

До ЭПО

После ЭПО

Рис. 4. Выделение карбидов на поверхности деформированной стали 12X18H10T до и после ЭПО с помощью программы AutoScan

риала, снижая и энергосиловые параметры процесса волочения.

Количественно снижение энергосиловых характеристик процесса волочения с использованием промежуточной ЭПО может быть рассчитано по выражениям для определения напряжения на выходе из волоки. Определяющими факторами при расчете напряжения волочения являются предел текучести материала и коэффициент трения. При волочении с ЭПО удается добиться уменьшения предела текучести до 11 %, а снижение коэффициента контактного трения может достигать 10 %. Таким

образом, уменьшение коэффициента трения ($f_1 < f$) и предела текучести ($\sigma_{T1} < \sigma_T$) приводит к снижению напряжения на выходе из волоки и соответственно нагрузки на нее.

ВЫВОД

Разработанные режимы волочения с применением ЭПО позволяют снизить число проходов при получении особонагартованной проволоки и повысить ресурс работы инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпашников А. И., Белоусов А. С., Мануйлов В. Ф. Высокопрочная нержавеющая проволока. – М.: Metallurgy, 1971. – 184 с.
2. Ллевелли Д. Т., Мэррей Дж. Д. Холодная пластическая деформация нержавеющих сталей // Высоколегированные стали. – М.: Metallurgy, 1969. – С. 405–435.
3. Спиридонов В. Б., Кузьминская Л. Н., Гордеев Ю. П. Упрочнение хромоникелевых сталей с нестабильным аустенитом // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorov. – 1973. – № 4. – С. 2–9.
4. А. с. 1314729 СССР. Способ электрохимической обработки / В. К. Станишевский, А. Э. Паршутто, А. А. Кособуцкий.

УДК 621.88.084

ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ТОЛЩИНЕ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ

Докт. техн. наук, проф. СКОЙБЕДА А. Т., асп. ЭЛЬМЕССАУДИ Д.

Белорусский национальный технический университет

Исследования последних лет показывают, что наиболее информативным способом определения технического состояния подшипникового узла является вибродиагностика, так как каждый вибросигнал содержит информацию в зависимости от вида дефекта и степени его развития. Для этого созданы специальные измерительные комплексы. Однако в отдельных случаях диагностику по результатам только спек-

трального анализа осуществить затруднительно (например, диагностику электромеханизмов с расположенными в непосредственной близости от подшипников зубчатыми передачами).

Достоверным способом считается определение состояния подшипника по контролю электросопротивления масляной пленки в нагруженной зоне подшипника для оценки режима трения. Известно, что при эксплуатации

электромашин в большинстве случаев причиной разрушения подшипников является ухудшение режима трения. Ресурс пластичной смазки, как правило, ниже усталостной долговечности поверхностей качения.

Для ориентировочной оценки толщины смазочной пленки h в зоне контакта шарика с дорожкой качения подшипника в [1] представлена схема диагностирования подшипников во время эксплуатации. Переход значений h_i до $h_{пред}$ (рис. 1) позволяет прогнозировать ресурс смазочного слоя (СС).

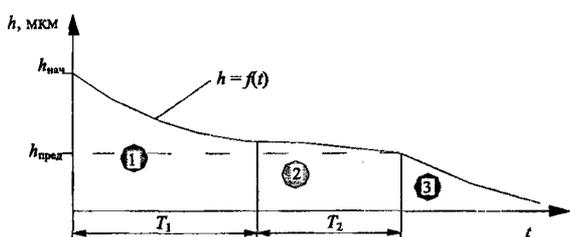


Рис. 1. Зависимость состояния смазочного слоя от времени работы подшипника

Условие работоспособности СС в общем случае выглядит следующим образом:

$$S(h_i) \leq S(h_{пред}), \quad (1)$$

где $S(h_i)$ – структурный параметр состояния СС, входящий в модель его технического диагностирования; $S(h_{пред})$ – предельное значение параметра $S(h_i)$.

Величина h_i изменяется в различных пределах и принимает значения от $h_{нач}$ до $h_{пред}$.

Изменения h_i за время эксплуатации можно представить в виде трех этапов (рис. 1), где 1 – зеленая зона: хорошее состояние смазочного слоя h_3 ; 2 – желтая зона: допустимые значения $h_ж$; 3 – красная зона: предельно допустимое (критическое) состояние смазочного слоя.

Цель работы состоит в том, чтобы за интервал времени T_2 (желтая зона) определить, переходит ли h_i в $\lim h_i \leq h_{пред}$, т. е. предотвратить контакт между микронеровностями элементов качения.

Так как $h_{жк}$ изменяется за время диапазона T_2 , можно ее нормировать относительно предельного состояния [2]

$$h(t) = \frac{h_{изм}(t) - h_{пред}}{h_{нач} - h_{пред}}, \quad (2)$$

где $h_{изм}(t)$ – значение параметра в момент диагностирования; $h_{нач}$ – начальное значение параметра; $h_{пред}$ – предельное значение параметра.

Пусть $S(h) = \{s_i(h)/i = \overline{1, n}\}$ – множество технических состояний, в одном из которых может находиться смазочный слой, $\Pi = \{\Pi_j/j = \overline{1, k}\}$ – множество проверок, соответствующих множеству $\Pi = \{\Pi_j/j = \overline{1, n}\}$, в интервал времени T_2 (желтая зона).

