%, а уменьшение количества витков в центральных катушках L_9 и L_{10} системы "градиента" – около 1%. При этом было выбрано следующее число витков: $N_{1к} = 88$, $N_{1ц} = 93$, $N_{2к} = 62$, $N_{2ц} = 61$.

На рис. 3 показано схематическое расположение катушек меры и, в соответствующем масштабе, экспериментально снятое распределение магнитных полей от обеих систем вдоль ее оси.

Пунктирные линии на рис. 3 характеризуют имевшуюся ранее в рабочих областях меры неоднородность поля (кривая H_I) и градиента (кривая ∇H_{II}) при одинаковом числе витков в центральных и крайних катушках. При выборе соотношения витков по формулам (42) и (43) результирующая неоднородность поля на длине 15 мм рабочей области меры (z изменяется от $-7,5$ до $+7,5$ мм) снизилась с 2 до 0,5%, а непостоянство градиента – с 3 до 1%.

Расширение областей однородности поля и постоянства градиента, создаваемых соответствующими системами катушек, снижает зависимость выходного сигнала преобразователей от влияния неточности их пространственного расположения в рабочих областях меры. При этом повышается в целом точность поверки, калибровки и регулировки измерительного тракта средств контроля. Кроме того, расширяются возможности создания меры с более близким расположением рабочих областей друг к другу.



H_1 – поле, создаваемое катушками $L_1 – L_6$; H_{II} – поле, создаваемое катушками $L_7 – L_{12}$; $H_1 + H_{II}$ – поле при включении обеих систем катушек меры; ∇H_{II} – градиент поля, создаваемого катушками $L_7 – L_{12}$

Рис. 3. Распределение магнитных полей от обеих систем меры вдоль ее оси

ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАЛИБРОВАННЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧИХ ОБЛАСТЯХ МЕРЫ

Соотношение между величиной однородного (в пространстве) магнитного поля и величиной магнитного поля с постоянным (в пространстве) градиентом, определяемое выражением [2]

$$I_1 = l \frac{k_2 N_2}{k_1 N_1} I_2, \quad (44)$$

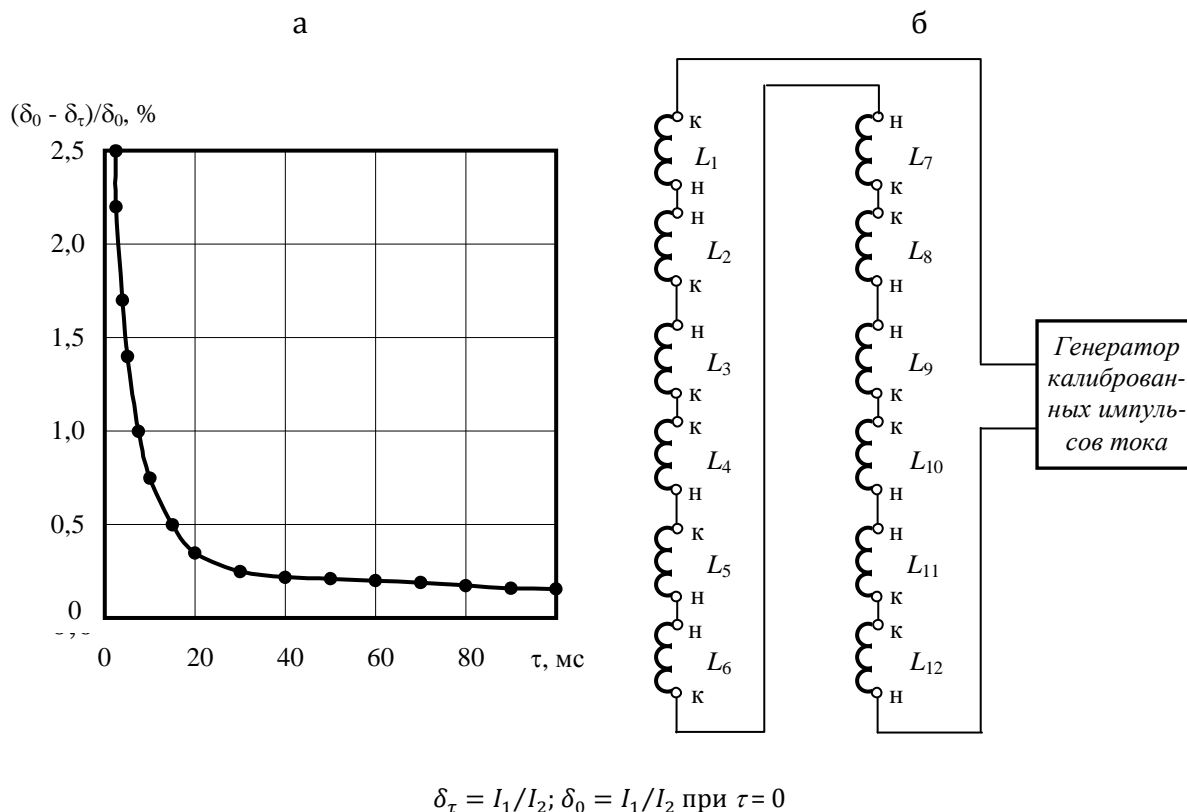
где k_1 и k_2 – постоянные, а N_1 и N_2 – число витков каждой из катушек соответственно системы для создания однородного магнитного поля и системы для создания магнитного поля с постоянным градиентом, устанавливается соотношением токов I_1 и I_2 через эти системы катушек. Соотношение (44) будет постоянным только при питании меры от источника постоянного тока.

При питании меры от источника калиброванных импульсов тока соотношение токов будет зависеть от временных характеристик калиброванных импульсов тока при одной и той же их амплитуде и от температуры окружающей среды.

На рис. 4, а приведено относительное изменение соотношения токов I_1 и I_2 при изменении длительности τ импульсов тока колоколообразной формы (половина синусоиды). Из рисунка следует, что изменение соотношения токов при изменении длительности τ импульсов, проходящих через обмотки меры, от 28 до 700 мс (что соответствует проведению контроля с помощью установки типа ИМПОК-2 при изменении скорости движения контролируемого металла от 1 м/с до 25 м/с [3]) составляет более 1,5% и приводит, в конечном счете, к снижению точности измерения поверяемым средством контроля.

С целью устранения указанной выше зависимости разработана модифицированная мера МГПД, в которой обмотки обеих систем катушек соединены последовательно ($I_1 = I_2$), а соотношение между величиной однородного магнитного поля и величиной градиента магнитного поля устанавливается соотношением витков катушки системы для создания однородного магнитного поля и системы катушек для создания магнитного поля с постоянным градиентом [7, 8]. Для

получения в рабочих областях I и II меры распределения магнитного поля в соответствии с его реальным распределением для листа, локально намагниченного с двух сторон, крайняя катушка L_6 системы для создания однородного магнитного поля и крайняя катушка L_7 системы для создания магнитного поля с постоянным градиентом соединены между собой последовательно-встречно. Схема соединения катушек модифицированной меры представлена на рис. 4, б.



$$\delta_\tau = I_1/I_2; \delta_0 = I_1/I_2 \text{ при } \tau=0$$

Рис. 4. Относительное изменение соотношения токов через обмотки меры МГПД (а) и схема соединения катушек модифицированной меры (б)

Если $2l$ – длина рабочей области, а N_1 и N_2 – число витков в каждой из катушек соответствующей системы, то на основании выражений (17) и (18) из [2] с учетом

$$F_1(\alpha_i) = (1 + \alpha_i^2)^{-3/2}, \tag{45}$$

с точностью до членов четвертого порядка относительно z/a_1

$$H_1 = \frac{N_1 I_1}{a_1} \left\{ \left[1 + \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 \right]^{-3/2} - \left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{a_1} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\}, \quad (46)$$

а с учетом (17)

$$\nabla H_{II} = \frac{3N_2 I_2}{a_2^3} \left\{ h_1 \left[1 + \left(\frac{h_1}{a_2} \right)^2 \right]^{-5/2} - (h_1 + h_2) \left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{a_2} \right)^2 \right]^{-5/2} \right\}. \quad (47)$$

Так как при последовательном соединении катушек обеих систем $I_1 = I_2$, то с учетом

$$H_1 = \nabla H_2 l \quad (48)$$

соотношение витков катушек системы для создания однородного магнитного поля и системы для создания магнитного поля с постоянным градиентом будет иметь вид

$$N_1 = N_2 \frac{3la_1}{a_2^3} \frac{h_1 \left[1 + \left(\frac{h_1}{a_2} \right)^2 \right]^{-5/2} - (h_1 + h_2) \left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{a_2} \right)^2 \right]^{-5/2}}{\left[1 + \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 \right]^{-3/2} - \left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2}{a_1} \right)^2 \right]^{-3/2}}. \quad (49)$$

Таким образом, при установлении соотношения между величинами H_1 и ∇H_{II} за счет выбора числа витков катушек в соответствии с выражением (49) погрешность, определяемая изменением длительности импульсов тока и непостоянства температуры, отсутствует в принципе. Модифицированная мера МГПД позволяет проводить аттестацию приборов магнитного контроля движущегося проката при различиях в скоростях его движения с более высокой точностью, особенно в условиях температурной нестабильности окружающей среды. В настоящее время такие меры используются для регулировки и метрологической поверки установок типа ИМПОК, эксплуатируемых на металлургических предприятиях стран СНГ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ ЛИСТА, ЛОКАЛЬНО НАМАГНИЧЕННОГО С ДВУХ СТОРОН, ОТНОСИТЕЛЬНО МАГНИ- ТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотренные выше меры моделируют поле остаточной намагниченности ферромагнитного листа, локально намагниченного с двух сторон, в случае, когда он находится посередине между магниточувствительными элементами средства контроля. Однако они не позволяют смоделировать пространственное распределение магнитного поля, воздействующего на магниточувствительные элементы средства контроля, при смещении листа относительно этих элементов (что имеет место при контроле листового проката сталей, движущегося в технологическом потоке производства).

Для решения этой задачи в конструкцию рассмотренной ранее меры вводятся дополнительная система для создания однородного магнитного поля и дополнительная система для создания магнитного поля с постоянным градиентом [9]. Схемы расположения и соединения катушек меры представлены на рис. 5.

