

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИБОРОВ ИМА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА

Мельгуй М.А., Бурак В.А., Осипов А.А.

Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Импульсные магнитные анализаторы (ИМА) используются для неразрушающего контроля структуры металла при производстве ферромагнитных изделий [1, 2]. Однако ряд задач, возникающих в металлургии и промышленности, не решается приборами ИМА, которые в большинстве случаев используют только один информативный параметр - величину градиента остаточного магнитного поля ∇H , поэтому разработаны и разрабатываются новые модификации приборов типа ИМА, измеряющие не один, а несколько параметров, например, приборы ИМА-М [3, 4] и ИМА-6 [5].

Одной из таких задач, где применение однопараметрового импульсного магнитного метода является затруднительным, является контроль чугуна. Чугуном называют железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода более 2 %. Чугун получают в процессе доменной плавки железной руды, при этом 85 % всего выплавленного чугуна приходится на перелитейный чугун [6], который направляют для дальнейшей переработки в сталь и около 15 % выплавленного чугуна приходится на литейный чугун [7], предназначенный для дальнейшей переплавки в чугунолитейных цехах при производстве чугунных отливок.

В данной работе использован комплект образцов литейного чугуна с известными экспериментально определенными свойствами: с содержанием перлита от 20 % до 80 %; внешние размеры 140x75x57 мм³. Для исследования возможности контроля механических свойств чугунных отливок применялся прибор ИМА-М [3, 4]. Намагничивание и перемагничивание осуществлялось несколькими сериями импульсов разной амплитуды и полярности как нарастающих по величине, так и спадающих. Намагничивающий соленоид и градиентометр располагались нормально к поверхности изделия. Измерения проводились на наибольшей из ровных поверхностей изделий.

Для образцов были определены пять механических и структурных параметров: содержание перлита, временное сопротивление, удельный предел текучести, удлинение и твердость по Бринелю $HВ$. Для каждого из этих параметров были построены линейные многопараметровые модели. Для каждого из двадцати многопараметровых наборов моделей была выбрана модель с максимальным коэффициентом множественной корреляции R . Для оценки полученных многопа-

раметровых моделей использовался F -критерий Фишера.

Измерения шести параметров ∇H_{rnm} , ∇H_{rns} , ∇H_{rm0} , ∇H_{rni} , ∇H_{rni} , ∇H_{rmi} петли аномального гистерезиса осуществлены при максимальной амплитуде импульсов $H_m = 720$ кА/м, обеспечивающей получение насыщенной петли.

Для поиска оптимального режима частичного перемагничивания использованы режимы с разным количеством размагничивающих импульсов i , изменявшимся от одного до четырех, и имевших амплитуду, равную $1/9 H_m$. При каждом i измерены все шесть параметров петли. Результаты расчета линейных многопараметровых моделей, связывающих механические характеристики исследовавшихся чугунных отливок и параметры петли аномального гистерезиса, представлены на рисунках 1 и 2.

Как видно из рисунка 1, при оптимальном режиме работы прибора расчетная величина $i=3$ предела прочности чугуна может быть определена по формуле из шести параметров, причем коэффициент корреляции $R = 0,974$, а среднеквадратическое отклонение $S_n = 20,9$ МПа.

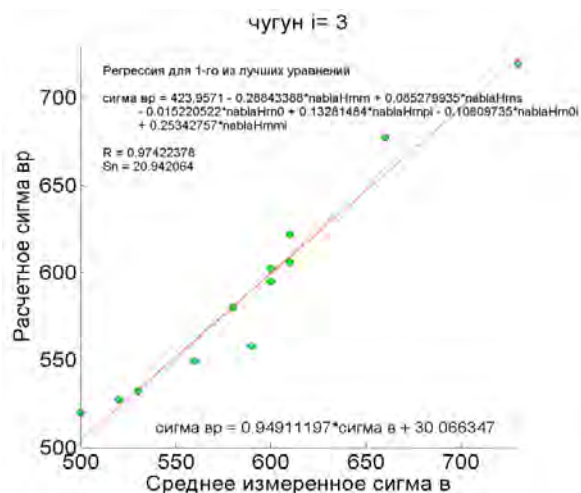


Рисунок 1 – Корреляция между расчетной величиной предела прочности $\sigma_{вР}$, измеренной с помощью прибора ИМА-М, и экспериментальной величиной $\sigma_{в}$

Из рисунка 2 следует, что при оптимальном режиме перемагничивания $i=3$ оптимальной формулой для вычисления расчетной величины предела текучести является также формула из шести параметров, причем коэффициент корреляции $R = 0,974$, а среднеквадратическое отклонение $S_n = 20,9$ МПа.

ляции расчетной величины $\sigma_{тр}$ с экспериментальной $R = 0,985$, а среднеквадратическое отклонение $S_n = 9,47$ МПа.

