



The methods of correction of rejected limits of automated control line and automated sorting on processibility of unturned nipple castings of malleable cast iron KCh 30-6 on the basis of devices Maxi-P is developed and implemented in production of Minsk plant of heating equipment.

С. Г. САНДОМИРСКИЙ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
В. А. ВЕРШИНИН, ОАО «Минский завод отопительного оборудования»

УДК 620.179.14

КОРРЕКТИРОВКА БРАКОВОЧНЫХ ПРЕДЕЛОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ РАЗБРАКОВКИ ПО ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ НЕОБТОЧЕННЫХ ОТЛИВОК НИППЕЛЕЙ ИЗ КОВКОГО ЧУГУНА КЧ30-6 ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ РАЗМЕРОВ

Введение

ОАО «Минский завод отопительного оборудования» — крупнейший в СНГ производитель отопительных радиаторов, предназначенных для установки в жилых и производственных помещениях. Важной деталью радиатора, соединяющей его секции между собой, является «ниппель 1¼»», отливка которого представляет собой полый цилиндр длиной 30 мм, наружным диаметром 43 мм и толщиной стенки 7 мм (рис. 1). На наружной поверхности отливки после обточки на станках-автоматах осуществляется нарезка левой и правой резьбы. Требования к прочности и обрабатываемости детали обуславливают необходимость изготовления ее из ферритного ковкого чугуна КЧ30-6, процесс получения которого включает отжиг отливок из белого чугуна. Нарушения химического состава отливок, связанные с нестабильностью состава шихты, приводят к появлению отливок, содержащих после отжига отбеленные участки или повышенное содержание перлита в структуре. Это вызывает повышение твердости отливки или неравномерное ее распределение, приводит к ломке обрабатывающего инструмента, нарушениям размеров нарезанной резьбы. Непосредственное измерение общепризнанной характеристики полноты отжига ковкого чугуна (твердости по Бринеллю) невозможно на тонкостенных отливках, непроизводительно и не всегда достоверно характеризует обрабатываемость отливок. Необходим контроль соответствия структуры отливок структуре ковкого чугуна до поступления их на механическую обработку.

На ОАО «МЗОО» решена задача 100%-ного контроля структуры всех отливок ниппеля после отжига перед обточкой. Учитывая большую разницу в коэрцитивной силе H_{CS} белого и ковкого

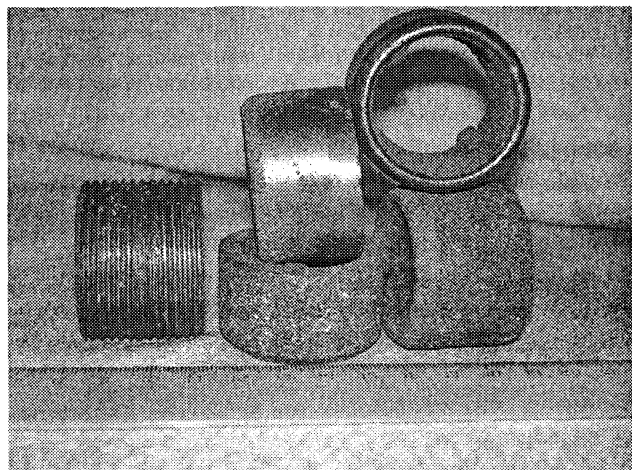


Рис. 1. Внешний вид отливок «ниппель 1¼» различной длины

чугунов [1], задача решена с использованием магнитного метода контроля. Необходимость обеспечения заданной структуры каждой из 50 тыс. выпускаемых в 1 сут отливок обусловила создание автоматизированной линии контроля неоточенных отливок ниппелей на базе наиболее совершенного прибора контроля изделий в движении — «Магнитного анализатора качества структуры изделий Макси-П (портативного)» [2]. Внедрение в производство автоматизированной линии контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости неоточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ30-6 на базе приборов Макси-П осуществлено в 2002 г. [3]. Кроме предотвращения попадания на операции механической обработки отливок повышенной твердости, это позволило отправлять отбракованные по структуре отливки не на переплавку, а на дополнительный отжиг, что экономит энергетические и материальные ресурсы. Эксплуатация

линии в цехе ковкого и серого чугуна ОАО «МЗОО» повысила рентабельность производства ниппелей, позволила обеспечить потребность завода, отказаться от замены чугунных ниппелей на импортные стальные, обеспечить их экспортные поставки.