Расположение и соединение катушек основных систем аналогично расположению и соединению катушек модифицированной меры МГПД. Дополнительные системы содержат по три катушки со средним радиусом a_3 (катушки I_{13}, I_{14}, I_{15}) и a_4 (катушки I_{16}, I_{17}, I_{18}) соответственно, расположенных между катушками в парах основных систем и соосных с ними. Если катушки основной системы для создания однородного магнитного поля (катушки со средним радиусом a_1) соединены в каждой из пар последовательно-встречно, а между парами – последовательно-согласно, то катушки дополнительной системы для создания однородного магнитного поля (катушки со средним радиусом a_3) соединены между собой последовательно-согласно. Для создания в рабочих областях меры дополнительного однородного магнитного поля радиус a_3 катушек дополнительной системы должен быть выбран из условия [10]

$$a_3 = 2h_1 + h_2. \quad (50)$$

Катушки дополнительной системы для создания магнитного поля с постоянным градиентом (катушки со средним радиусом a_4), как и катушки соответствующей основной системы, соединены между собой последовательно-встречно. Для создания в рабочих областях ме-

ры дополнительного магнитного поля с постоянным градиентом радиус a_4 катушек дополнительной системы должен быть выбран из условия [2]

$$a_4 = \frac{2h_1 + h_2}{\sqrt{3}} . \tag{51}$$

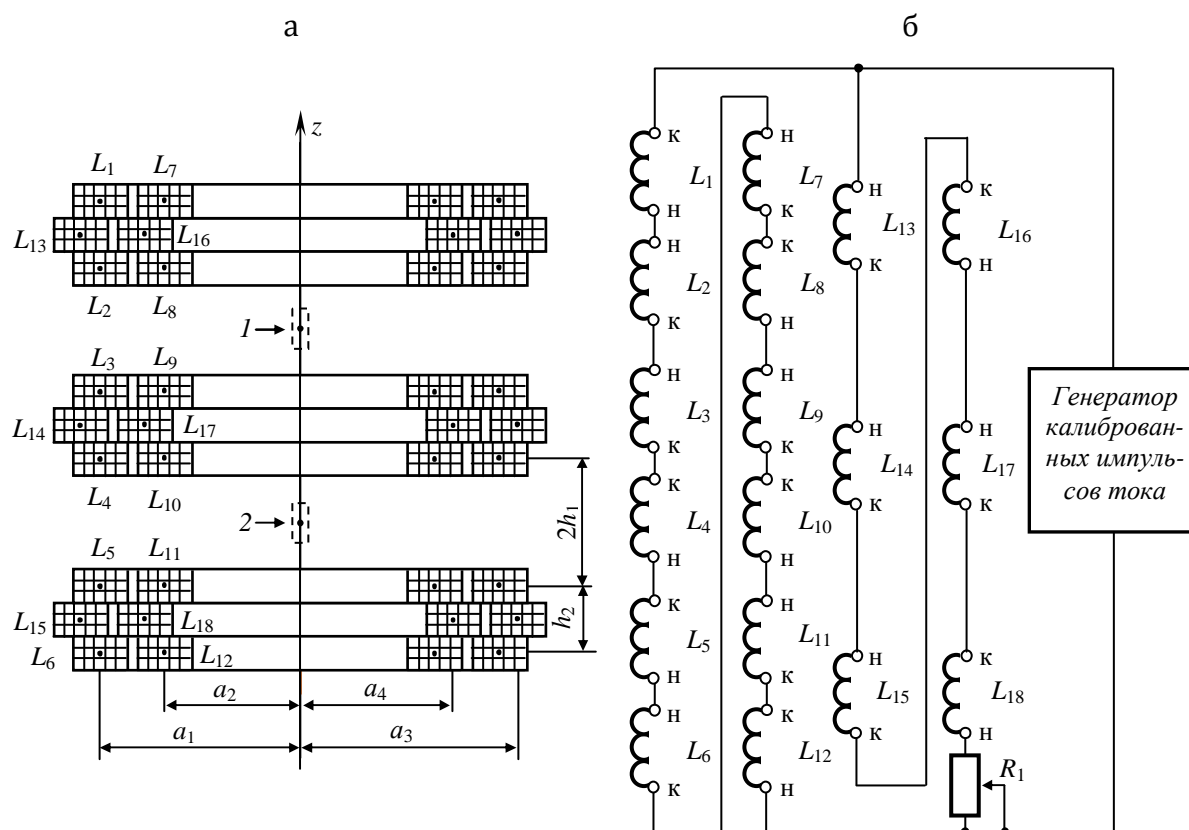


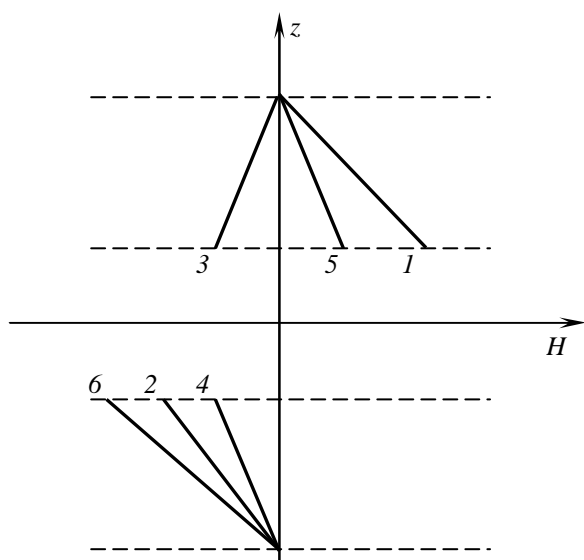
Рис. 5. Схемы расположения (а) и соединения (б) катушек меры при моделировании смещения локально намагниченного листа относительно магниточувствительных элементов

Радиусы a_1 и a_2 катушек основных систем выбираются в соответствии с (15) и (16) из [2]. При таком соединении катушек основных и дополнительных систем и соответствующем выборе их радиусов градиент магнитного поля в одной рабочей области увеличивается, а в другой уменьшается в зависимости от величины тока I_d через катушки обеих дополнительных систем (рис. 6).

Используя выражение для поля кругового тока I [10]

$$H(z) = \frac{I}{2a} \sum_{n=0}^{\infty} (n+1) F_{n+1}(\alpha) \left(\frac{z}{a}\right)^n, \quad (52)$$

при выполнении условия (21) из [2] и (50) поле H_{I_d} , создаваемое дополнительной системой для создания однородного магнитного поля, имеет вид



1, 2 - $I_d = 0$; 3, 4 - дополнительные магнитные поля;
5, 6 - суммарные магнитные поля

Рис. 6. Распределение поля в рабочих областях меры при отсутствии и наличии тока I_d через катушки дополнительных систем

$$H_{I_d} = 0,358 \frac{N_{1d} I_{1d}}{2h_1 + h_2}. \quad (53)$$

Аналогично при условиях (21) из [2] и (51) градиент магнитного поля ∇H_{II_d} , формируемый дополнительной системой для создания магнитного поля с постоянным градиентом, имеет вид

$$\nabla H_{II_d} = 0,3206 \frac{N_{2d} I_{2d}}{(2h_1 + h_2)^2}. \quad (54)$$

Для меры с дополнительными системами катушек по аналогии с (24) из [2]

$$H_{I_d} = \nabla H_{II_d} l. \quad (55)$$

При последовательном соединении катушек $I_{1d} = I_{2d}$. Тогда

$$N_{1d} = 0,896 \frac{l}{2h_1 + h_2} N_{2d}. \quad (56)$$

Введение дополнительных систем катушек и выбор соотношения витков в них в соответствии с (56) позволяют моделировать распределения магнитного поля, воздействующего на магниточувствитель-

ные элементы средства контроля при смещении локально намагниченного листа относительно этих элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор соотношения числа витков между крайними и центральными катушками меры (отдельно для каждой из составляющих ее систем) позволяет повысить степень однородности магнитного поля и степень постоянства градиента магнитного поля вдоль оси каждой из рабочих областей меры.

Установление соотношения между величиной создаваемого в рабочих областях меры импульсного магнитного поля и величиной его градиента за счет соответствующего соотношения витков системы позволяет снизить влияние на моделируемое поле длительности импульсов и температуры.

Введение дополнительной системы для создания однородного магнитного поля и дополнительной системы для создания магнитного поля с постоянным вдоль оси каждой из рабочих областей меры градиентом позволяет моделировать пространственное распределение магнитного поля, воздействующего на магниточувствительные элементы средства контроля, при смещении намагниченного локально с двух сторон ферромагнитного листа относительно этих элементов.

Литература

1. Мельгуй М.А., Матюк В.Ф., Пиунов В.Д. Метрологическое обеспечение приборов импульсного магнитного контроля ферромагнитных материалов. – Весці АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. Навук, 1987, № 2, с. 107–112.
2. Матюк В.Ф. Метрологическое обеспечение импульсных магнитных поточных контролеров. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2013, № 3, с. 38–59.
3. Матюк В.Ф. Приборы магнитной структуроскопии листового проката сталей в технологическом потоке производства. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2013, № 2, с. 3–28.
4. Осипов А.А., Матюк В.Ф., Пиунов В.Д. Устройство для поверки средств магнитного контроля. Авт. свид. № 1721501. – Бюл. изобр., 1992, № 11, с. 151–152.
5. Матюк В.Ф., Пиунов В.Д. Улучшение метрологических характеристик двухзонных мер градиента магнитного поля для аттестации средств магнитного контроля. – Дефектоскопия, 1995, № 5, с. 88–95.

6. Matyuk V.F., Piunov V.D. The Two-Zones Reference Standards of the Gradient of Magnetic Field for Metrological Support of Pulse Magnetic Testing. – In book: The Second International Conference on Problems of Physical Metrology. FIZMET'96. Abstracts. June 17–23, 1996, Saint Petersburg, Russia. – Saint Petersburg, 1996, p. 135–136.
7. Матюк В.Ф., Пиунов В.Д., Цукерман В.Л. Устройство для поверки средств магнитного контроля. Авт. свид. № 1546897. – Бюл. изобр., 1990, № 8, с. 213.
8. Матюк В.Ф., Мельгуй М.А., Пиунов В.Д. Мера градиента магнитного поля для поверки средств импульсного магнитного контроля листового проката сталей в движении. – В кн.: Импульсный магнитный метод контроля механических свойств сталей. Тезисы докл. республ. научно-техн. семинара. Минск, 29–30 октября 1991 г. – Минск, 1991, с. 33–37.
9. Матюк В.Ф., Пиунов В.Д., Осипов А.А. Устройство для поверки средств магнитного контроля. Авт. свид. № 1691725. – Бюл. изобр., 1991, № 42, с. 179–180.
10. Средства измерения параметров магнитного поля / Ю.В. Афанасьев, Н.В. Студенцов, В.Н. Хорев и др. – Л.: Энергия, Ленинградское отд-е, 1979. – 320 с.

