

УДК 621.822.1

РЕСУРС ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

В. А. Плотников, к.т.н. доцент

1. Вводная информация

Экологическая и производственная безопасность любого производства в значительной степени зависит от технического совершенства и надежности эксплуатируемого оборудования. В химических производствах требования безотказности и безаварийности оборудования приобретают особую важность, т. к. перерабатываемые в них вещества часто являются высокотоксичными, пожароопасными или взрывоопасными. Во многих химических производствах для сжатия и перемещения газообразных продуктов используют поршневые и динамические компрессоры, содержащие подшипники скольжения. Ввиду тяжелых условий работы (нагрузки, вибрация, трение, износ, повышенная температура и др.) подшипники скольжения не обладают высокой долговечностью, требуют постоянного мониторинга технического состояния, а также периодического обслуживания и ремонта.

При разработке графиков ремонта оборудования необходимо определить доремонтный и послеремонтный ресурс всех быстроизнашивающихся элементов, включая подшипники скольжения. В процессе эксплуатации оборудования в подшипниках возникают и накапливаются микроповреждения, которые в последствие перерастают в дефекты, которые могут приводить к отказам или авариям.

Автор настоящей публикации с апреля 2011г по май 2016г входил в состав экспертной группы которая проводила экспертизу промышленной безопасности компрессорного оборудования эксплуатируемого в цехах и производствах КАО «Азот» г. Кемерово. По данным технического диагностирования центробежных компрессоров было установлено, что в следствие износа наиболее быстро меняются размеры и форма рабочих поверхностей опорной шейки вала и вкладышей. С меньшей скоростью наблюдается рост дефектов формы рабочих поверхностей – овальность и конусность. При перегрузках и нарушениях в работе системы смазки возможно появление поверхностных дефектов: трещин, задиров, рисок. Замену вкладышей с целью восстановления зазора требуется выполнять почти при каждом капитальном ремонте. Для устранения поверхностных дефектов и приведения в норму овальности и конусности опорных шеек вала применяют механическую обработку, которую обычно выполняют через один капитальный ремонт. В данной работе рассмотрены методы расчета ресурса опорных подшипников скольжения при различных методах восстановления. Предполагается, что подшипник работает в режиме установившегося износа вала и втулки [1].

2. Ресурс подшипника скольжения при ремонте методом замены втулки без её подгонки под размер вала

В этом случае изношенная втулка заменяется на новую, аналогичную предыдущей, а для вала никакие восстановительные мероприятия не предусмотрены. Этот способ ремонта широко используется для подшипников у которых втулка выполнена из полимерного или композитного материала. Для этих подшипников характерно то, что скорость износа втулки значительно превышает скорость износа вала. Критерии работоспособности подшипника:

$$\left. \begin{aligned} d_1(\tau) &\geq d_1^* \\ d_2(\tau) &\leq d_2^* \\ \delta(\tau) &\leq \delta^* \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Уравнения, определяющие геометрические размеры подшипника в доремонтный период:

$$d_1(\tau) = d_{1н} - i_1 \cdot \tau \quad (2)$$

$$d_2(\tau) = d_{2н} + i_2 \cdot \tau \quad (3)$$

$$\delta(\tau) = d_2(\tau) - d_1(\tau) = \delta_n + \tau(i_1 + i_2) \quad (4)$$

В формулах (1 - 4) обозначено: $d_{1н}$ – начальный диаметр шейки вала; d_1^* – предельный диаметр шейки вала; $d_{2н}$ – начальный диаметр отверстия втулки (вкладышей); d_2^* – предельный диаметр отверстия втулки; δ_n – начальный зазор между валом и втулкой; δ^* – предельный зазор между валом и втулкой; i_1 – интенсивность износа вала; i_2 – интенсивность износа втулки; τ – наработка подшипника.

В уравнении (4) приравняв $\delta(\tau) = \delta^*$ и решая его относительно наработки (τ) найдем доремонтный ресурс подшипника

$$R_{1-2} = \frac{\delta^* - \delta_n}{i_1 + i_2} \quad (5)$$

Диаметр шейки вала перед первым ремонтом

$$d_1(\tau = R_{1-2}) = d_{1н} - i_1 \cdot R_{1-2} = d_{1н} - i_1 \cdot \frac{\delta^* - \delta_n}{i_1 + i_2} \quad (6)$$

Начальный зазор в подшипнике после первого ремонта

$$\delta_n^{(1)} = d_{2н}^{(1)} - d_{1н}^{(1)} = d_{2н} - \left(d_{1н} - i_1 \frac{\delta^* - \delta_n}{i_1 + i_2} \right) = \frac{i_1 \cdot \delta^* + i_2 \cdot \delta_n}{i_1 + i_2} \quad (7)$$

В формуле (7) цифра верхнего индекса (в скобках) соответствует номеру ремонта, т. е. числу замен втулки.