С целью экономии металла завод перешел к производству ниппелей, длина которых уменьшена на 5 мм (рис. 1). Это вызвало необходимость корректировки порога отбраковки отливок без изменения других параметров контроля.

Постановка задачи

Цель работы – получить и обосновать количественные данные по корректировке браковочного предела автоматизированной линии контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости необточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ30-6 на базе приборов Макси-П при изменении длины контролируемых отливок ниппелей с 30 до 25 мм.

Технические требования: при изменении браковочного предела должно быть обеспечено сохранение структурных параметров отливок, отбраковываемых прибором и пропускаемых в число годных для дальнейшей обработки.

Краткое описание прибора Макси-П

Прибор Макси-П (рис. 2) предназначен для магнитного контроля структуры и физико-механических свойств (твердости, предела прочности и др.) и автоматической разбраковки деталей и заготовок из ферромагнитных сталей и чугунов. Отличается малогабаритными размерами и массой, удобством включения в действующие технологические циклы производства, повышенной надежностью от заклинивания изделий в преобразователе. Принцип действия при-

бора заключается [2, 4] в бесконтактном намагничивании изделия в открытой магнитной цепи при его свободном падении сквозь область с намагничивающим полем постоянной напряженности H_c и измерении величины Φ_d остаточного магнитного потока в изделии при его движении сквозь область, где намагничивающее поле экранировано. Намагничивание осуществляется в стационарном поле двухполюсной магнитной системы напряженностью около 60 кА/м. Намагничивающее поле ортогонально направлению движения изделия. При своем движении намагниченное изделие индуцирует в измерительном преобразователе специальной конструкции сигнал, вольт-секундная площадь полуволны которого измеряется в мкВб и индицируется на двухразрядном цифровом табло прибора. Результат измерения сравнивается с предварительно установленными пределами годности изделия по измеряемому параметру. По результату сравнения исполнительный механизм осуществляет сортировку изделий на годные и брак с производительностью до 2 изд/с.

Количественный анализ взаимосвязи микроструктуры и магнитных свойств отливок изделий «ниппель 1¼"» из ковкого чугуна КЧ30-6

Исследование влияния микроструктур отливок «ниппель 1¼"» стандартного размера на показания прибора Макси-П и определение на этой основе порогов показаний прибора для разбраковки необточенных отливок ниппелей на группы по обрабатываемости проведено в [5]. На рис. 3 приведена взаимосвязь между процентным содержанием феррита в отливках «ниппель 1¼"» из ковкого чугуна КЧ30-6 и показаниями прибора Макси-П при контроле этих отливок. Установлена устойчивая взаимосвязь показаний прибора с микроструктурой исследованных отливок. Значениям показаний прибора Макси-П 4–13 мкВб соответствует наиболее благоприятная для механической обработки структура отливок: 100–80% феррита. При этом в отливках отсут-