Статья поступила в редакцию 17.10.13

**ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ДЛЯ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОТПУСКА
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ У8А**
*Informative parameters for magnetic testing grade
of tempering tool carbon steel U8A*

Бурак В.А., Короткевич З.М.
Burak V.A., Korotkevich Z.M.

На основе анализа влияния температуры отпуска на магнитные свойства инструментальной углеродистой стали У8А, измеренных в квазистатическом режиме перемагничивания в замкнутой магнитной цепи, предложены новые информативные параметры для магнитного контроля, позволяющие оценивать температуру отпуска во всем диапазоне изменения.

Based on the analysis of the influence of tempering temperature on the structure and magnetic properties of tool carbon steel U8A measured in the quasi-static remagnetization mode in a closed magnetic circuit, the new informative parameters for the magnetic testing which allow to reliably detect the whole range of tempering temperature of the steel are proposed.

Введение

Одной из важных и актуальных задач машиностроения и металлообработки, требующей однозначного и достоверного решения, является контроль качества термообработки инструментальных сталей, к которым относится и углеродистая сталь У8А. Эта марка стали широко используется на машиностроительных предприятиях для изготовления таких инструментов, как метчики ручные, рашпили, надфили, пилы для обработки древесины и др. [1].

Температуру отпуска инструментальных углеродистых сталей, согласно [2], однозначно можно контролировать по величинам твердости и удельного электрического сопротивления. Низкотемпературный отпуск углеродистых инструментальных сталей контролируют по величине релаксационной коэрцитивной силы, среднетемпературный – по максимальной магнитной проницаемости и дифференциальной магнитной проницаемости, а высокотемпературный отпуск контролировать невозможно ни по какой стандартной магнитной ха-

рактике. Поэтому поиск новых информативных параметров для контроля температуры отпуска инструментальных углеродистых сталей и, в частности, стали У8А, во всем диапазоне ее изменения является весьма актуальной задачей.

В настоящей работе приводятся результаты исследований возможности использования комбинаций стандартных магнитных характеристик инструментальной высококачественной углеродистой стали У8А, измеренных при квазистатическом перемагничивании в замкнутой магнитной цепи, для однозначного определения температуры, при которой проводился отпуск после закалки от 790 °С.

Режимы термообработки и методика измерений. Химический состав стали У8А согласно ГОСТ представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав стали У8А (ГОСТ 1435–99) [3]

Массовая доля элемента, %				
Углерода	Кремния	Марганца	Серы	Фосфора
			не более	
0,75–0,84	0,17–0,33	0,17–0,28	0,018	0,025

Также сталь У8А может содержать примеси других, помимо перечисленных в таблице 1, химических элементов: до 0,40 % Cr, до 0,25 % Ni и до 0,25 % Cu.

Для получения достаточной для инструментов твердости 48–51 HRC эвтектоидную сталь У8А нагревают под закалку в воду на 30–50 °С выше критической точки $A_{с3}$, что соответствует $T_{зак} = 780–800$ °С, и подвергают низкотемпературному отпуску на воздухе на троостит при температуре $T_{отп} = 275–350$ °С [1].

Одной из особенностей эвтектоидной стали У8А, как и других инструментальных углеродистых сталей, является широкий диапазон используемых температур отпуска для получения на выходе изделий с необходимыми механическими свойствами (твердостью, прочностью, вязкостью). Так, например, для сохранения высокой твердости (62–64 HRC) температура отпуска не должна превышать 200 °С, а для повышения вязкости инструмент отпускают при температуре 400 °С [1].

Измерения магнитных свойств стали У8А проводились на кольцевых образцах, имевших внешний диаметр 17 мм, внутренний диаметр 13,2 мм, высоту 10 мм. Перемагничивание образцов в квазистатическом режиме в замкнутой магнитной цепи с частотой 0,05 Гц осуществлялось на установке УИМХ [4].

Для получения разных механических свойств образцы стали У8А нагревались под закалку в течение 10 минут от рекомендуемой по ГОСТ температуры $T_{\text{зак}} = 790$ °С в среде, защищающей металл от обезуглероживания, с охлаждением в воде, а затем отпускались в течение 1 часа с охлаждением на воздухе при температурах 100, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 350, 400, 450, 500, 550 и 600 °С.

Анализ стандартных магнитных характеристик. По основной кривой намагничивания определялись следующие стандартные характеристики: максимальная намагниченность M_m ; начальная μ_n и максимальная μ_m магнитные проницаемости; напряженность намагничивающего поля $H_{\mu m}$, при котором достигается μ_m ; намагниченности $M_{\mu m}$, M_{H_c} и M_{2H_c} при магнитном поле, равном $H_{\mu m}$, коэрцитивной силе H_c и двум коэрцитивным силам $2H_c$ соответственно.

По предельной петле магнитного гистерезиса определялись: остаточная намагниченность M_r ; коэрцитивная сила H_c ; релаксационная коэрцитивная сила H_r ; релаксационная намагниченность M_{H_r} ; остаточная намагниченность M_{r_c} после снятия поля, равного H_c ; максимальная дифференциальная магнитная проницаемость μ_{dm} и дифференциальная магнитная проницаемость μ_{dH_c} при размагничивающем поле, равном коэрцитивной силе H_c ; напряженность намагничивающего поля $H_{\mu dm}$, соответствующая максимуму дифференциальной магнитной проницаемости.

По результатам измерений стандартных характеристик по основной кривой намагничивания и по предельной петле магнитного гистерезиса рассчитывались: намагниченность насыщения M_s (по закону приближения к насыщению), релаксационная магнитная проницаемость $\mu_r = M_{H_r}/H_r + 1$, магнитная проницаемость $\mu_{r_c} = M_{r_c}/H_c + 1$ на кривой возврата от поля равного коэрцитивной силе и параметр $K_n = 1 - M_r/M_m$.

Поведение стандартных магнитных характеристик. Зависимости стандартных магнитных характеристик образцов из стали У8А, закаленных от 790 °С и отпущенных при разных температурах, представлены на рисунке 1.

Изменения магнитных свойств эвтектоидной углеродистой инструментальной стали У8А при отпуске при разных температурах обусловлены сложными структурными изменениями, происходящими в материале.

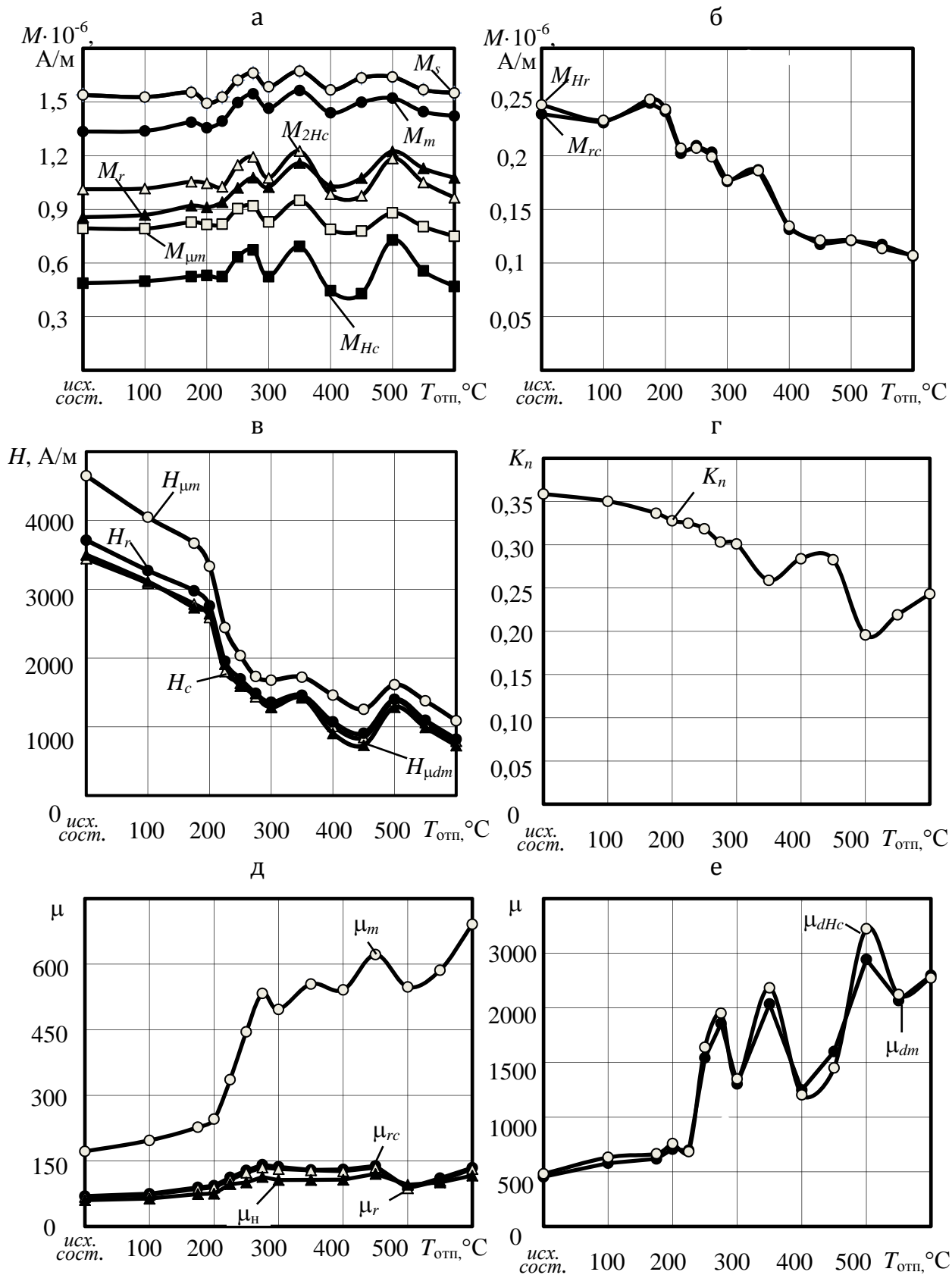


Рис. 1. Зависимость магнитных параметров стали У8А при квазистатическом перемагничивании от температуры отпуска

Нагрев образцов до температуры отпуска 175 °С плавно уменьшает величины полевых магнитных параметров H_c , H_r , $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$ в среднем на 20 %, практически не изменяет величины намагниченностей и незначительно увеличивает магнитные проницаемости. Эти изменения объясняются уменьшением концентрации углерода в мартенсите, полученном после закалки, и снижением напряжений [5].