Было установлено, что при выборе уровня значимости равным 1 % F -критерий Фишера выполнялся только для содержания перлита, временного сопротивления и удельного предела текучести (результаты расчета для удельного предела текучести представлены на рисунке 2).

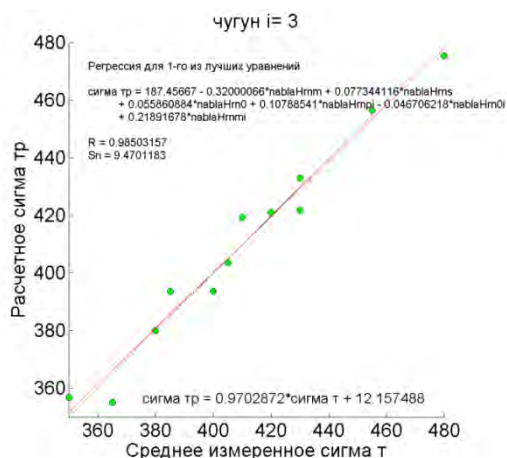


Рисунок 2 – Корреляция между расчетной величиной предела текучести $\sigma_{тр}$, измеренной с помощью прибора ИМА-М, и экспериментальной величиной σ_t

Для всех пяти измеренных параметров F -критерий Фишера выполнялся только для уровня значимости 5 % и более. В случае твердости по Бринеллю $HВ$ (рисунок 3) невыполнение данного критерия связано, предположительно, с малой точностью измерений данной величины, поскольку для пяти образцов получены одинаковые значения.

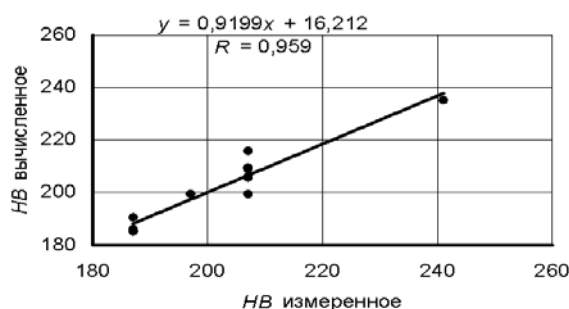


Рисунок 3 – Корреляция между расчетной величиной твердости $HВ_v$, измеренной с помощью прибора ИМА-М, и экспериментальной величиной $HВ$

Аналогичные результаты получены и для содержания перлита (рисунок 4), однако, в этом случае таких изделий с одинаковыми значениями параметра меньше (четыре) и влияние их на проведенный расчет по многопараметровой модели мало, поэтому F -критерий Фишера выполнялся при выборе уровня значимости равного 1 %.

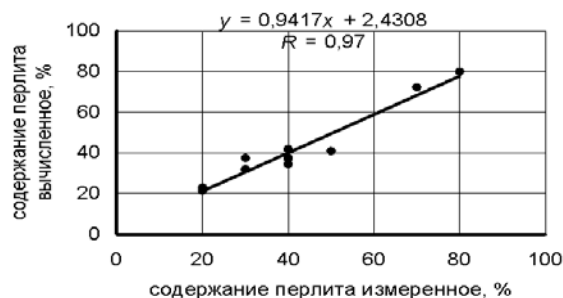


Рисунок 4 – Корреляция между расчетным содержанием перлита, измеренным с помощью прибора ИМА-М, и его экспериментальным значением

1. Мельгуй, М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей / М.А. Мельгуй. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.
2. Михеев, М.Н. Связь магнитных свойств со структурным состоянием вещества - физическая основа магнитного структурного анализа / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов // Дефектоскопия. – 1981. – № 8. – С. 5-21.
3. Мельгуй, М.А. Многопараметровые методы магнитной структуроскопии и приборы для их реализации. Ч.1. Многопараметровая магнитная структуроскопия с использованием параметров петли магнитного гистерезиса в замкнутой магнитной цепи электромагнитное изделие. Обзор. / М.А. Мельгуй // Дефектоскопия. – 2015. – № 2. – С. 27-34.
4. Мельгуй, М.А. Многопараметровые методы магнитной структуроскопии и приборы для их реализации. Ч.2. Импульсный магнитный многопараметровый метод и прибор ИМА-М для его реализации / М.А. Мельгуй // Дефектоскопия. – 2015. – № 3. С. 11-20.
5. Матюк, В.Ф. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В.Ф. Матюк, В.А. Бурак, А.А. Осипов, Д.А. Пинчуков // Дефектоскопия. – 2009. – № 7 – С. 62-74.
6. ГОСТ 4832-95. Чугун литейный. Технические условия.
7. ГОСТ 4832-95. Чугун литейный. Технические условия.