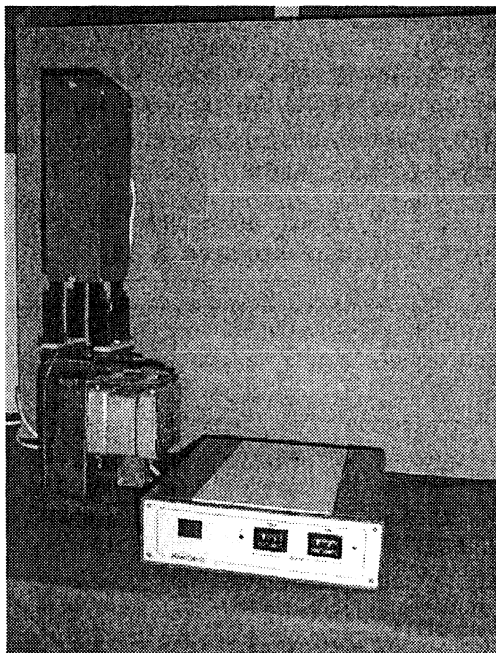


Рис. 2. Внешний вид прибора Макси-П

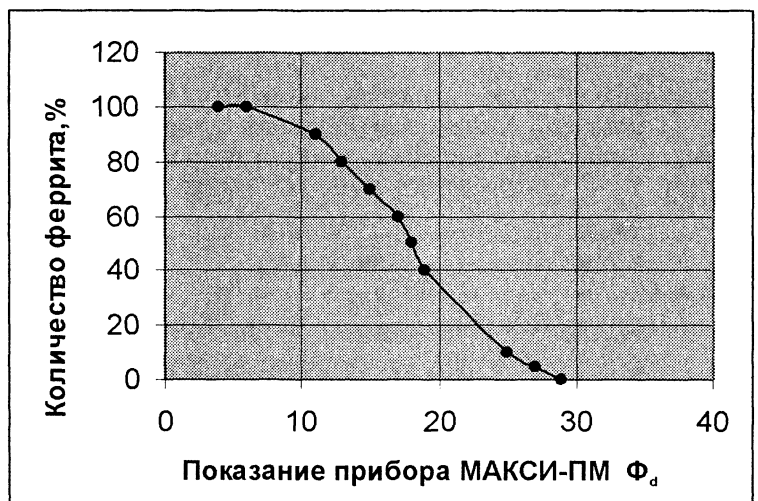


Рис. 3. Влияние содержания феррита в отливке на показания прибора Макси-П

ствует перлитная кайма и обрабатываемость отливок наилучшая. Для разбраковки отливок «ниппель 1¼» по обрабатываемости установлен порог показаний прибора Макси-П 13 мкВб.

Расчет относительного изменения остаточного магнитного потока в отливке «ниппель 1¼» при изменении ее размеров

Для анализа условий намагничивания и формирования остаточной намагниченности ниппелей при магнитном контроле структуры необходимо знать их центральный коэффициент размагничивания N . Точный расчет N возможен только для однородно намагничиваемых тел. Для расчета N эллипсоида вращения с отношением осей λ , намагничиваемого вдоль оси вращения, получена [6] формула:

$$N = \mathcal{E}(\lambda), \tag{1}$$

где

$$\mathcal{E}(\lambda) = \frac{1}{1-\lambda^2} \left[1 - \frac{\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}} \arccos \lambda \right] \tag{2}$$

для $0 \leq \lambda < 1$,

$$\mathcal{E}(\lambda) = \frac{1}{\lambda^2 - 1} \left[\frac{\lambda}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} \ln(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) - 1 \right] \tag{3}$$

для $\lambda > 1$.

Для расчета центрального коэффициента размагничивания N цилиндра из материала с высокой магнитной проницаемостью μ при намагничивании параллельно образующей следует рекомендовать интерполирующую формулу, предложенную К.Вармутом [7]:

$$N \approx \mathcal{E}(\lambda)k(\lambda), \tag{4}$$

где

$$k(\lambda) = \frac{1 + 2,35 \ln(1 + 0,137\lambda)}{1 + 2,28 \ln(1 + 0,284\lambda)}; \tag{5}$$

λ — отношение длины L к диаметру D цилиндра.

Модель изделия «ниппель 1¼» при намагничивании в разомкнутой магнитной цепи и формировании остаточного магнитного потока Φ_d

может служить полый цилиндр из ферромагнитного материала с $\mu \gg 1$. Рассмотрим (рис. 4) полый цилиндр длиной L , наружным диаметром D и толщиной δ стенки. Размеры цилиндра будем

характеризовать параметрами $\lambda = \frac{L}{D}$ и $h = \frac{2\delta}{D}$.

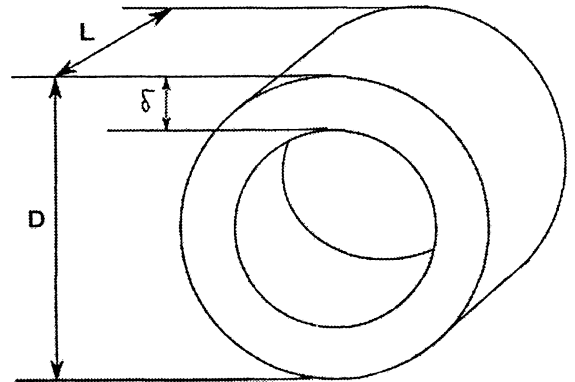


Рис. 4. Вводимая система обозначений размеров полого цилиндра

В [8] показано, что при намагничивании параллельно образующей (в таком направлении намагничивается отливка изделия «ниппель 1¼» в преобразователе прибора Макси-П) центральный коэффициент размагничивания N полых цилиндров при $0,6 \leq \lambda \leq 50$ в технических расчетах следует определять по формуле:

$$N = h(2-h)\mathcal{E}(\lambda)k(\lambda). \tag{6}$$

Содержащая не берущиеся двойные интегралы формула для расчета N полых цилиндров, предложенная в [9], не пригодна для использования в расчетах из-за чрезмерной сложности и недостаточной точности описания экспериментальных результатов в практически важном диапазоне изменения λ и h полых цилиндров, связанной с методическими упрощениями расчетной модели.