Необходимо сгладить текущие значения $h_{жк} = \{\hat{h}_1, \hat{h}_2, \hat{h}_3, \dots, \hat{h}_n\}$ за интервал времени T_2 . Тогда базовую характеристику для расчета остаточного ресурса смазочного материала можно представить в виде

$$\hat{h}_{жк} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{жк}, \quad (3)$$

где n – число текущих измерений в зоне $h_{ж}$.

Среднюю величину измерения диагностического признака за интервал Δt в этом случае можно определить по последующим значениям $h_{жк}$

$$\Delta h_{жк} = \frac{1}{k} (h_{жк} - h_{жк}). \quad (4)$$

Следующий этап – определение сглаженного текущего состояния $h_{жк}$

$$\hat{h}_{жк} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m h_{жк}. \quad (5)$$

Предпоследний этап для прогнозирования остаточного ресурса СС – определение интервала состояния до допустимого лимитирующего значения

$$\Delta h_k = \lim h - \hat{h}_{жк}. \quad (6)$$

Последний этап – расчет остаточного ресурса смазочного слоя во время эксплуатации подшипникового узла

$$\tau = \frac{\Delta h_k}{\Delta h_{жк}} \Delta t. \quad (7)$$

На базе алгоритма (рис. 2) с использованием различных значений $h_{жi}$ за интервал времени T_2 , которые получаются с учетом априорных данных $t, T, i, j, m, n, k, h_{пред}, h_{нач}, \lim h_i$ можно определить остаточный ресурс масляного слоя.

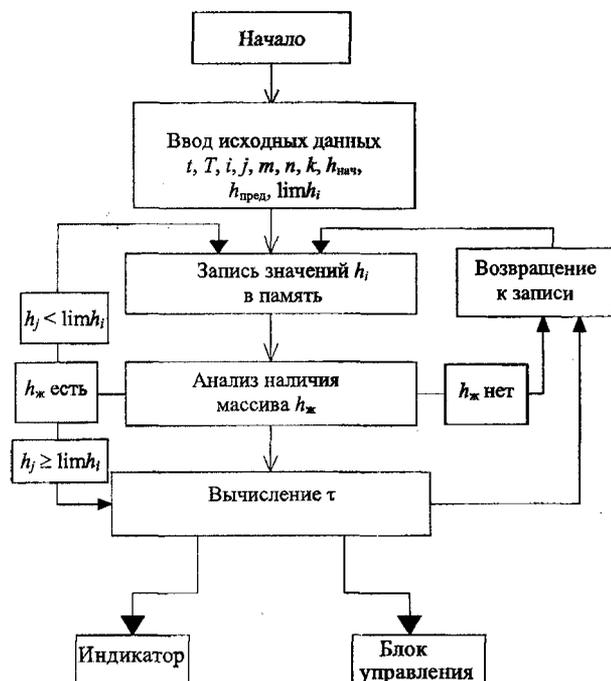


Рис. 2. Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса смазочного слоя в зависимости от его толщины

Изменение толщины смазочного слоя h во время эксплуатации подшипникового узла приводит к изменению электрического сопротивления масляных пленок R .

Значение электрического сопротивления может использоваться для оценки режима смазывания. Изменение сопротивления R за установленный предел времени t_i рассматривается как сигнал к наступлению граничного режима смазывания, который нежелателен при работе подшипникового узла. В [3] установлена зависимость между сопротивлением R и лимитирующим временем t_i

$$t_i = 1,5(R/R_0)^{3/4}(\gamma^3 t)^{-1/2} (1 - \sqrt{\alpha})^{3/2},$$

где $\gamma = dR/(Rdt)$ – относительный прирост сопротивления за малый промежуток времени dt ; R – сопротивление в момент t ; R_0 – началь-

ное сопротивление; $\alpha = R_{пред}/R_0$ – предел относительного увеличения сопротивления.

Среднее значение t_i можно оценить по измерению двух значений параметра R в моменты времени t_1 и t_2

$$t_i = (t_2 - t_1)(R_{пред} - R_0)/(\bar{R}_2 - \bar{R}_1),$$

где $R_{пред}$ и R_0 – максимальное и минимальное значения параметра R ; \bar{R}_1 и \bar{R}_2 – средние значения параметра R в моменты времени t_1 и t_2 соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Из изложенного следует, что диагностирования подшипникового узла во время эксплуатации только по вибрации и шуму недостаточно, так как происходит искажение формы исходного сигнала элементов качения из-за демпфирующих и отражающих свойств соседних деталей и их собственной вибрации. Большинство подшипников качения выходит из строя из-за отсутствия или наличия избыточной смазки. Поэтому целесообразно диагностировать подшипниковые узлы также и по толщине смазочного слоя.

2. Предложенный алгоритм служит для оценки состояния смазочного слоя, точнее – его толщины, что позволяет увеличить срок службы подшипникового узла и предвосхитить последствия аварийных поломок.

3. Диагностика состояния смазочного слоя позволяет контролировать режим смазки, а также автоматизировать поступление ее в зону подшипника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скойбеда А. Т., Эльмессауди Д. Диагностика подшипников качения во время эксплуатации по толщине смазочной пленки // Машиностроение: Сб. науч. тр. / Под ред. Б. М. Хрусталева. – Мн., 2005. – Вып. 21, т. 1. – С. 411–414.
2. Технические средства диагностирования: Справ. / В. В. Клоев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; Под общ. ред. В. В. Клоева. – М.: Машиностроение, 1986. – 672 с.
3. Механика и физика физического контакта: Межвуз. сб. науч. тр. / ТГТУ. – Тверь, 1994. – 140 с.