Увеличение температуры отпуска до 300 °С приводит к резкому изменению всех магнитных характеристик стали У8А. Так, например, величины H_c , H_r , $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$ уменьшаются в 2-2,5 раза, намагниченности M_m , M_s , M_{Hc} , M_{2Hc} , $M_{\mu m}$ и M_{Hr} имеют минимальное значение при 225 °С, затем следует резкое увеличение этих магнитных параметров с ростом температуры отпуска, и при 275 °С наблюдается максимальное значение этих намагниченностей. Все рассматриваемые в данной работе магнитные проницаемости также ведут себя неоднозначно в рассматриваемом интервале изменения температур отпуска и имеют максимальное значение при 275 °С. Это обусловлено распадом остаточного аустенита на отпущенный мартенсит и карбиды, что снижает твердость и повышает вязкость материала [6].

Дальнейшее повышение температуры отпуска до 400 °С не приводит к значительным изменениям величин магнитных проницаемостей μ_n , μ_r и μ_{rc} , магнитная проницаемость μ_m при температуре 350 °С имеет небольшой перегиб, а у дифференциальных магнитных проницаемостей μ_{dHc} и μ_{dm} при этой температуре отпуска наблюдается резкое увеличение. Некоторый незначительный рост величин (порядка 5 %) наблюдается при 350 °С у полевых характеристик H_c , H_r , $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$ и всех рассматриваемых намагниченностей.

В диапазоне изменения температуры отпуска от 400 до 600 °С однозначную зависимость от температуры отпуска имеет только намагниченность M_{Hr} . Остальные рассматриваемые магнитные параметры изменяются неоднозначно. Полевые величины H_c , H_r , $H_{\mu m}$ и $H_{\mu dm}$ и намагниченности M_{Hc} , M_{2Hc} , $M_{\mu m}$ на этом диапазоне имеют два перегиба – минимум при 450 °С и максимум при 500 °С. Для магнитных проницаемостей μ_m , μ_n , μ_r и μ_{rc} характерен также неоднозначный ход зависимостей в этом диапазоне изменения температуры отпуска, однако при 450 °С наблюдается максимум, а при 500 °С – минимум. Остальные рассматриваемые магнитные параметры имеют характерный максимум при 500 °С, что объясняется количеством и дисперсностью слабомагнитной карбидной фазы [6].

Анализ представленных выше зависимостей магнитных парамет-

ров стали У8А от изменения температуры отпуска позволяет говорить, что низкотемпературный отпуск исследуемой стали надежно выявляется по ряду стандартных магнитных характеристик (H_c , H_r , $H_{\mu m}$, $H_{\mu dm}$, μ_m , μ_{rc}), а высокотемпературный отпуск можно определить по величине намагниченности M_{Hr} . Среднетемпературный отпуск проконтролировать однозначно не представляется возможным ни по одной из рассмотренных магнитных характеристик.

Таким образом, исходя из отсутствия однозначной зависимости стандартных магнитных характеристик от температуры отпуска во всем диапазоне ее изменения, необходимо установить иные информативные параметры для контроля качества отпуска стали У8А.

Информативные параметры для контроля. Одним из наиболее простых способов решения задачи контроля температуры отпуска стали У8А с достаточной достоверностью и надежностью является измерение несколько магнитных характеристик и поиск комплексного параметра, их связывающего. Так, в литературе [7] имеется ряд примеров использования двух и более магнитных характеристик, для контроля качества отпуска используются такие два параметра, как коэрцитивная сила H_c и намагниченность насыщения M_s или коэрцитивная сила H_c и релаксационная магнитная проницаемость μ_r .

В качестве информативных параметров для контроля температуры отпуска стали У8А во всем диапазоне изменения рассматривали различные комбинации стандартных магнитных характеристик этой стали. Для нивелирования влияния порядка величин в общий вклад комплексного информативного параметра арифметические операции проводили над значениями исследуемых стандартных характеристик, взятыми относительно закаленного состояния (рис. 2). При исследовании новых информативных параметров учитывалась необходимость обеспечения их чувствительности во всем диапазоне изменения температур отпуска. Кроме того, учитывалась и данная в [7] рекомендация о целесообразности отказа от магнитных характеристик, определяемых на кривой намагничивания и имеющих аналоги на предельной петле магнитного гистерезиса и кривой возврата, по причине зависимости точности их определения от качества размагничивания контролируемых изделий и сложности измерения той или иной магнитной характеристики.

Предварительный анализ кривых зависимостей магнитных характеристик в относительной форме (рис. 2) позволяет исключить из рассмотрения ряд характеристик (M_m , $M_{\mu m}$, M_{Hc} , M_{2Hc} , M_r , M_s , μ_{dm} и μ_{dHc}) по причине их малой чувствительности и сложной неоднозначной связи с температурой отпуска.

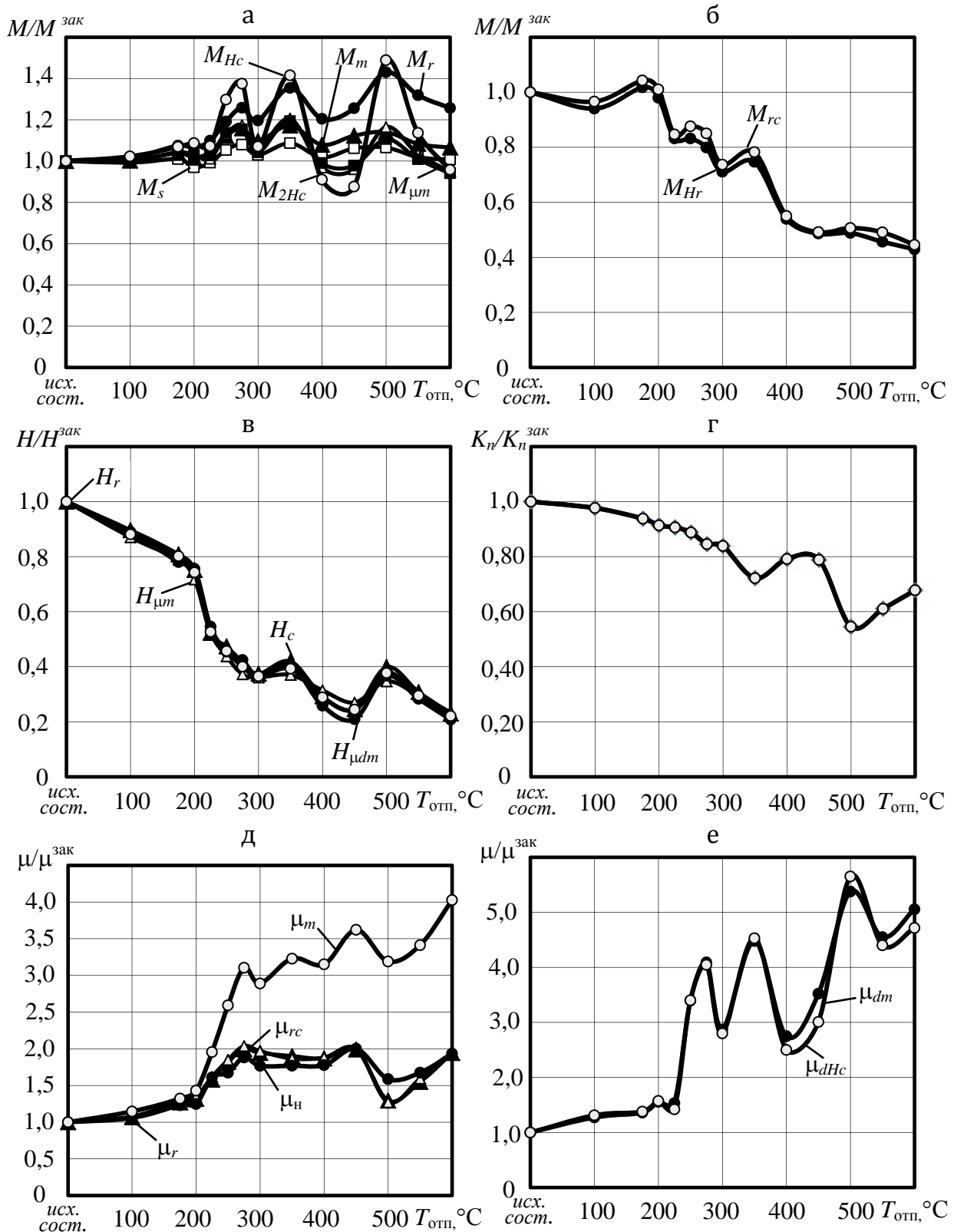


Рис. 2. Зависимость магнитных параметров стали У8А при квазистатическом перемагничивании от температуры отпуска в относительных единицах

Для использования в качестве информативного параметра разности магнитных характеристик необходимо, чтобы магнитные характеристики имели различный ход зависимости. Исходя из этого, можно выделить два информативных параметра:

$$U_1 = \frac{H_c}{H_c^{\text{зак}}} - \frac{\mu_m}{\mu_m^{\text{зак}}}; U_2 = \frac{M_{rc}}{M_{rc}^{\text{зак}}} - \frac{\mu_m}{\mu_m^{\text{зак}}} \quad (1)$$