Сопоставление (табл. 1) расчета N полых цилиндров по формуле (6) с экспериментальными результатами, представленными в [9, 10], обосновывает правомерность использования формулы (6) вплоть до значения $\lambda=0,2$.

Таблица 1. Сопоставление результатов расчета (жирный шрифт) N полых цилиндров по формуле (6) с экспериментальными результатами по [9*, 10], представленными в [9]**

λ	$h=1$	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
0,2	0,709	0,681	0,595 0,5**	0,452 0,4**	0,362	0,255 0,26**	0,135
0,4	0,532	0,51	0,446 0,36**	0,34 0,29**	0,271	0,191 0,17**	0,101
1	0,276 0,257*	0,265 0,2509*	0,232 0,2161* 0,19**	0,177 0,1726* 0,15**	0,147 0,1296*	0,099 0,0975* 0,082**	0,053 0,0483*
2	0,134 0,125*	0,129 0,1213*	0,113 0,1053* 0,1**	0,086 0,0814* 0,08**	0,069 0,0633*	0,048 0,0451* 0,042**	0,026 0,02416*
3	0,082 0,0782*	0,079 0,0741*	0,069 0,0649*	0,052 0,05*	0,042 0,0391*	0,029 0,02807*	0,016 0,01477*
4	0,056	0,054	0,047 0,05**	0,036 0,038**	0,029	0,020 0,021**	0,011

На рис. 5 приведены результаты расчета по формуле (6) N полого цилиндра с $h=0,264$ (что соответствует толщине стенки изделия «ниппель 1¼»») и сплошного цилиндра ($h=1$) от их относительной длины λ . Из рисунка видно, что N (и условия намагничивания) ниппелей при $\lambda=0,575$ и $0,69$ соответствуют N сплошного цилиндра с $\lambda \approx 1,4$ и $1,6$. Результаты расчета по формуле (6) N отливок старого и нового ниппеля (табл. 2) показали, что при уменьшении длины отливки на 5 мм N увеличивается на 13%.

Оценим напряженность H_e поля, необходимого для намагничивания отливок ниппеля до магнитного состояния $M_m \approx 0,9M_s$. Из [11] получим

$$H_e \approx H_{cs} \left[\frac{2}{\pi \operatorname{tg} \left(\frac{\pi M_R}{2M_s} \right) \delta_2} + \frac{NM_s}{H_{cs}} (1 - \delta_2) \right], \quad (7)$$

где M_R и M_s — остаточная намагниченность и намагниченность насыщения материала;

$\delta_2 = 1 - \frac{M_m}{M_s}$ — погрешность измерения M_s материала изделия по намагниченности M_m в поле H_e .

Таблица 2. Геометрические размеры и параметры отливок старого и нового ниппелей

«Ниппель 1¼»	Размеры по рис. 4, мм			Параметры		
	D	δ	L	λ	h	N
Старый	43,5	5,75	30	0,69	0,264	0,172
Новый	43,5	5,75	25	0,575	0,264	0,196

ничиваемых ниппелей носит практически линейный характер. Поэтому для расчета коэрцитивной силы H_c частного цикла петли гистерезиса, на котором происходит формирование остаточной намагниченности ниппелей, используем формулы:

$$H_c \approx H_{cs} \frac{M_m}{M_s} \quad (8)$$

и

$$M_m \approx \frac{H_e}{N}. \quad (9)$$

Остаточный магнитный поток Φ_d в отливке [12] определяем по формуле:

$$\Phi_d = \mu_0 S M_d (1 - N), \quad (10)$$

где S — площадь сечения отливки; M_d — остаточная намагниченность отливки.

