

The physical principles of magnetic grading of the high-test cast iron castings by structure are analyzed. It is informed about the developed apparatus "Magnetic sorter MC-1", based on the method "point pole". There are given the examples of using of the apparatus at the enterprises of Belarus for control of the structure of the large dimension castings of high-strength cast iron.

С. Г. САНДОМИРСКИЙ, ИМИНМАШ НАН Беларуси

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ СТРУКТУРЫ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИБОРОМ «СОРТИРОВЩИК МАГНИТНЫЙ МС-1»

Чугун – один из наиболее используемых технологических материалов. Преимуществами чугуна являются простой и относительно дешевый процесс получения отливок сложной формы и хорошая обрабатываемость резанием. Учитывая форму графитных включений, выделяют высокопрочные чугуны с шаровидным графитом [1], которые при хороших литейных свойствах имеют механические свойства (включая пластичность), приближающиеся к свойствам литой стали. На Минском автомобильном заводе, Бобруйском машиностроительном заводе, Минском заводе отопительного оборудования и других предприятиях Беларуси выпускается широкая номенклатура крупногабаритных (массой 15–40 кг) ответственных отливок из высокопрочного чугуна. Высокопрочный чугун получают путем модифицирования жидкого чугуна небольшими добавками отдельных элементов-модификаторов. Нарушение температурных и временных режимов модифицирования приводит к появлению отливок или их участков со структурой серого чугуна, что недопустимо снижает потребительские свойства отливок.

Необходимость отбраковки отливок со структурой серого чугуна обусловила целесообразность проведения исследований по разработке методики сортировки крупногабаритных чугунных отливок по структуре. Стандартные методы определения структуры чугунных отливок [2] трудоемки, не производительны и требуют разрушения контро-

лируемого объекта для подготовки микрошлифов. Магнитный контроль чугунных отливок основан на различии магнитных свойств (прежде всего коэрцитивной силы H_c) чугунов с разной структурой [3, 4]. Результаты обобщения исследований [4] магнитных свойств чугунов со структурой высокопрочного и серого чугуна приведены в таблице. Обзор литературных данных показывает, что увеличение степени графитизации приводит к снижению H_c , особенно при распаде последних остатков цементита. Это объясняется увеличением в структуре чугуна мягкой магнитной компоненты – феррита и снижением внутренних микронапряжений за счет того, что графит создает меньшие структурные микронапряжения, чем цементит. Кроме того, снижение объема, занимаемого графитом, по сравнению с объемом исходного цементита, приводит к уменьшению коэффициента внутреннего размагничивания, так как графит и цементит можно рассматривать как немагнитные включения или пустоты, которые являются местами образования внутренних размагничивающих полей. Исследования влияния формы магнитных включений показали [3, 4], что чем она компактнее, тем мягче в магнитном отношении чугун. Поэтому высокопрочный чугун с шаровидной формой графита имеет меньшую H_c по сравнению с серым чугуном даже при одной и той же структуре матрицы. Укрупнение частиц графита как пластинчатой, так и шаровидной формы приводит к снижению H_c . Разли-

Магнитные свойства серого и высокопрочного чугунов [4]

Материал	H_c , А/см	μ_{max}	B_r , Тл	M_s , А/см
Серый чугун:	ферритный	600–1500	0,3–0,55	14330
	перлитный	200–450	0,4–0,7	13930
Высокопрочный чугун:	ферритный	1600–2400	0,3–0,6	15130
	перлитный	300–600	0,5–0,8	14730

чие в химическом составе чугунов вызывает разброс магнитных характеристик. Несмотря на это, можно говорить о существовании однозначной зависимости H_c от степени графитизации, поскольку влияние соотношения графита и цемента на нее больше, чем других факторов.

Таким образом, магнитный контроль ферромагнитных материалов может быть основан на различии их коэрцитивной силы H_c . Однако процесс непосредственного измерения H_c требует существенных энергетических затрат на намагничивание и последующее размагничивание материала. Поэтому известные приборы, принцип действия которых основан на прямом или косвенном измерении H_c материалов [5, 6] (коэрцитиметры КИФМ различных модификаций разработки Института физики металлов РАН (г. Екатеринбург) и МНПО «Спектр» (г. Москва), коэрцитиметр КРМ-Ц научно-производственной фирмы «Специальные научные разработки» (г. Харьков), импульсные магнитные анализаторы типа ИМА-4 разработки Института прикладной физики НАН Беларуси и его последующие модификации [7]), как правило, требуют для своей работы сетевого источника питания, не являются автономными и компактными. Эти приборы не всегда удобно использовать непосредственно в цехах промышленных предприятий.

Энергетические затраты на намагничивание материала могут быть исключены применением постоянного магнита по методу «точечного полюса», предложенного Ферстером [8]. Метод заключается в кратковременном контакте полюса постоянного магнита с поверхностью контролируемого объекта и последующем измерении магнитного поля намагниченного изделия. При этом напряженность поля остаточной намагниченности, сохраняющаяся на материале после удаления магнита, пропорциональна H_c материала [8]. Использование современных магнитотвердых материалов для постоянного магнита и современных магниточувствительных преобразователей позволяет создать компактный автономный универсальный магнитный сортировщик.

