

УДК 620.179.14/15/147
ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО ШУМА В ОБРАЗЦАХ СТАЛИ ШХ15
ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ УПРОЧНЯЮЩИХ ОБРАБОТОК

В.Н. БУСЬКО, В.Л. ВЕНГРИНОВИЧ, *А.В. МАКАРОВ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

*Государственное учреждение
«ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ УрО РАН»
Минск, Беларусь; Екатеринбург, Россия

Высокоуглеродистая хромистая промышленная шарикоподшипниковая сталь ШХ15 является основной для производства подшипников качения. В связи с ее широким распространением, ростом производства и расширением номенклатуры изготовленных из нее изделий, а также повышением требований к их качеству, исследование ее и неразрушающий контроль (НК) являются актуальными. Одним из важных направлений по повышению основных механических характеристик изготовленных из стали изделий является использование различных поверхностных упрочняющих обработок. Так, обработка поверхности изделий поверхностно-пластической деформацией (ППД), обкаткой роликом, алмазным выглаживанием, виброупрочнением приводят к образованию высокопрочных структур. К наиболее перспективным способам повышения прочности и износоустойчивости подшипниковой стали является комбинированная термическая обработка, включающая в себя обработку поверхности изделия лазерным излучением, в результате которой образуется дисперсная структура на основе мартенсита, с возможным последующим низко- или среднетемпературным отпуском и обработкой холодом. Такая комплексная обработка поверхности металла приводит к образованию высокопрочных лазерно-упрочненных слоев (ЛУС) с более высокими, чем до обработки, механическими характеристиками. При использовании различных видов и режимов упрочняющих обработок возникает потребность в обеспечении НК параметров ЛУС. В работе изучалась возможность использования метода магнитных шумов (ММШ) для НК подшипниковой стали, подвергнутой лазерной упрочняющей обработке и последующей обработке холодом до температуры жидкого азота, а также низкотемпературному отпуску. Полученные результаты были сопоставлены с данными других методов НК. Использовались образцы в форме параллелепипеда из подшипниковой стали ШХ15 в количестве 49 штук размерами 7×7×20 мм. Обработка поверхности образцов осуществлялась следующим образом. Торцевые поверхности образцов, предварительно закаленных от 850 °С в масле, отпущенных при 200 °С, шлифовали на глубину 0,5 мм, обрабатывали непрерывным лазерным излучением мощностью 1,7–1,9 кВт. Лазерная обработка (ЛО) осуществлялась в струе гелия для предотвращения окисления поверхности образца. В результате однократного прохода прямоугольным пятном размером (6–8)×0,7 мм при скорости 20–40 м/ч достигалось упрочнение всей рабочей поверхности образцов на глубину до 1,2 мм при оплавлении поверхностного слоя на глубину до 0,2 мм. С целью повышения

поглощательной способности поверхности применяли предварительное травление образцов в водном растворе персульфата аммония. Для повышения скорости теплоотвода образцы в процессе облучения частично были погружены в воду. Отпуск всех образцов проводился ступенчато в диапазоне температур от 75 до 600 °С в течение 2 часов. Одна партия образцов подвергалась лазерной закалке и последующим отпускам. Содержание в ней остаточного аустенита ($A_{\text{ост}}$) после ЛО составляло 30 об. %. Вторая партия образцов была подвергнута лазерной закалке, затем обрабатывалась холодом при -196 °С в жидком азоте и подвергалась отпускам. Здесь содержание $A_{\text{ост}}$ после ЛО и обработки холодом составляло 5–10 об. %. Измерения интенсивности магнитного шума (МШ) производились разработанными в «ИПФ НАН Беларуси» магнитошумовыми приборами ИМШ и Интромаг при оптимальных условиях перемагничивания и анализа МШ.

В работе представлены экспериментальные результаты по влиянию упрочняющих лазерных обработок, последующими обработкой холодом и отпуском на интенсивность МШ. В результате исследований установлено, что при проведении упрочняющей лазерной обработки, формирующей мартенситно-аустенитные структуры в поверхностном слое толщиной от 0,4 до 1,9 мм, по мере роста толщины упрочненного слоя наблюдается снижение уровня МШ. Последующая обработка холодом, повышающая твердость за счет уменьшения количества $A_{\text{ост}}$ в закаленной стали, приводит к еще большему снижению уровня МШ. С ростом $T_{\text{отп}}$ в интервале от 20 до 600 °С вследствие снижения твердости при увеличении температуры нагрева происходит рост уровня МШ. Особенно интенсивный рост уровня МШ с увеличением $T_{\text{отп}}$ наблюдается для образцов, подвергнутых упрочняющей лазерной обработке с последующим охлаждением в жидком азоте, что, возможно, обусловлено тем, что в образцах после обработки холодом содержание немагнитной γ – фазы в 3-6 раз меньше, чем в закаленных образцах. Параллельно выполнялись измерения с помощью коэрцитиметрического метода и вихретокового вида неразрушающего контроля. Таким образом, можно заключить, что метод магнитных шумов и разработанную в «ИПФ НАН Беларуси» магнитошумовую аппаратуру можно использовать для оценки характеристик поверхностных упрочненных слоев и качества отпуска в шарикоподшипниковой стали ШХ15 после комбинированной обработки, включающей лазерное упрочнение поверхности с последующей обработкой холодом и отпуском.

Работа выполнена при поддержке совместного проекта «ИМАШ УрО РАН» с «ИПФ НАН Беларуси» и междисциплинарного проекта «ИМАШ УрО РАН» и «ИФМ УрО РАН».