

УДК 620.179.14.  
ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЧУГУНОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА  
НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОГО ШУМА

В.Н. БУСЬКО, В.Л. ВЕНГРИНОВИЧ, \*А.В. МАКАРОВ, \*Э.С. ГОРКУНОВ,  
\*И.Ю. МАЛЫГИНА

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
\*Учреждение РАН «ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ УрО РАН»  
Минск, Беларусь; Екатеринбург, Россия

Воздействие концентрированным источником энергии на основе лазера на поверхность изделий из чугуна используется для их упрочнения и повышения износостойкости [1]. Упрочнение поверхностных слоев указанным методом является эффективным способом экономии сырьевых ресурсов и повышения служебных характеристик изделий из литого чугуна. В результате лазерного воздействия при обработке без оплавления в поверхностном слое чугуна образуется закаленный слой с преимущественно мартенситной структурой. При соответствующих режимах лазерного облучения, приводящих к оплавлению поверхности, зона лазерного воздействия (ЗЛВ) состоит из зоны оплавления (ЗО) и зоны закалки из твердого состояния. Неоптимальные режимы лазерной обработки могут приводить к снижению усталостной прочности, в частности, чугуна с шаровидной формой графита [1].

Целью работы явилось исследование возможности неразрушающего микромагнитного контроля наличия на поверхности чугунов различных марок износостойких лазерноупрочненных слоев, а также разбраковки магнитошумовым методом высокопрочных и серых чугунов после поверхностной лазерной упрочняющей обработки.

Исследовались образцы из высокопрочных чугунов ВЧ60-2, ВЧ42-12, серых чугунов СЧ20 и СЧ30 размером 20×7×7 мм с обработанной лазером по режиму с оплавлением торцевой поверхностью. Общая глубина ЗЛВ и ЗО определялись в ИМАШ УрО РАН и для чугуна ВЧ60-2 составляли 1,5-1,6 и 0,2-0,3 мм соответственно; ВЧ42-12 – 1,05-1,6 и 0,4-0,7 мм; СЧ20 – 1,1-1,4 и 0,55-0,7 мм; СЧ30 – 1,5-1,85 и 0,55-0,7 мм. Суммарная толщина ЗЛВ во всех образцах находилась в пределах 1,5-2,5 мм и значительно превышала толщину информативного слоя при контроле параметров упрочненных лазерных слоев с помощью магнитошумового метода, равную 1,2 мм [2]. Методика измерения уровня магнитного шума (МШ) в образцах и непосредственно измерения осуществлялись в ИПФ НАНБ с помощью магнитошумовой аппаратуры типа ИМШ и Интромат [3].

На рис. 1 приведены результаты измерения уровня МШ в образцах чугунов различных марок до (столбик 1) и после (столбик 2) лазерной упрочняющей обработки, полученные с помощью приборов Интромат (а,б) и

ИМШ (в). Измерения МШ проводились на торцах образцов с использованием малогабаритного преобразователя при его ортогональных положениях. В приборе ИМШ амплитуда тока перемагничивания  $i$  составляла 67 и 90 мА, частота перемагничивания  $f=128$  Гц, диапазон частот анализа магнитного шума  $F$  составлял 1-500 кГц. Измерения уровня МШ на приборе Интромаг осуществлялись при  $i=200$  мА,  $f=125$  Гц, частотах селекции (анализа)  $F=20, 50, 100, 150$  кГц. Представленные на рисунках в виде гистограмм значения МШ являются усредненными по нескольким образцам в пределах одной марки чугуна.

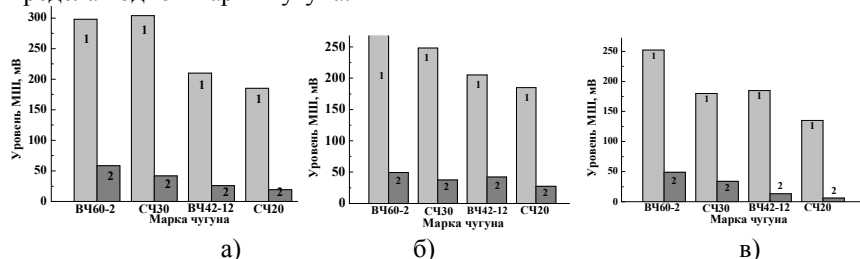


Рис. 1. Зависимость уровня магнитного шума, измеренного приборами Интромаг на частотах  $F=100$  кГц (а) и  $50$  кГц (б) и ИМШ при  $i=67$  мА (в), в образцах чугунов различных марок в исходном состоянии (1) и после лазерной обработки (2).