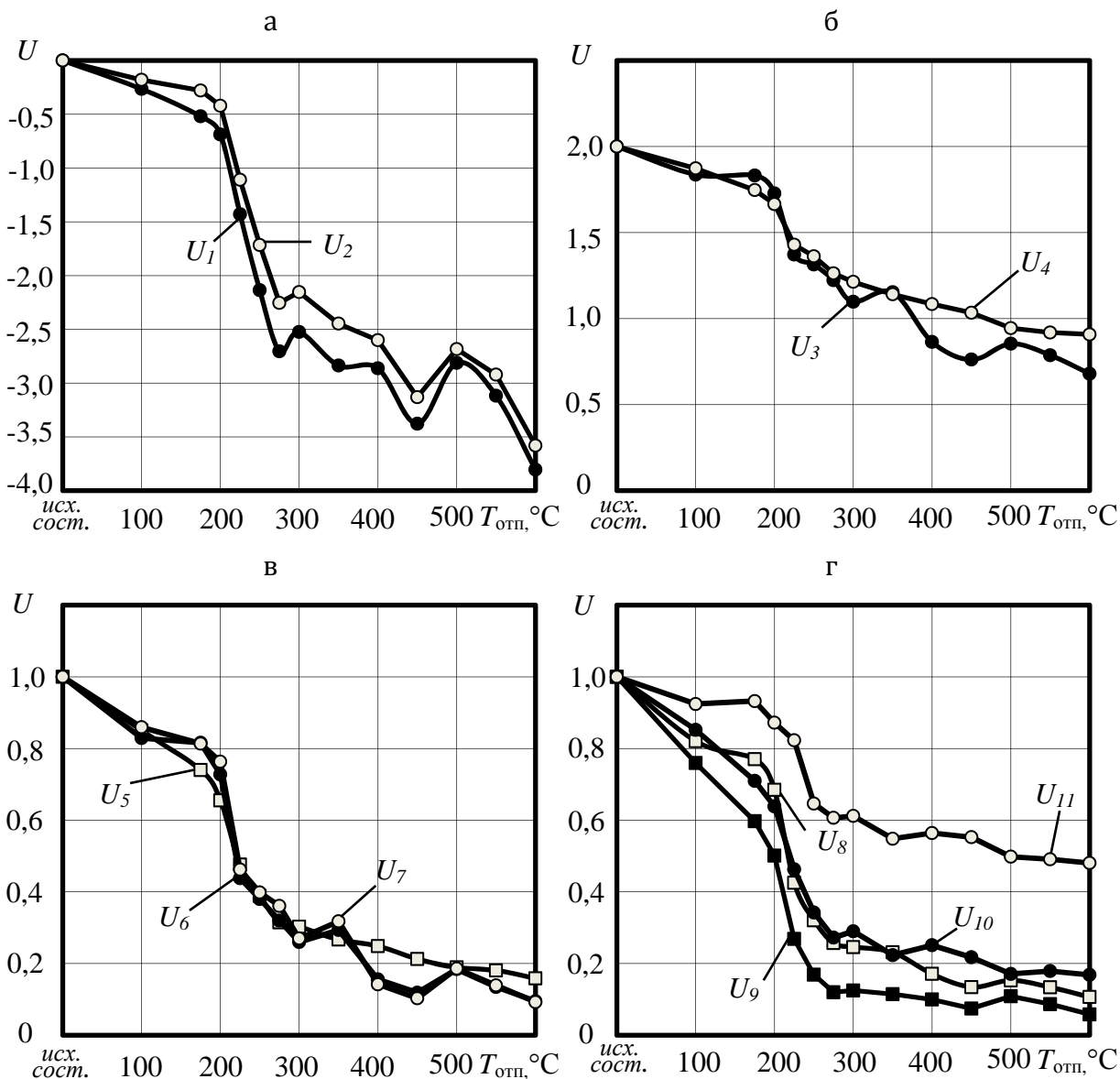


Рис. 3. Зависимость информационных параметров $U_1 - U_{11}$ стали У8А от температуры нагрева под отпуск

Зависимости параметров U_1 и U_2 от температуры нагрева под закалку представлены на рисунке 3, а. Средняя чувствительность во всем диапазоне температур отпуска составляет около 0,6 %/°C для U_1 и U_2 , однако однозначная зависимость с хорошей чувствительностью (0,8 %/°C) для этих параметров наблюдается только в области низко-температурного отпуска, соответственно, использование этих параметров для контроля перегрева при отпуске нецелесообразно.

Очевидным условием повышения чувствительности при использовании в качестве информативного параметра суммы относительных значений магнитных характеристик является их одновременный рост или убыль с изменением температуры отпуска.

Суммирование дает наилучшие результаты для следующих сочетаний:

$$U_3 = \frac{H_{\mu n}}{H_{\mu n}^{\text{зак}}} + \frac{M_{rc}}{M_{rc}^{\text{зак}}}; U_4 = \frac{H_c}{H_c^{\text{зак}}} + \frac{K_n}{K_n^{\text{зак}}} \quad (2)$$

Зависимость информативных параметров U_3 и U_4 от температуры отпуска представлены на рисунке 3, б. Чувствительность этих параметров во всем диапазоне температур отпуска составляет: 0,25 %/°C для U_3 и 0,17 %/°C для U_4 . Для параметра U_4 характерна к тому же однозначная связь с температурой отпуска, однако его использование затруднено по причине низкой чувствительности в области высоко-температурного отпуска (порядка 0,02 %/°C).

Перемножение магнитных параметров по сравнению с их суммированием позволяет повысить чувствительность информативных параметров в несколько раз. Наиболее результативными комбинациями магнитных параметров при перемножении являются U_5-U_7 , где

$$U_5 = \frac{H_{\mu n}}{H_{\mu n}^{\text{зак}}} \cdot \frac{K_n}{K_n^{\text{зак}}}; U_6 = \frac{M_{Hr}}{M_{Hr}^{\text{зак}}} \cdot \frac{H_r}{H_r^{\text{зак}}}; U_7 = \frac{H_{\mu dm}}{H_{\mu dm}^{\text{зак}}} \cdot \frac{M_{\mu dm}}{M_{\mu dm}^{\text{зак}}} \quad (3)$$

Чувствительность параметров U_5 и U_6 во всем диапазоне температур отпуска составляет 0,13 %/°C для U_5 и 0,17 %/°C для U_6 и U_7 , т.е. эти информативные параметры имеют более высокую чувствительность. Как видно из рисунка 3, в, для параметра U_5 характерна однозначная зависимость от изменения температуры отпуска.

Деление как способ получения информативных параметров позволяет повысить чувствительность магнитных характеристик, одна из которых возрастает с увеличением температуры отпуска, а другая убывает. Такими параметрами были выбраны:

$$U_8 = \frac{M_{Hr} / M_{Hr}^{зак}}{\mu_m / \mu_m^{зак}}; U_9 = \frac{H_{\mu m} / H_{\mu m}^{зак}}{\mu_m / \mu_m^{зак}}; U_{10} = \frac{K_n / K_n^{зак}}{\mu_m / \mu_m^{зак}}; U_{11} = \frac{\mu_H / \mu_H^{зак}}{\mu_m / \mu_m^{зак}} \quad (4)$$

При делении информативные параметры имеют вид, представленный на рисунке 3, г. Средняя чувствительность всех этих параметров к температуре отпуска во всем диапазоне составляет около 0,16%/°С, однако однозначности не наблюдается.

Таким образом, по представленным зависимостям для неразрушающего контроля температуры отпуска инструментальной углеродистой стали У8А во всем диапазоне его изменения можно рекомендовать в качестве информативных параметров сумму параметра K_n и коэрцитивной силы H_c и произведение параметра K_n и напряженности намагничивающего поля $H_{\mu m}$, при котором достигается максимальная магнитная проницаемость.

Выводы

Использование комбинаций различных магнитных параметров стали У8А, взятых относительно закаленного состояния, позволяет повысить точность и обеспечить контроль температуры отпуска во всем диапазоне изменения. Установлено, что использование в качестве информативных параметров для контроля качества отпуска инструментальной углеродистой стали У8А в квазистатическом режиме перемагничивания в замкнутой магнитной цепи суммы параметра $K_n = 1 - M_r / M_m$ и коэрцитивной силы H_c и произведения параметра K_n и напряженности намагничивающего поля $H_{\mu m}$, при котором достигается максимальная магнитная проницаемость, обеспечивает магнитный контроль качества отпуска во всем диапазоне изменения температуры.

Литература

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение. 1980. – 493 с.
2. Матюк В.Ф., Бурак В.А., Короткевич З.М., Осипов А.А. Влияние температур закалки и отпуска на структуру и магнитные свойства инструментальных углеродистых сталей. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2012, № 1, с. 25–49.
3. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Обще-технические технические условия: ГОСТ 1435-99. – Введ. 01.09.2001. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 21 с.
4. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Установка УИМХ для измерения магнитных характеристик магнитомягких материалов и изделий. – Дефектоскопия, 2007, № 3, с. 12–25.
5. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1968. – 568 с.
6. В.М. Морозова, М.Н. Михеев Магнитные и электрические свойства закаленных и отпущенных углеродистых сталей. – тр. Ин-та физики металлов. – М.: Изд. Акад. наук СССР, 1965. – Вып. 24. – С. 26–35.
7. Горкунов Э.С., Костин В.Н., Тартачная М.В., Глазистов А.Г., Шалаев В.Н. Магнитный контроль изделий из сталей 7ХЗ, 9ХФ, 50ХНМ, У10А после низко- и средне-температурного отпуска. – Дефектоскопия, 1990, № 1, с. 70–76.

Статья поступила в редакцию 05.11.13

**Неразрушающий контроль в промышленности.
Визуальный и измерительный контроль
сварных соединений**
*Nondestructive testing in industry.
Visual and measuring testing of welded joints*

Горбаш В.Г., Делендик М.Н., Павленко П.Н., Стрелюхин А.В.
Gorbash V.G., Delendick M.N., Pavlenko P.N., Streliukhin A.V.

В статье приводится информация об использовании визуально-измерительного метода для решения различных задач контроля качества сварных соединений.

The article provides information on the application of visual and measuring testing for solving various problems of quality control of welded joints.

Одной из основных задач диагностики и неразрушающего контроля является определение пригодности объекта контроля к использованию по назначению. Для этого необходимо оценить его состояние, т.е. выявить дефекты (если они есть) и оценить их параметры (опираясь на соответствующие требования ТНПА, классифицировать как допустимые или недопустимые дефекты). Отметим, что при контроле сварных соединений следует решить две задачи: определение наружных (поверхностных) дефектов и определение внутренних дефектов. Для решения этих задач используют различные виды неразрушающего контроля изделий, и среди них важное место занимает визуальный и измерительный контроль (ВИК) для обнаружения поверхностных и ультразвуковой или радиографический для внутренних дефектов.

При контроле сварных швов готовых изделий выявление поверхностных и внутренних дефектов является обязательным. В то же время при диагностике, в большинстве случаев, можно ограничиться выявлением только наружных дефектов. Обусловлено это тем, что разрушение изделий и зарождение трещин, как правило, происходит с поверхности.

Наиболее простым, доступным и дешевым из неразрушающих методов контроля поверхностных дефектов является визуальный. И хотя последовательность контроля отдельными методами должна со-

ответствовать требованиям ТНПА, визуальный и измерительный контроль должны предшествовать контролю другими методами.

Этот вид контроля отличается от других видов неразрушающего контроля границами спектральной области электромагнитного излучения, используемого для получения информации об объекте. Видимое излучение (свет) – электромагнитное излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение (с длиной волн от 360 до 780 нм).

