

Т. В. ВЫСОЦКИЙ, В. Т. ВЫСОЦКИЙ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Исследование износостойкости проводили для спеченной стали, содержащей: железо – основа, молибдена – 0,4 %, никеля – 2,0 %, меди – 0,4 %, подвергнутой цементации и термической обработке. Образцы для изнашивания получали прессованием шихты в съемных стальных пресс-формах, цементации в древесноугольном карбюризаторе при температуре 960 °С в течение 6 ч, закалке в масле с температуры 800 °С, отпуску при 180 °С в течение 2 ч. Состав стали и режимы обработки материала определены и оптимизированы в результате более ранних исследований. Плотность образцов составляла 85 %.

Исследование износостойкости материала проводили в условиях сухого трения скольжения на машине СМЦ-2 по схеме «диск-колодка». Контртелом служил диск из стали Р6М5 с твердостью HRC 60...62. Путь трения во всех случаях составлял 10000 м. Износ определяли по потере массы в кг/(м²·м). Взвешивание образцов до и после испытаний производили на аналитических весах ВЛА-200-М с точностью 10⁻⁷ кг.

Исследование износостойкости образцов проводили с применением метода математического планирования эксперимента. В качестве независимых переменных выбраны: X_1 – удельная нагрузка, изменявшаяся в пределах от 0,98 до 1,96 МПа; X_2 – скорость скольжения, которая варьировалась в пределах от 0,8 до 1,6 м/с.

Параметром оптимизации Y являлся приведенный износ в кг/(м²·м).

В работе реализован центральный ортогональный план второго порядка. Число уровней каждого фактора в этом случае равно 5 ($-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$), где $\pm\alpha$ – так называемые «звездные точки».

Поскольку априори не известно, какой вид имеет поверхность отклика в исследуемых интервалах варьирования факторов и полиномом какой степени ее можно описать, задачу решали в следующей последовательности. На первом этапе ставили полный факторный эксперимент 2². Однако описать поверхность отклика линейным уравнением не удалось. Следовательно, для описания исследуемого процесса требуется математическая модель более высокого порядка. Для ее получения ранее реализованный план был достроен до плана второго порядка путем дополнения опытами в «звездных точках» (с плечом $\alpha = 1,0$) и опытом в центре плана (при значениях: удельная нагрузка – 1,47 МПа; скорость скольжения – 1,2 м/с).

В результате решения матрицы планирования в конечном итоге получили окончательное уравнение регрессии, описывающее влияние удельной нагрузки X_1 и скорости скольжения X_2 на износ сложнолегированной порошковой стали:

$$Y = 10^{-5} \times (11,2 + 2,8X_1 + 4,8X_2 + 1,8X_1 \times X_2 + 3,8X_2^2).$$

Перевод кодированных значений факторов в натуральные осуществляется по формулам:

$$X_1 = \frac{P - 1,47}{0,49}; \quad X_2 = \frac{V - 1,2}{0,4},$$

где P – натуральное значение удельной нагрузки в МПа; V – натуральное значение скорости скольжения в м/с.

Гипотезу об адекватности модели проверяли с помощью F-критерия, при этом гипотеза об адекватности полученной модели не отвергается.

Анализ полученного уравнения регрессии показывает, что наибольшее влияние на износ стали оказывает скорость скольжения. В районе низких удельных давлений увеличение скорости ведет вначале к некоторому снижению износа, затем к его возрастанию. Металлографический анализ поверхностей трения показывает, что характер износа во всех исследованных интервалах скоростей скольжения (от 0,8 до 1,6 м/с) и удельных нагрузок (от 0,8 до 1,96 МПа) окислительный. Поверхности трения блестящие, без следов схватывания и задиров. При положении одного из исследуемых факторов на нижнем уровне сталь обладает высокой износостойкостью. Увеличение скорости скольжения и удельной нагрузки приводит к повышению температуры в зоне трения, интенсификации процесса образования оксидных пленок и увеличению их толщины, снижению твердости и предела прочности материала. Износостойкость материала при этом снижается.