Текущий диаметр шейки вала после 1-го ремонта

$$d_1^{(1)}(\tau) = d_{1н} - i_1(R_{1-2} + \tau) \quad (8)$$

Текущий диаметр отверстия втулки после первого ремонта

$$d_2^{(1)}(\tau) = d_{2н} + i_2\tau \quad (9)$$

Текущий зазор в подшипнике после первого ремонта

$$\begin{aligned} \delta^{(1)}(\tau) &= d_2^{(1)}(\tau) - d_1^{(1)}(\tau) = d_{2н} + i_2\tau - (d_{1н} - i_1(R_{1-2} + \tau)) \\ &= \delta_н + (i_1 + i_2)\tau + i_1 \cdot R_{1-2} \end{aligned} \quad (10)$$

Из условия недопустимости превышения предельного зазора ($\delta^{(1)}(\tau) \leq \delta^*$) получим выражение для вычисления ресурса подшипника после первого ремонта:

$$R_{1-2}^{(1)} = \frac{\delta^* - \delta_н - i_1 \cdot R_{1-2}}{i_1 + i_2} \quad (11)$$

Аналогичным образом получим расчетное выражение для ресурса после 2-го ремонта:

$$R_{1-2}^{(2)} = \frac{\delta^* - \delta_н - i_1(R_{1-2} + R_{1-2}^{(1)})}{i_1 + i_2} \quad (12)$$

После каждого ремонта сумма, стоящая в скобках числителя выражения (12), будет увеличиваться на слагаемое, представляющее собой ресурс подшипника предыдущего ремонта. Данная формула может быть преобразована к виду, в которой ресурс подшипника представлен функцией числа выполненных ремонтов (замен втулки), обозначенного символом z .

$$R_{1-2}^{(z)} = \frac{\delta^* - \delta_н - i_1 \cdot \sum_0^z R_{1-2}^{(z)}}{i_1 + i_2} \quad (13)$$

Число замен втулки, которое возможно при данном методе восстановления подшипника, ограничивается тем, чтобы степень восстановления ресурса (отношение ресурса после ремонта к доремонтному ресурсу) не стала меньше нормативной величины, т.е., $r = R_{1-2}^{(z)} / R_{1-2} \geq r^*$. Как правило, нормативная степень восстановления ресурса (r^*) назначается из условия, чтобы ресурс объекта после ремонта был достаточным для обеспечения безотказной работы до планового ремонта, при котором предусмотрено его восстановление.

3. Ресурс подшипника скольжения при ремонте методом установки втулки, подогнанной под размер вала

На рис.2. представлен график изменения размеров (износа) вала и втулки при ремонте подшипника скольжения методом замены изношенной втулки новой втулкой, подогнанной под размер вала. При каждом ремонте подшипника зазор между валом и втулкой приводится к номинальной

величине. Поэтому все послеремонтные ресурсы будут одинаковыми и равными доремонтному ресурсу – R_{1-2} . Полный ресурс подшипника будет равен произведению доремонтного ресурса на число возможных замен втулки:

$$R_{1-2\Sigma} = R_{1-2} \cdot z \quad (14)$$

Число возможных замен втулки можно определить по отношению ресурса вала к доремонтному ресурсу подшипника

$$z = R_1 / R_{1-2} = \frac{(d_{1н} - d_1^*) / i_1}{(\delta^* - \delta_n) / (i_1 + i_2)} \quad (15)$$

Полученный по формуле (15) результат следует округлить до ближайшего меньшего целого значения.

4. Ресурс подшипника скольжения при ремонте методом механической обработки вала и подгонки втулки под размер вала

В данном случае, после наступления предельного состояния подшипника, вал подвергается механической обработке с целью устранения дефектов. Новая втулка для замены изготавливается под размер обработанного вала. Диаметр отверстия втулки назначается такой величины, при которой обеспечивается номинальный зазор между восстановленным валом и втулкой.

Если при ремонте подшипника выполняется механическая обработка шейки вала её диаметр дополнительно уменьшается на величину припуска на обработку вала Δ_1 . Определим размер шейки вала после произвольного числа выполненных ремонтов. Введем следующие обозначения: z – число ремонтов подшипника (замен втулок или вкладышей), k – число ремонтов, в которых шейка подвергалась механической обработке, $\xi = k / z$ – доля ремонтов подшипника в которых производилась обработка вала. Будем также полагать, что ремонты с обработкой шейки распределены равномерно.

Диаметр шейки вала после z -го ремонта определяется по формуле

$$d_1(z) = d_{1н} - i_1 \cdot R_{1-2} \cdot (z + 1) - \Delta_1 \cdot z \cdot \xi \quad (16)$$

Предельное состояние подшипника наступает в том случае если фактический диаметр шейки вала станет равным предельному диаметру. Заменив в формуле (16) $d_1(z) \rightarrow d_1^*$ и расположив известные величины с правой стороны будем иметь:

$$z \cdot R_{1-2} \cdot i_1 + z \cdot \xi \cdot \Delta_1 = d_{1н} - d_1^* - R_{1-2} \cdot i_1 \quad (17)$$

Решая уравнение (17) относительно величины z , получим:

$$z = \frac{d_{1н} - d_1^* - i_1 \cdot R_{1-2}}{i_1 \cdot R_{1-2} + \xi \cdot \Delta_1} \quad (18)$$

Полученный результат следует округлить до ближайшего целого меньшего значения z_p (расчетное число ремонтов). Полный расчетный ресурс подшипника следует вычислять по формуле:

$$R_{1-2\Sigma} = R_{1-2} \cdot (z_p + 1) \quad (19)$$

Если при ремонтах припуск на обработку шеек вала варьируется от $\Delta_{1\text{макс}}$ до $\Delta_{1\text{мин}}$ в формулу (18) следует подставлять среднее значение припуска на обработку $\Delta_{\text{ср.}} = (\Delta_{1\text{макс}} + \Delta_{1\text{мин}}) / 2$. На рис. 3. показано графическое решение данной задачи.