При визуальном контроле сварных соединений протекают следующие физические процессы: световое излучение, отражённое от поверхности объекта контроля (ВИК, согласно [1], проводят в отраженном свете), воздействует непосредственно на глаз или первичный преобразователь, преобразующий световой сигнал в электрический, передающийся по каналу связи, а затем во вторичном преобразователе эти сигналы преобразуются в световые изображения, воспринимаемые глазом человека. Разрешающая способность человеческого глаза 0,1 мм (два объекта, например, две точки воспринимаются глазом как отдельные, если они видны под углом 1 дуговая минута, что на расстоянии наилучшего зрения 250 мм соответствует расстоянию между ними 0,076 мм). При этом следует иметь в виду, что, согласно [1], наименьший размер выявляемых дефектов должен не менее чем в 3 раза превышать величины микронеровностей рельефа поверхности контролируемого объекта. Для выявления поверхностных микротрещин, которые нельзя выявить глазом непосредственно, применяется обычно капиллярный или магнитный методы.

Измерительный контроль – вторая часть ВИК. Измерением называют нахождение значения физической величины опытным путём с помощью средств измерения. На выбор измерительных средств оказывают влияние метрологические показатели: цена деления шкалы, диапазон измерений, предел допустимой погрешности средств измерений (основная абсолютная погрешность измерений при измерительном контроле регламентируется [2] и [3]), пределы измерений и условия контроля. Следует обратить внимание на то, что величины основной абсолютной погрешности измерения при измерительном контроле изложенные в [2] и [3] не совпадают между собой в некоторых диапазонах измеряемой величины (как ни странно, требования к точности проведения измерений в Беларуси и России не всегда совпадают).

Выявленные при ВИК дефекты сварных соединений классифицируют по группам согласно [4, 5], а также на допустимые и недопу-

стимые дефекты в соответствии с [6] и с ТНПА на конкретные объекты контроля, например [7, 8]. Размеры сварных соединений и их конструктивных элементов при ВИК оцениваются в соответствии с требованиями ГОСТов на тип сварки и вид сварного соединения, например, [9 - 11].

Для эффективного выявления дефектов специалисты по любому виду НК должны разработать методику проведения испытания и создать необходимые приспособления. Кроме того, эти специалисты должны соответствующим образом подготовить технический персонал для проведения требуемого испытания и обработки его результатов. В настоящее время визуально-измерительный метод является одним из основных методов неразрушающего контроля и технической диагностики. Это – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения с применением средств измерений.

Возможности человеческого зрения ограничены и существенно зависят от условий контроля (скорости перемещения контролируемого объекта, расстояния до него, освещённости, и т.д.). Даже при контроле покоящихся объектов, находящихся на расстоянии наилучшего зрения (250 мм) в условиях нормальной освещённости (500 лк), человек может испытывать трудности из-за ограниченной разрешающей способности контрастной чувствительности зрения. Следует отметить, что согласно [1] выделяют три степени контраста (низкий, средний и высокий). Под контрастом понимается отношение разности яркости фона и дефекта к яркости фона. Если это отношение меньше 0,2 контраст считается малым, от 0,2 до 0,5 средним и выше 0,5 большим. Условия контроля надо подбирать таким образом, чтобы контраст был как можно больше. Лучшее всего человеческий глаз различает желто-зеленый цвет на темном фоне и красный на белом.

Согласно [2], внешнему осмотру должны подвергаться сварные соединения всех классов. Внешним осмотром выявляются наружные дефекты: отклонения швов от заданной формы, наружные трещины в швах, подрезы, прожоги, кратеры, наплывы, пористость в швах и др. Для расширения возможностей глаза используют оптические приборы. Оптический прибор увеличивает угловой размер объекта, при этом острота зрения и разрешающая способность глаза увеличиваются примерно во столько же раз, во сколько увеличивает оптический прибор. Это позволяет увидеть мелкие дефекты, невидимые невооружённым взглядом, или их детали. Однако при этом существенно сокращается поле зрения и глубина резкости, поэтому обычно при визу-

альном контроле разрешается использовать оптические приборы (лупы) с увеличением до 10-кратного увеличения.

Оптические приборы: эндоскопы, бороскопы, видеоэндоскопы, микроскопы позволяют осматривать детали и поверхности элементов конструкции, недоступные прямому наблюдению. Визуальный контроль с использованием оптических приборов называют визуально-оптическим. Визуально-оптический контроль – наиболее доступный и простой метод обнаружения поверхностных дефектов деталей. Следует отметить, что чувствительность визуально-оптического метода зависит от длины волны монохроматического света и оптических характеристик системы. Внешний осмотр исследуемого объекта на наличие дефектов производится как с применением оптических средств, так и без них. Особенность визуального контроля заключается в том, что он позволяет исследовать только видимые (внешние) дефекты. Тем не менее, визуальный контроль – необходимое звено комплексной дефектоскопии. Его в обязательном порядке используют при технической диагностике потенциально опасных производственных объектов.

Визуальный и измерительный контроль проводится практически на всех этапах жизненного цикла отдельных деталей, узлов и агрегатов. Выполняется периодический входной контроль материала, подготовки деталей перед сборкой, контроль качества сборки, контроль качества сварных соединений, контроль в процессе эксплуатации с целью выявления изменений формы и обнаружения поверхностных дефектов в основном материале и сварных швах, образовавшихся в процессе работы данного элемента. Основные виды дефектов, обнаруживаемых при визуальном контроле, – это трещины всех видов, коррозия, эрозионный износ, деформации, сколы покрытий, отложения сырья на стенках, сужение каналов, повреждения элементов автоматики.

Визуальный и измерительный контроль материала (полуфабрикатов, заготовок, деталей) и сварных соединений проводят на следующих стадиях:

- входного контроля;
- изготовления деталей, сборочных единиц и изделий;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сборке;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сварке;
- сборки деталей и сборочных единиц под сварку;
- процесса сварки;
- контроля готовых сварных соединений и наплавов;

- исправления дефектных участков в материале и сварных соединениях (наплавках);

- оценки состояния материала и сварных соединений в процессе эксплуатации технических устройств и сооружений, в том числе по истечении установленного срока их эксплуатации.

При визуальном контроле заготовок и сборки внешнему осмотру подвергают детали для выявления вмятин, заусенцев, окалины, ржавчины и т. п., проверяют качество подготовки и сборки заготовок под сварку, качество выполнения швов в процессе сварки и качество готовых сварных соединений. Внешним осмотром контролируют все сварные изделия независимо от применения других видов контроля. К основным контролируемым размерам собранных под сварку деталей относят зазор между кромками и притупление кромок – для стыковых соединений без разделки кромок; зазор между кромками, притупление кромок и угол их разделки – для соединений с разделкой кромок; ширину нахлестки и зазор между листами – для нахлесточных соединений; зазор между листом и кромкой, угол между свариваемыми элементами, а также притупление и угол скоса кромок – для тавровых соединений; зазор между свариваемыми элементами и угол между ними – для угловых соединений. Детали, узлы или изделия, собранные под сварку с отклонением от технических условий или установленного технологического процесса, бракуют. Средства, порядок и методика визуального контроля предусматриваются технологическим процессом производства или нормативной документацией.

На этапе наблюдения за процессом сварки сварщик, помимо контроля режимов сварки (тока, напряжения, скорости сварки и т. п.) и стабильности горения дуги, следит за правильностью выполнения валиков в многослойных швах. Особенно важным при этом является тщательный осмотр первого слоя при любом количестве слоев. Качество сварки первого слоя оценивают при необходимости с помощью лупы, а для оценки качества конструкций ответственного назначения иногда применяют также капиллярную дефектоскопию.

При внешнем осмотре готовых изделий невооруженным глазом или с помощью лупы выявляют дефекты швов в виде трещин, подрезов, пор, свищей, прожогов, наплывов, непроваров в нижней части швов. Многие из этих дефектов, как правило, недопустимы и подлежат исправлению. На этом этапе выявляют также дефекты формы швов, распределение чешуек и общий характер распределения металла в усилении шва. Согласно требованиям руководящих документов, визуальный и измерительный контроль проводится как с наружной,

так и с их внутренней стороны изделий, что значительно осложняется ограниченным доступом во внутренние полости объектов.

Внешний вид поверхности шва характерен для каждого способа сварки, а также для пространственного положения, в котором выполнялась сварка. Равномерность чешуек характеризует работу сварщика, его умение поддерживать постоянную длину дуги и равномерную скорость сварки. Неравномерность чешуек, разная ширина и высота шва указывают на колебание мощности дуги, частые обрывы и неустойчивость горения дуги в процессе сварки. В таком шве возможны непровары, поры, шлаки и другие дефекты. При сварке в вертикальном и потолочном положениях сварные швы имеют резко выраженную неравномерность чешуек, бугры, седловины и наплывы. При сварке в защитных газах в вакууме внешняя поверхность швов гладкая, блестящая, без чешуек и имеет вид полоски расплавленного металла. В сварных швах, выполняемых из титана и других активных материалов, контролируют цвет и величину зоны цветов побежалости. Сварные швы часто сравнивают по внешнему виду со специальными эталонами. Геометрические параметры швов измеряют с помощью измерительных инструментов или шаблонов. Только после проведения визуального контроля и исправления недопустимых дефектов сварные соединения подвергают контролю другими физическими методами (рентгеновский контроль, ультразвуковой контроль и т.д.) для выявления внутренних дефектов.

Визуальный и измерительный контроль сварных соединений и зон ремонта, выполненного с применением сварки, и подлежащих термической обработке, следует производить как до, так и после указанной обработки.

Недопустимые дефекты, выявленные при визуальном и измерительном контроле, должны быть устранены до выполнения контроля другими методами НК.

К средствам визуального контроля можно отнести: микроскопы; эндоскопы; бороскопы; видеоэндоскопы; комплекты для визуального и измерительного контроля; лупы, в том числе измерительные; линейки измерительные металлические; угольники поверочные 90° лещетчатые; штангенциркули, штангенрейсмусы и штангенглубиномеры; щупы; угломеры с нониусом; стенкомеры и толщиномеры индикаторные; микрометры; нутромеры микрометрические и индикаторные; калибры; эндоскопы; шаблоны, в том числе специальные и универсальные (например, типа УШС), радиусные, резьбовые и др.; поверочные плиты; плоскопараллельные концевые меры длины с набором

специальных принадлежностей. Допускается применение других средств визуального и измерительного контроля при условии наличия соответствующих инструкций, методик их применения.

На конечный выбор конкретных моделей визуально-измерительных средств влияют следующие метрологические показатели: диапазон измерений, предел измерений, нормативные условия, цена деления шкалы, предел допустимой погрешности средств измерений и его допустимая погрешность.

