

УДК 620.179.14

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОТПУСКА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

С.Г. САНДОМИРСКИЙ

Государственное научное учреждение  
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Магнитный контроль физико-механических свойств изделий из ферромагнитных материалов получил широкое распространение в промышленности. Многочисленными исследованиями показано, что остаточная намагниченность  $M_r$  и коэрцитивная сила  $H_C$  чувствительны к структуре многих конструкционных ферромагнитных материалов – сталей и чугунов. Однако для среднеуглеродистых сталей зависимости  $M_r$  и  $H_C$  от температуры  $T_{отп}$  отпуска после закалки имеют неоднозначный характер. Контроль качества средне- и высокотемпературного отпуска таких материалов проводят после намагничивания их до технического насыщения и воздействия магнитного поля  $H < 0$  по результату измерения остаточной намагниченности  $M_{rH}$  материала после выключения этого поля. Контроль основан на чувствительности  $M_{rH}$  в изделии после его перемагничивания к свойствам материала, обусловленным обратимыми смещениями доменных границ. Методика опробована на сталях марок 30ХГСА, 30ХН2МФА, 34ХНЗМ, 35ХГСА, 40Х, 45, 50, 50РА, 60С2А, У9А и др. и широко применяется в промышленности. Но чувствительность информационного параметра контроля к контролируемым свойствам не всегда достаточна для достоверного контроля изделий.

Для повышения достоверности контроля среднеуглеродистых сталей предложено: намагничивать изделие в процессе движения, измерить остаточный магнитный поток  $\Phi_d$  ( $\Phi_1$ ) в нем после выхода из области с намагничивающим полем, создать на пути движения изделия область с постоянным размагничивающим полем ( $H \approx 2$  кА/м), измерить второе значение  $\Phi_d$  ( $\Phi_2$ ) в изделии после его выхода из области с этим полем и о свойствах изделия судить по отношению  $F_3$  результата этого измерения к разности результатов первого и второго измерений.

Обоснование эффективности разработанной методики заключается в следующем. Зависимость остаточной намагниченности  $M_1$  легированных среднеуглеродистых сталей от  $T_{отп}$  носит неоднозначный характер. Монотонное снижение  $M_1$  при  $T_{отп} \leq 400$  °С сменяется отсутствием изменения  $M_1$  при  $400$  °С  $\leq T_{отп} \leq 500$  и монотонным возрастанием  $M_1$  при  $T_{отп} \geq 500$  °С. Остаточная намагниченность  $M_2$  тех же сталей после частичного размагничивания монотонно снижается при  $T_{отп} \leq 600$  °С, хотя при  $T_{отп} \geq 500$  °С зависимость  $M_2$  от  $T_{отп}$  становится недостаточной для



достоверного контроля физико-механических сталей в этом интервале изменения  $T_{отп}$ . При  $T_{отп} \geq 600$  °С  $M_2$  сталей с увеличением  $T_{отп}$  может тоже начать увеличиваться. Но несмотря на слабый и даже не монотонный характер зависимости  $M_2$  от  $T_{отп}$ , монотонность зависимости  $F_3$  от  $T_{отп}$  обеспечивается увеличением разности  $M_1 - M_2$ .

Разработанная методика реализована прибором МАКСИ-У с преобразователем прибора МАКСИ-Д, обеспечивающем создание на пути движения изделий заданной конфигурации магнитного поля и измерение остаточных магнитных потоков  $\Phi_d(\Phi_1)$  и  $\Phi_d(\Phi_2)$  в изделиях при движении в нем. Преобразователь при длине 560 мм обеспечивает измерение  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  изделий длиной до 180 мм и диаметром до 40 мм. В диапазоне измерения 0,01–99,9 мкВб прибор аттестован ГОССТАНДАРТОМ с основной приведенной погрешностью не более 1,5 %. Параметр  $F_3$  разработанной методики меньше, чем параметры  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , подвержен влиянию изменений размеров изделий в пределах технологических допусков. Это так же повышает достоверность контроля. Изменение  $T_{отп}$  от 200 до 500 °С вызывает изменение  $F_3$  в 3,61 раза, тогда как  $\Phi_1$  изменяется всего в 1,95 раза, а  $\Phi_2$  – в 2,92 раза ( $H_C$  стали 40Х изменяется при этом в 2,3 раза).

Различные методики были сопоставлены для контроля твердости болтов крепления противовеса длиной 58 мм, диаметром 10 мм из стали 40ХН. Образцы получены изменением их  $T_{отп}$  в диапазоне 300–600 °С. Измерение параметров  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $F_3$  образцов осуществлено электронным блоком прибора МАКСИ-У. При статистической обработке зависимостей параметров  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  и  $F_3$  от HRC изделий получены соответственно коэффициенты корреляции 0,44; 0,79 и 0,92 в линейных уравнениях регрессии. Заданный диапазон твердости 27–36 ед. HRC может быть обеспечен только контролем по разработанной методике.

Применение разработанной методики для контроля предела прочности  $\sigma_B$  болтов ( $T_{отп}$  по технологии  $580 \pm 20$  °С) также обеспечило высокий коэффициент корреляции  $R = 0,85$  в линейном уравнении регрессии  $\sigma_B (МПа) = 63,3 \cdot F_3 + 28,1$ , гарантировало заданные механические свойства.

Аналогичные результаты получены при контроле болтов других типов из сталей 40Х, 40ХН, 45Х. Внедрение методики на филиале Минского моторного завода в г. Столбцы предотвратило попадание на сборочный конвейер ответственных болтов с низким уровнем механических свойств, повысило надежность всех выпускаемых заводом дизельных двигателей. Её использование приносит и непосредственный экономический эффект заводу – в производство после неразрушающего контроля возвращаются тысячи дорогостоящих ответственных болтов.