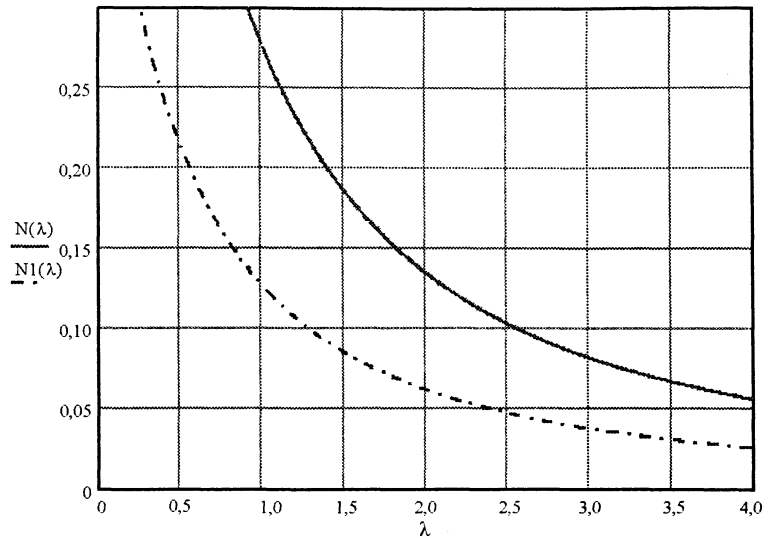


Рис. 5. Зависимость центрального коэффициента N размагничивания полого цилиндра при $h=0,264$ (пунктир) и сплошного цилиндра ($h=1$, сплошная кривая) от их относительной длины λ . Расчет по формуле (1)

Магнитные свойства ковкого чугуна при расчете по формуле (7) будем считать равными [1]: $M_s = 1433$ кА/м, $M_R = 440$ кА/м, $H_{cs} = 0,2$ кА/м.

При $\delta_2 = 0,1$ получим из (7) для требуемых напряженностей H_e намагничивающего поля при намагничивании ниппелей старого и нового размеров соответственно значения 224 и 255 кА/м.

Полученные значения H_e примерно в 4 раза превосходят напряженность намагничивающего поля прибора Макси-П. При намагничивающем поле 60 кА/м зависимость $M_m = M_m(H_e)$ намаг-

Учитывая большой N ниппелей, M_d отливок [12] рассчитываем по формуле:

$$M_d \approx \frac{H_c}{N}. \quad (11)$$

Из (8)–(11) получим формулу для расчета нового порога Φ_2 разбраковки ниппелей по значению Φ_1 старого порога разбраковки с учетом изменения размеров ниппелей:

$$\Phi_2 \approx \Phi_1 \frac{N_1^2 (1 - N_2)}{N_2^2 (1 - N_1)}, \quad (12)$$

где N_1 и N_2 — соответственно центральные коэффициенты размагничивания ниппеля старого размера и укороченного, вычисленные по (6).

Расчет по (12) с учетом данных для N_1 и N_2 старого и нового ниппелей (табл. 2) позволил получить значение для порога разбраковки укороченных ниппелей $\Phi_2 = 9,7 = 10$ [13].

Разработанная методика внедрена в цехе ковкого и серого чугуна ОАО «МЗОО». Эксплуатация линии (рис. 6) подтвердила правильность сделанной рекомендации. Даже отбракованные ниппели, отбракованные визуальным методом по характерному блеску и имеющие проказания прибора Макси-П 10 мкВб и менее, беспрепятственно обрабатывались на обычных режимах резания. Общее количество отливок ниппеля, произведенных в 2007 г. и допущенных к механической обработке по результатам контроля, составило 10 567 770 шт. Из них, по данным ОТК завода, использовано для механической обработки 94,8%. Большинство из отбракованных в механосборочном цехе ниппелей имело литейные, а не структурные дефекты. Фактический экономический эффект от использования линии в 2007 г. без учета стоимости экономленного обрабатывающего инструмента и оснастки превысил 864 млн. руб.

Выводы

Получены и обоснованы количественные данные по корректировке браковочного предела автоматизированной линии контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости необточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ30-6 на базе приборов Макси-П при изменении длины контролируемых отливок ниппелей с 30 до 25 мм. Для расчета центрального коэффициента N размагничивания полых цилиндров из материала с высокой магнитной проницаемостью использована формула (6). Результаты расчета изменения N отливки при уменьшении ее длины на 5 мм показали, что N увеличивается на 13%. По результатам расчета остаточного магнитного потока Φ_d в отливке, выполненного с учетом изменения N отливки при сохранении площади ее сечения, дана рекомендация о снижении порога отбраковки отливок с 13 до 10 мкВб. Результаты эксплуатации линии в 2007 г. подтвердили правильность сделанной рекомендации.