Первый руководящий документ по визуальному и измерительному контролю, который распространялся на оборудование, подконтрольное Госгортехнадзору России, был разработан АНТЦ «Энергомонтаж» [12]. Несмотря на всю необходимость и своевременность выхода документа, он имел ряд существенных недостатков. Документ был ориентирован в основном на объекты котлонадзора и не учитывал конструктивных особенностей, например, грузоподъемных и горно-транспортных машин, в которых наряду со стыковыми широко применяются тавровые, угловые и нахлесточные сварные соединения. Отмеченные недостатки были учтены в [3], при разработке которого были использованы положения [13].

Контролируемая зона сварного соединения, должна включать сварной шов, а также примыкающие к нему участки основного металла, которые в обе стороны от шва должны быть не менее:

- 20 мм, но не менее толщины стенки свариваемых деталей, для НК при сооружении, реконструкции и капитальном ремонте трубопроводов;

- не менее четырех толщин стенок свариваемых деталей при НК в процессе выборочного ремонта и ДДК трубопроводов, находящихся в эксплуатации, режиме консервации или состоянии безопасного содержания.

Условия выполнения визуального и измерительного контроля изложены в [14]. Освещенность поверхности контролируемого изделия должна быть 500 лк, поверхность сварного соединения должна быть доступна для контроля и должна рассматриваться под углом не менее 30 градусов с расстояния не более 600 мм. Применение бороскопов, волоконных световодов и телекамер, используемых для обеспечения выявления дефектов при контроле на большом расстоянии, должно быть оговорено условиями контракта, в стандарте или технических условиях на продукцию. Для достижения хорошего контраста и отчетливой различимости дефектов и фона при необходимости должен быть использован дополнительный источник освещения. Визу-

альный контроль должен быть дополнен другими методами неразрушающего контроля, если для полной идентификации дефекта внешнего осмотра недостаточно.

Проверка уровня освещенности на рабочих местах при проведении ВИК производится люксметром не реже 1 раза в смену, а также при изменении уровня освещенности (замене источника света).

Перед проведением визуального и измерительного контроля поверхность объекта в зоне контроля подлежит зачистке до чистого металла от изоляции, продуктов коррозии, окалины, грязи, краски, масла, шлака, брызг расплавленного металла, и других загрязнений, препятствующих проведению контроля. Зона зачистки должна включать в себя поверхность свариваемых деталей и быть не менее величин, указанных выше.

Шероховатость поверхности зон, примыкающих к сварному шву, должна составлять не более Ra 12,5 (Rz 80), что обеспечивается зачисткой поверхностей свариваемых изделий и сварных швов перед контролем шаберами, напильниками, шлифмашинками с круглыми металлическими щетками. Допускается применять другие виды обработки поверхности, обеспечивающие шероховатость не хуже требуемой настоящим разделом (например – пескоструйная обработка). Если следующие после ВИК операции требуют более высокой степени очистки, следует выполнять очистку поверхности в соответствии с этими требованиями. Оценку шероховатости контролируемых поверхностей допускается проводить путем ее сравнения с поверхностью образцов шероховатости, аттестованных установленным порядком.

Визуальный и измерительный контроль проводят в соответствии с операционной технологической картой контроля. Операционные технологические карты устанавливают очередность выполнения отдельных операций контроля и их содержание. Операционные технологические карты должны содержать: наименование объекта контроля, перечень НТД, на основании которых осуществляется контроль сварного соединения этого объекта, сведения о конструкции контролируемого сварного соединения и его параметрах (диаметр, толщина стенки и др.), требования к подготовке объекта (сварного соединения) к контролю, схемы и параметры контроля, идентификационные признаки выявляемых дефектов и ложных индикаций, требования к оборудованию и материалам, перечень и очередность выполнения операций по подготовке и проведению контроля, а также операций по обеспечению требований безопасности, порядок обработки результа-

тов контроля и оценки качества проконтролированного объекта (сварного соединения).

Перед началом контроля специалист, осуществляющий контроль, должен:

- получить задание на контроль с указанием типа и номера сварного соединения и его расположения на контролируемом объекте, параметров соединения и его элементов;

- ознакомиться с технологической инструкцией и операционной технологической картой, конструкцией и особенностями технологии выполнения сварных соединений в части способа сварки, а также документацией, в которой указаны допущенные отклонения от установленной технологии.

Ввиду того, что основные технические средства визуального и измерительного контроля доступны каждому, а сама процедура контроля кажется достаточно простой, часто предполагают, что любое осуществление этого метода может быть простым и быстрым. Фактически же, визуальный и измерительный контроль является таким же современным сложным видом контроля, как другие виды неразрушающего контроля и требует тщательной квалификационной подготовки, тем более, что при этом виде контроля существенную роль играют субъективные оценки качества объекта контроля (особенно это проявляется при контроле сварных швов).

Персонал, осуществляющий визуальный контроль, согласно [15], должен:

- хорошо знать необходимые для контроля документы;
- обладать необходимой информацией о применяемых способах сварки;
- иметь хорошее зрение, которое должно проверяться один раз в год в соответствии с требованиями EN 473.

Специалисты, осуществляющие визуальный и измерительный контроль, должны быть аттестованы в соответствии с правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля. Согласно этому стандарту, сертифицированному специалисту присваивается один из трех уровней в зависимости от его квалификации. Право давать заключение по результатам контроля имеет специалист второго уровня квалификации. В соответствии с областью компетентности, определенной сертификатом, персонал второго уровня может осуществлять:

- выбор технических приемов неразрушающего контроля для применяемого метода;

- определение ограничений применяемого метода;
- переработку стандартов по неразрушающему контролю и технических условий в инструкции;
- настройку и проверку настройки оборудования;
- контроль и надзор за контролем;
- расшифровку и оценку результатов в соответствии с применяемыми стандартами, нормами и техническими условиями;
- разработку письменных инструкций по НК;
- организацию отчетов по неразрушающему контролю.

Для получения второго уровня по визуально-измерительному методу контроля необходимо пройти обучение по специальной программе в объеме не менее 40 часов и получить соответствующее свидетельство, которое позволяет сдать общий, специальный и практические экзамены в центре сертификации. Кроме того, у кандидата должен быть производственный стаж 4 месяца по визуально-измерительному методу контроля, а также он должен представить справку об удовлетворительном состоянии своего зрения.

Результаты визуального и измерительного контроля на стадиях входного контроля материала и производства работ по изготовлению, монтажу, ремонту (подготовка деталей, сборка деталей под сварку, сварные соединения (наплавки), исправлению дефектов технических устройств и сооружений, а также в процессе эксплуатации технических устройств и сооружений фиксируются в учетной (журнал учета работ по визуальному и измерительному контролю) и отчетной (акты, заключения, протоколы) документации.

Литература

1. ГОСТ 23479-79. «Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования».
2. СТБ 1133-98. «Соединения сварные. Метод контроля внешним осмотром и измерениями. Общие требования».
3. РД 03-606-03. «Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003.
4. ГОСТ 30242. «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация и определения».
5. СТБ EN ISO 6520-1-2009. «Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах».
6. СТБ 1016-96. «Соединения сварные. Общие технические условия».
7. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Утверждены постановлением МЧС Республики Беларусь 27 декабря 2005 г. № 56.

8. РД 24.090.97-98. «Оборудование подъемно-транспортное. Требования к изготовлению, ремонту и реконструкции металлоконструкций грузоподъемных кранов».
9. ГОСТ 5264-80. «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
10. ГОСТ 8713-79. «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
11. ГОСТ 11533-75. «Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами».
12. РД 34.10.130-96. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.: АНТЦ «Энергомонтаж», 1996.
13. EN 970:1997. Европейский стандарт. Неразрушающий контроль сварных швов, выполненных сваркой плавлением. Визуальный контроль.
14. СТБ ЕН 970-2003. «Контроль неразрушающий сварных соединений. Визуальный метод».
15. СТБ ЕН 473-2011. «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля. Общие требования».

Статья поступила в редакцию 03.12.13

Международный календарь конференций

<http://www.efndt.org/Services/Calendar>

iCT2014 - 5th Conference on Industrial Computed Tomography

<http://www.3dct.at/ict2014>.

25.02-28.02.2014, Wels/Austria

FH OÖ, DGZfP, SGZP, ÖGfZP, DGM

The Upper Austria University of Applied Sciences is planning its fifth Conference on Industrial Computed Tomography (iCT2014) together with the DGZfP, SGZP and ÖGfZP as well as the DGM Tomography Research Group

6th International Workshop on Terahertz Technology and Applications

<http://www.vdi.de/technik/fachthemen/mess-und-automatisierungstechnik/weitere-veranstaltungen/details-veranstaltungen/twevent/220/>

11.03-12.03.2014, Kaiserslautern/Germany

Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques (IPM)

The workshop is jointly organized by Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques (IPM) and the Division Optical Technologies of the VDI/VDE Society Measurement and Automatic Control (GMA)

8. Fachtagung Zerörungsfreie Prüfung im Eisenbahnwesen, ZfP an Schienenfahrzeug- und Fahrbahnkomponenten

<http://www.dgzfp.de/seminar/eisenbahn>

18.03-20.03.2014, Wittenberge/Germany

DGZfP

Aerospace NDT Symposium

<http://www.bindt.org/>

30.04-01.05.2014, Bristol/UK

BINDT

28. Control

<http://www.control-messe.de/control/>

06.05-09.05.2014, Stuttgart/Germany

Messe Stuttgart

Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung

Nondestructive Evaluation of Aerospace Materials and Structures

<https://www.asnt.org/>

12.05-14.05.2014, St. Louis/Missouri/USA

ASNT

DGZfP-Jahrestagung 2014

<http://jahrestagung.dgzfp.de/>

26.05-28.05.2014, Potsdam/Germany

DGZfP

11th Int. Conference on Non-Destructive Investigations and Microanalysis
for the Diagnostics and Conservation of Cultural and Environmental Herit-
age - art '14

<http://www.aend.org/menuprincipal.html>

11.06-13.06.2014, Madrid/Spain

Spanish Society for NDT (AEND) and Italian Society for NDT

Far East NDT 2014

<http://www.fendti.com/>

20.06-23.06.2014, Chengdu/China

Far East NDT New Technology & Application Forum

12th Int. Conference on Quantitative InfraRed Thermography (QIRT 2014)

<http://qirt2014.scientific-event.com/>

07.07-11.07.2014, Bordeaux/France

31st EUROPEAN CONFERENCE ON ACOUSTIC EMISSION TESTING

<http://www.ewgae2014.com/>

03.09-05.09.2014, Dresden/Germany

EWGAE, DGZfP

DVS Congress 2014

<http://www.dvs-ev.de/2014/>

15.09-16.09.2014, Berlin/Germany

DVS

Große Schweißtechnische Tagung DVS-Studentenkongress

10th World Conference on Neutron Radiography (WCNR-10)

<http://indico.psi.ch/conferenceDisplay.py?confId=2019>

05.10-10.10.2014, Grindelwald/Switzerland

ISNR

11th European Conference on NDT (ECNDT)

<http://ecndt2014.com/Text/main-page>

06.10-10.10.2014, Prague/ Czech Republic

EFNDT,CNDT

The conference, joined with large exhibition of NDT technique and services, will provide the good opportunity to present the latest research results and the newest NDT technique along with current applications.