Наиболее удачная современная реализация метода «точечного полюса» осуществлена в приборе «Сортировщик магнитный МС-1» (рис. 1) [9]. Намагничивание контролируемого материала проводили постоянным магнитом на базе материала SmCo с концентратором из магнитомягкого материала. Площадь контактной площадки около $0,8 \text{ мм}^2$. Напряженность магнитного поля в режиме намагничивания не менее 40 кА/м . Сортировка

осуществляется по результату измерения вертикальной составляющей градиента ∇H поля остаточной намагниченности над местом контакта материала с полюсом постоянного магнита после удаления последнего в магнитомягкий экран. Диапазон измерения ∇H — от $0,2$ до 150 кА/м^2 , погрешность измерения — не более 5%. Методика поверки приборов МС-1 (№ МП МН518-98) и программа их метрологической аттестации (№ ПМА МН 311-98) утверждены ГП «Центр эталонов, стандартизации и метрологии» Госстандарта Республики Беларусь.

На рис. 2 показана функциональная схема преобразователя прибора МС-1. Перед измерением магнит взводится в позицию 1. При этом рычаг с закрепленным на нем феррозондом также перемещается в позицию 1. Затем датчик устанавливается торцом на контролируемый объект. Удерживая датчик на контролируемом объекте, нажимают на фиксатор, при этом магнит перемещается вниз до соприкосновения с контролируемым объектом. При дальнейшем движении фиксатора сжимается пружина 2 и фиксатор проскальзывает, освобождая магнит. Под действием силы, создаваемой растянутой пружиной 1, магнит и рычаг с феррозондом перемещаются в позицию 2. Феррозонд преобразует нормальную составляющую градиента ∇H поля остаточной намагниченности в электрический сигнал второй гармоники частоты питающего генератора. Этот сигнал измеряется, сравнивается с установленными браковочными пределами и индицируется на дисплее. Конструктивно прибор состоит из измерительного блока, датчика и сетевого адаптера. Датчик соединен с измерительным блоком кабелем длиной $1,5 \text{ м}$. Дисплей, клавиатура и разъем для подключения датчика размещены на передней панели измерительного блока, а гнездо для подключения сетевого адаптера — на его правой боковой стенке. Габаритные размеры измерительного блока — $130 \times 149 \times 50 \text{ мм}$, масса с аккумуляторными батареями — 520 г . Габаритные размеры датчика — $30 \times 140 \text{ мм}$, масса — 460 г .

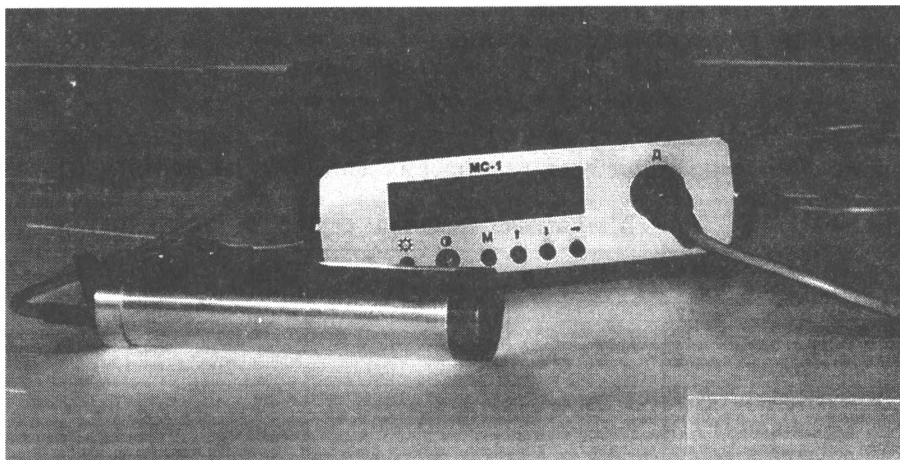


Рис. 1. Сортировщик магнитный МС-1

Прибор позволяет осуществить сортировку чугуновых отливок со структурой серого чугуна от отливок из высокопрочного чугуна. Процессу сортировки предшествует этап предварительных исследований по установлению браковочных пределов для выделения «годной» чугунной отливки от «брака» для конкретных объектов. При этом образцы контролируемых объектов предварительно аттестуются по структуре по стандартной методике [2]. Возможна, наоборот, предварительная разбраковка партии контролируемых объектов на группы, различающиеся по магнитным свойствам (например, на группы, отличающиеся друг от друга по показаниям прибора более чем на 20 %) с последующей выборочной аттестацией образцов из каждой группы стандартным методом.