Литература

1. Горкунов Э.С., Сомова В.М., Ничипурок А.П. Магнитные свойства и методы контроля структуры и прочностных характеристик чугунных изделий (обзор) // Дефектоскопия. 1994. №10. С. 54–82.
2. Сандомирский С.Г. Магнитный контроль физико-механических свойств изделий массового производства в движении (обзор) // Дефектоскопия. 1996. №7. С. 24–46.
3. Сандомирский С.Г., Писаренко Л.З., Лукашевич С.Ф. Опыт использования приборов МАКСИ для

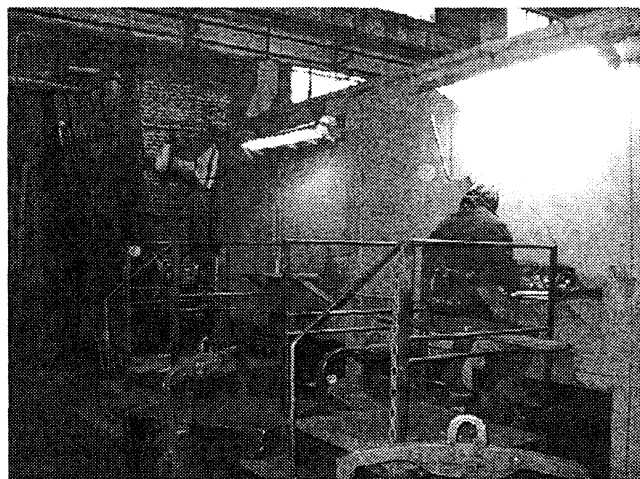


Рис. 6. Автоматизированная линия сортировки по структуре необточенных отливок ниппеля в цехе ковкого и серого чугуна ОАО «МЗОО»

автоматизированного контроля структуры отливок из ковкого и высокопрочного чугунов магнитным методом // Литье и металлургия. 2002. № 3. С. 41–44.

4. Сандомирский С.Г. Устройство для сортировки тел качения: А.с. СССР 1801623: Б.И. № 10, 1993.

5. Писаренко Л.З., Сандомирский С.Г., Лукашевич С.Ф. Количественный анализ взаимосвязи микроструктуры и магнитных свойств изделий типа «ниппель 1¼» из ковкого чугуна КЧ30-6 // Дефектоскопия. 2002. № 4. С. 18–24.

6. Аркадьев В.К. Магнитные коэффициенты формы, вещества и тела // Журн. Русск. физ.-хим. об-ва. 1914. Т. 46. Вып. 1. С. 22–42.

7. Warmuth K. Über den ballistischen Entmagnetisierungsfaktor zylindrischen Stäbe // Archiv Fur Elektrotechnik. 1954. Vol.41. N. 5. P. 242–257.

8. Сандомирский С.Г. Анализ условий намагничивания в разомкнутой магнитной цепи промышленных изделий в форме полых цилиндров из материала с высокой магнитной проницаемостью // Материалы III Рос. науч.-техн. конф. «Разрушение, контроль и диагностика материалов и конструкций». Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2007. С. 24.

9. Матюк В.Ф., Осипов А.А., Стрелюхин А.В. Центральный коэффициент размагничивания полых цилиндрических стержней из материала с высокой магнитной проницаемостью // Дефектоскопия. 2007. № 3. С. 26–36.

10. Okoshi T. Demagnetizing Factors of Rods and Tubes Computed from Analog Measurements // J. Appl. Physics. 1965. Vol. 36. N. 8. P. 2382–2387.

11. Сандомирский С.Г. Выбор величины намагничивающего поля при магнитоструктурном анализе ферромагнитных изделий // Дефектоскопия. 1991. № 7. С. 42–48.

12. Сандомирский С.Г. Чувствительность остаточной намагниченности ферромагнитных изделий к магнитным характеристикам их материалов и геометрическим параметрам // Дефектоскопия. 1990. № 12. С. 53–59.

13. Сандомирский С.Г., Вершинин В.А. Корректировка браковочного предела при контроле структуры отливок ниппеля из ковкого чугуна // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Могилев, 2007. Ч. 2. С. 192–193.