ASNT Annual Conference 2014

<https://www.asnt.org/>

27.10-30.10.2014, Charleston/South Carolina/USA

ASNT

Koordinatenmesstechnik 2014

<http://www.vdi.de/technik/veranstaltungen/>

19.11-20.11.2014, Braunschweig/Germany

VDI

VDI Fachtagung und Aussprachetag

Int. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)

<http://www.ndt-ce2015.net/>

15.09-17.09.2015, Berlin/Germany

DGZfP, BAM

Conference language is English

19th World Conference on Non-Destructive Testing

<http://www.wcndt2016.com/>

13.06-17.06.2016, München/Germany

DGZfP



Бурак Вероника Анатольевна

Burak V.A.

кандидат технических наук
ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
старший научный сотрудник
Адрес: 220072 Минск, ул. Академическая, 16
Тел. +(375 17) 284 24 30,
e-mail: veronika.burak@gmail.com



Горбаш Владимир Григорьевич

V.G. Gorbash

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент,
доцент кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» факультета охраны труда и промышленной безопасности МИПК и ПК БНТУ, заведующий лабораторией неразрушающего контроля МИПК и ПК БНТУ
220014 г. Минск, ул. Минина, 23, корп. 2.
Тел.: 8-017-380-52-85, 8-029-6462442 (velcom),
e-mail: v_gorbash@tut.by



Делендик Михаил Николаевич

Delendick M.N.

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств» факультета охраны труда и промышленной безопасности МИПК и ПК БНТУ.
220014 г. Минск, ул. Минина, 23, корп. 2.
Тел.: 8-017-380-52-85, 8-044-7013847 (velcom),
e-mail: del_minina@mipk.by



Короткевич Зоя Марковна

Korotkevich Z.M.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
аспирант
Адрес: 220072 Минск, ул. Академическая, 16
Тел. +(375 17) 284 24 30,
e-mail: kzm@iaph.bas-net.by



Матюк Владимир Федорович

Matyuk V.F.

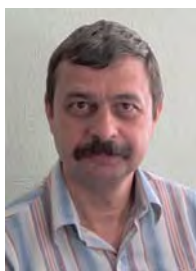
доктор технических наук
ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
заведующий лабораторией
Адрес: 220072 Минск, ул. Академическая, 16
Тел. +(375 17) 284 18 55,
e-mail: matyuk@iaph.bas-net.by



Мигун Николай Петрович

Migoun N.P.

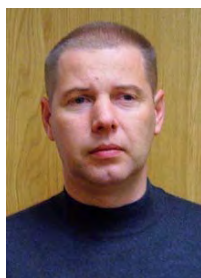
*доктор физико-математических наук
ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
директор
Адрес: 220072 Минск, ул. Академическая, 16
Тел./факс (+375 17) 284 17 94,
e-mail: migoun@iaph.bas-net.by*



Павленко Павел Николаевич

Pavlenko P.N.

*старший преподаватель кафедры «Безопасность технологических
процессов и производств» факультета охраны труда и промышлен-
ной безопасности МИПК и ПК БНТУ, старший инженер лаборатории
неразрушающего контроля МИПК и ПК БНТУ
220014 г. Минск, ул. Минина, 23, корп. 2
Тел.: 8-017-380-52-85,
8-029-3499541 (velcom)*



Стрелюхин Александр Владиславович

Streliukhin A.V.

*кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Строительная механика» строительного
факультета БНТУ
220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65.
Тел.: 8-029-6414155 (velcom).
E-mail: 33770011@mail.ru*

**Правила для авторов
научно-практического журнала
«Неразрушающий контроль и диагностика»**

Для публикации оригинальной статьи авторы должны представить в редакцию следующие материалы:

1. Авторское заявление с указанием контактной информации (в электронном и бумажном виде).

2. Направление от организации, в которой выполнялась работа (в бумажном виде на бланке организации). Направление не требуется, если работа выполнялась за рубежом.

3. Файл с текстом статьи в формате WinWord, а также в бумажном виде или в электронном в формате pdf. Если одновременно с русским текстом статьи по желанию авторов публикуется ее английский перевод, он представляется отдельно.

4. Файлы в формате WinWord с текстом аннотации на русском и английском языках. Перевод на английский язык осуществляется авторами. Каждая аннотация, кроме собственно текста, должна включать в себя заглавие статьи, фамилии и инициалы авторов, также на русском и английском языках.

5. Файл в формате WinWord, в котором следует указать информацию для Авторского указателя:

- на русском языке – сведения об авторах (фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звание, должность, место работы, телефон, факс, адрес электронной почты и другая контактная информация по усмотрению автора);

- на английском языке – транслитерацию фамилий и имен авторов, а также название учреждений, где выполнялась работа.

6. Фотографии авторов в электронном виде для размещения в Авторском указателе. Фамилия автора должна входить в имя файла с фотографией.

Бумажные версии документов могут быть представлены в редакцию любым из следующих способов:

- отправлены по факсу редакции: **(+375 17) 284 17 40;**

- присланы обычной почтой или переданы непосредственно по адресу: 220072, г. Минск, ул. Академическая, 16, **Государственное предприятие «Диатех», редакция журнала «Неразрушающий контроль и диагностика».**

Электронные версии документов должны быть присланы в редакцию по электронной почте на адрес *info@science.by*.

К публикации в журнале «Неразрушающий контроль и диагностика» принимаются статьи, прошедшие рецензирование. Поступившая в редакцию рукопись направляется по выбору редакции на отзыв специалисту в данной области исследований. Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала на основании экспертных оценок рецензентов с учетом соответствия представленных материалов тематической направленности журнала, их научной значимости и актуальности. Рукопись, получившая отрицательные отзывы двух независимых рецензентов, решением редколлегии отклоняется.

Как правило, объем статьи не должен превышать 10-15 страниц машинописного текста (включая таблицы и список литературы на отдельных страницах), количество иллюстраций – не больше четырех. Объем научного обзора не должен превышать 25 страниц.

Статьи должны быть написаны на русском (или английском) языке, отредактированы и оформлены в соответствии с нижеследующими требованиями.

Основной текст статьи

Каждая статья должна представлять собой файл, содержащий текст, набранный в редакторе WinWord, шрифт Cambria, кегль 14 пунктов, 1 интервал. При отсутствии установленного шрифта Cambria допустимо использовать шрифт Times New Roman. Должен быть включен режим автоматического переноса.

Перед текстом статьи отдельной строкой в левом верхнем углу обязательно должен быть приведен код универсальной десятичной классификации (УДК) тематики статьи (шрифт – кегль 12).

Статья начинается с заголовка, который пишется строчными буквами полужирным шрифтом размером 16 пунктов. Далее следует список авторов в формате «фамилия, инициалы», который пишется полужирным шрифтом 14 пунктов. Имена авторов разделяются запятыми.

Текст аннотации в виде абзаца с выравниванием по ширине с отступами 5 мм справа и слева шрифтом 12 пунктов.

Страницы статьи не должны быть пронумерованы. Поля на странице должны быть: левое и правое – по 25 мм, верхнее – 30 мм, нижнее – 32 мм.

Графические иллюстрации

Таблицы, иллюстрации и подписи к ним размещаются в тексте статьи при первом их упоминании. При этом следует избегать использования опции «обтекание текста».

Таблицы снабжаются тематическими заголовками и нумеруются арабскими цифрами в порядке их упоминания в тексте. Все графы в таблицах должны иметь заголовки. Сокращение слов в таблицах не допускается. Все аббревиатуры должны быть расшифрованы в сносках к таблице.

Графики и схемы должны выполняться с помощью графического редактора CorelDraw. Использование графических средств Microsoft Office крайне нежелательно из-за частых искажений рисунков при верстке, преобразовании в pdf-формат и печати. Рисунки следует присылать в виде отдельных файлов с сохранением форматов, использованных для их создания. Недопустимо использовать при создании рисунков «волосяные» линии (1/4 пункта). Эти линии хорошо видны на экране монитора, но исчезают в печатной версии документа.

Фотографии представляются в виде отдельных файлов в форматах jpeg, tiff, bmp, png с разрешением 300-600 dpi.

Штриховые рисунки, выполненные от руки, должны быть отсканированы в режиме bitmap с разрешением не ниже 600 dpi и сохранены в формате tiff.

Формулы

Математические формулы набираются в WinWord встроенным редактором формул, в качестве которого в последних версиях WinWord используется упрощенный вариант редактора формул MathType. В случае недостаточности упрощенного варианта необходимо установить полную коммерческую версию MathType. Уравнения располагаются по центру строки и нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках в порядке их упоминания в тексте. Номера уравнений выравниваются по правому краю строки. Уравнения отделяются от текста сверху и снизу одной пустой строкой. При написании нескольких уравнений они также разделяются пустой строкой.

В НОМЕРЕ

50 ЛЕТ ИПФ НАН БЕЛАРУСИ	3
50 лет Институту прикладной физики НАН Беларуси <i>Мигун Н.П.</i>	3
НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ	10
Улучшение метрологических характеристик мер градиента магнитного поля типа МГПД <i>Матюк В.Ф.</i>	10
Информативные параметры для магнитного контроля качества отпуска инструментальной углеродистой стали У8А <i>Бурак В.А., Короткевич З.М.</i>	31
Неразрушающий контроль в промышленности. Визуальный и измерительный контроль сварных соединений <i>Горбаш В.Г., Делендик М.Н., Павленко П.Н., Стрелюхин А.В.</i>	42
КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ НК И ТД	53
Международный календарь конференций	53
Авторский указатель	56
Правила для авторов	58

50 лет

Институту прикладной физики НАН Беларуси

(стр. 3 - 9)



1975 год