Предварительная намагниченность объектов контроля может сказаться на достоверности сортировки. Оптимальные результаты сортировки могут быть получены на предварительно ненамагниченных или на размагниченных объектах контроля. При необходимости проведения повторного измерения на контролируемом объекте следует выбрать его ненамагниченный участок или размагнитить. Допустимый уровень остаточной намагниченности контролируемого объекта устанавливается экспериментально. В обычных условиях использования прибора его показания в непрерывном режиме измерения при установке датчика на контролируемый участок изделия не должны превышать 10 % от показаний прибора после осуществления операции намагничивания контролируемого объекта. Показания прибора чувствительны к «краевому эффекту» и углу наклона датчика относительно контролируемого объекта. В связи с этим точку намагничивания на контролируемом объекте нужно выбирать на расстоянии более 50 мм от его края. При невозможности выполнения этого условия следует обеспечить при измерении одинаковое положение датчика на контролируемых объектах. При измерениях следует также обеспечить вертикальное положение датчика относительно намагничиваемой поверхности контролируемого объекта.

Прибор использован для определения структуры крупногабаритных отливок из высокопрочного чугуна, производимых на Минском автомобильном заводе, Бобруйском машиностроительном заводе, Минском заводе отопительного оборудования. Во всех случаях испытания прибора на образцах чугунов с различной структурой подтвердили возможность разбраковки высокопрочного и серого чугунов (показания прибора отличаются в 1,8–2,2 раза). Так, при отбраковке отливок картера руля автомобиля МАЗ, изготовленных на Минском автомобильном заводе [10], показания прибора на различных участках отливок со структурой высокопрочного чугуна (130 шт.) находились в пределах 60–85 ед. (1 ед.=100 А/м²). Показания прибора на четырех специально

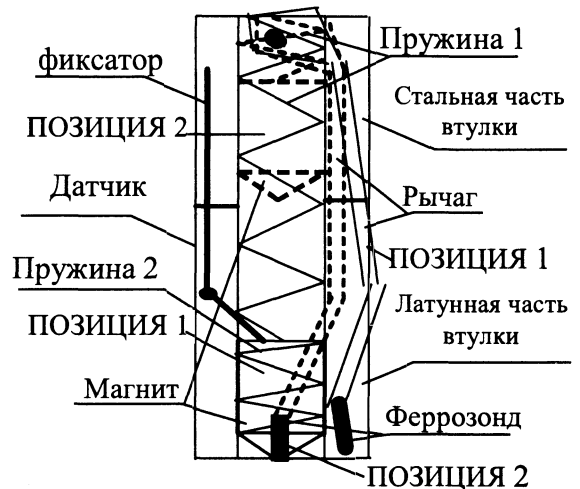


Рис. 2. Функциональная схема преобразователя прибора МС-1

подготовленных без модифицирования отливках со структурой серого чугуна составили 185–220 ед. У четырех из пяти отливок промышленной партии, отбракованных по показаниям прибора (100–170 ед.), при металлографическом анализе подтверждено преобладание структуры серого чугуна. Аналогичные результаты получены при исследовании возможности контроля структуры соединительных элементов гидротрубопроводов производства Бобруйского машиностроительного завода, отливок культиваторных дисков и горшков для отжига отливок на Минском заводе отопительного оборудования.

Литература

1. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. М.: Металлургия, 1972.
2. ГОСТ 3443-87. Методы определения структуры.
3. Русин П. И., Гофман Л.А., Капустынский М.А. Магнитная структуроскопия термически обработанного чугуна. Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1978.
4. Горкунов Э.С., Сомова В.М., Ничипурок А.П. Магнитные свойства и методы контроля структуры и прочностных характеристик чугуновых изделий (обзор) // Дефектоскопия. 1994. №10. С. 54–82.
5. Горкунов Э.С. Магнитные приборы контроля структуры и механических свойств стальных и чугуновых изделий (обзор) // Дефектоскопия. 1992. № 10. С. 3–35.
6. Горкунов Э.С., Захаров В. А. Коэрцитиметры с приставными магнитными устройствами (обзор) // Дефектоскопия. 1995. № 8. С. 69–88.
7. Матюк В.Ф., Кратиров В.Б., Мельгуй М.А. и др. Новые средства импульсного магнитного контроля механических свойств и структуры стального листового проката // 4-а Национальна науково-технічна конференція і виставка «Неруйнівний контроль та технічна діагностика». 2003. Київ, 19–23 травня 2003 г. С. 400–401.
8. Forster F., Zizelman G. Die schnelle zerstörungsfreie Bestimmung der Blechanisotropie mit dem Restpunktverfahren // Zs. Metallkde, 1954. Bd. 45. S. 245–249.
9. Сандомирский С.Г., Цукерман В.Л., Линник И.И., Делендик М.Н., Мишутко В.П. Сортировка ферромагнитных сталей по маркам прибором «Сортировщик магнитный МС-1» // Тез. докл. 15-й Российской НТК «Неразрушающий контроль и диагностика». М., 1999.
10. Сандомирский С.Г., Стаценко Н.Б., Сандомирская Е.Г., Грудницкий И.П. Результаты анализа возможности разбраковки чугуновых отливок по структуре прибором «Сортировщик магнитный МС-1» // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка. Могилев, 2000.