Из рис. 1 видно, что лазерная обработка значительно снижает уровень МШ по сравнению с исходными образцами для всех марок чугунов. Это может быть обусловлено отсутствием в оплавленном лазерным излучением слое графитных включений, которые растворились или частично выгорели в процессе лазерной обработки. Такая закономерность наблюдается не только при измерениях на режимах, приведенных на данном рисунке, но и при всех остальных исследованных режимах измерения МШ как на приборе Интромаг, так и на приборе ИМШ. Следовательно, магнитошумовой метод может применяться для контроля наличия износостойких упрочненных лазерным излучением поверхностных слоев чугунов различных марок. Видно, что уровень МШ для высокопрочного чугуна ВЧ60-2 превосходит уровень МШ для серых чугунов для большинства использованных режимов измерений, независимо от того, проводилась лазерная обработка или нет. Это обусловлено тем, что уровень МШ напрямую связан с формой графитных включений, являющихся концентраторами внутренних механических напряжений. Чем больше шаровидного графита в чугуне, тем больше уровень МШ, а с увеличением доли пластинчатого графита уровень МШ снижается [4]. Структура матрицы также оказывает влияние на уровень МШ: его значения для высокопрочного чугуна ВЧ42-12 с ферритной матрицей во многих случаях ниже, чем для ВЧ60-2 и СЧ30 с перлитной матрицей. Наименьший уровень МШ при измерениях на обоих

приборах соответствует серому чугуно СЧ20, имеющему наибольшее содержание графита пластинчатой формы и феррито-перлитную матрицу. Рассмотренные результаты свидетельствуют о возможности применения метода МШ для разбраковки образцов в исходном состоянии.

Для измерения МШ на образцах с лазерной обработкой большое значение имеет частота анализа, определяющая глубину анализируемого слоя. При частотах  $F=20$  и  $50$  кГц влияние толщины и структуры ЗЛВ на уровень МШ оказывается более существенным, чем при  $100$  и  $150$  кГц. В этих случаях большое значение имеют различия в структуре зоны закалки из твердого состояния: в чугунах ВЧ60-2 и СЧ30 она мартенситно-аустенитная, тогда как в чугунах ВЧ42-12 и СЧ20 в рассматриваемой зоне присутствует еще и значительное количество феррита. Очевидно, именно этими структурными особенностями обусловлен повышенный уровень МШ в упрочненном лазером чугуне ВЧ42-12 по сравнению с серым чугуном СЧ30 при измерениях на малых частотах на приборе Интромат (см. рис. б).

Таким образом, выполненные исследования показали возможность использования магнитошумового метода для определения наличия износостойкого упрочненного лазером слоя на поверхности чугунов различных марок (высокопрочные и серые чугуны с перлитной, ферритной и феррито-перлитной матрицами, с шаровидным и пластинчатым графитом).

Лазерное воздействие не исключает возможности осуществлять разбраковку чугунов по маркам с помощью магнитошумового метода.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант №08-08-90030-Бел а), Белорусского Фонда фундаментальных исследований № (грант № Т08Р-189) и программы ОЭММПУ РАН «Трибологические и прочностные свойства структурированных материалов и поверхностных слоев».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макаров, А. В.** Влияние лазерной обработки на структуру, износостойкость и усталостные свойства высокопрочного чугуна / А. В. Макаров, Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л. // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 4. – С. 46–55.
2. **Венгринович, В. Л.** Магнитошумовая структуроскопия. – Минск : Наука и техника, 1991. – 285 с.
3. Возможность контроля методом магнитных шумов деградации металла в результате поверхностного изнашивания / В. Н. Бусько В.Н. [и др.]. // Химическая техника. – 2007. – № 7. – С. 46–48.
4. **Бусько В. Н.** О неразрушающем контроле качества фасонного литья методом магнитных шумов / В. Н. Бусько, В. Л. Венгринович, Б. А. Чепыжов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : науч.-техн. конф. : в 3 ч. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч. 3. – С. 169–170.