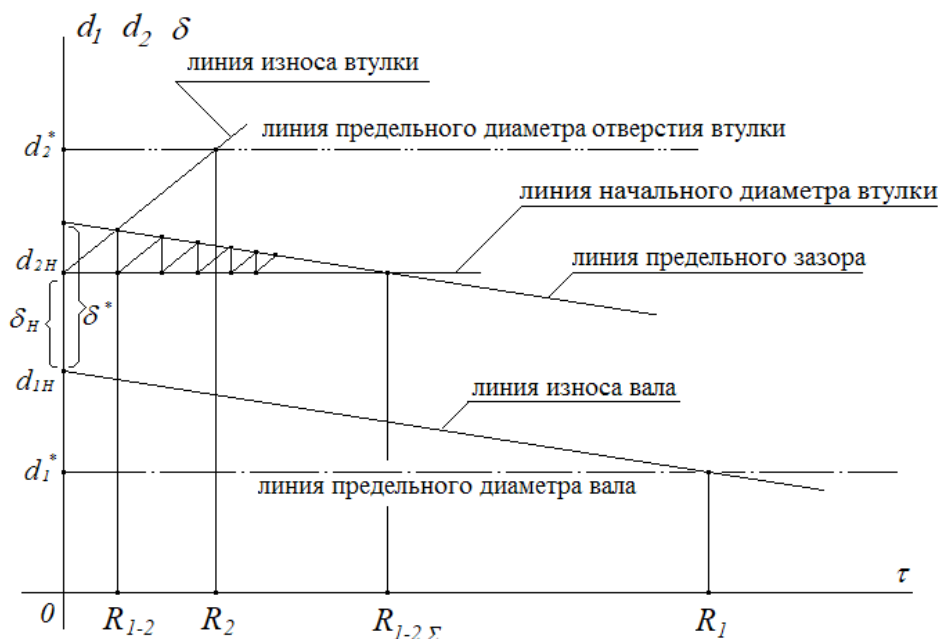


Рис. 1. График изменения размеров подшипника скольжения при его восстановлении путем замены втулки без её подгонки под размер вала

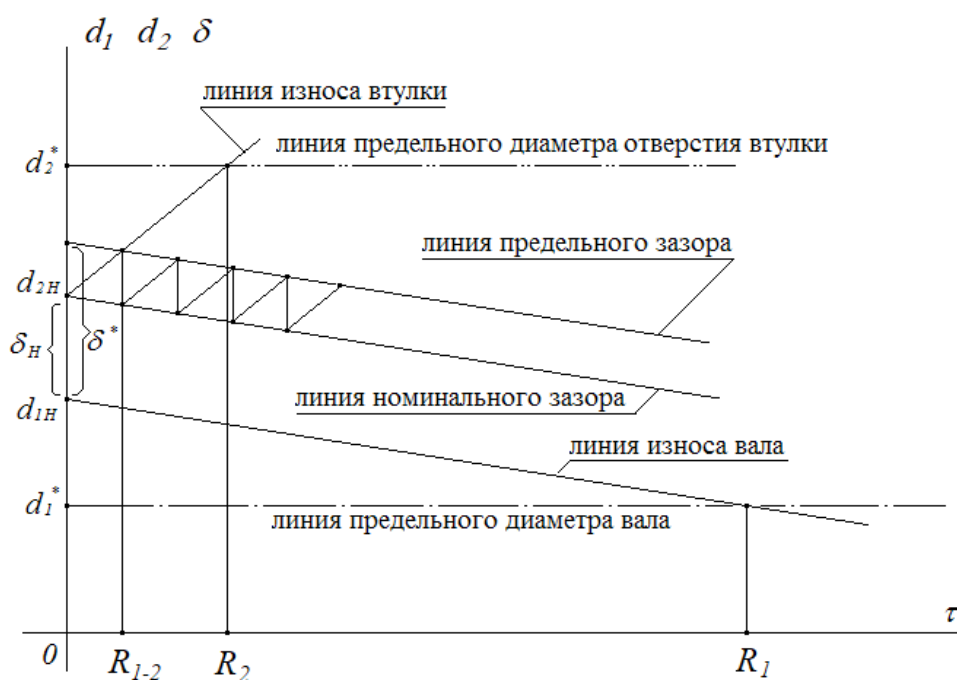


Рис. 2. График изменения размеров подшипника скольжения при ремонте методом установки втулки, подогнанной под размер вала

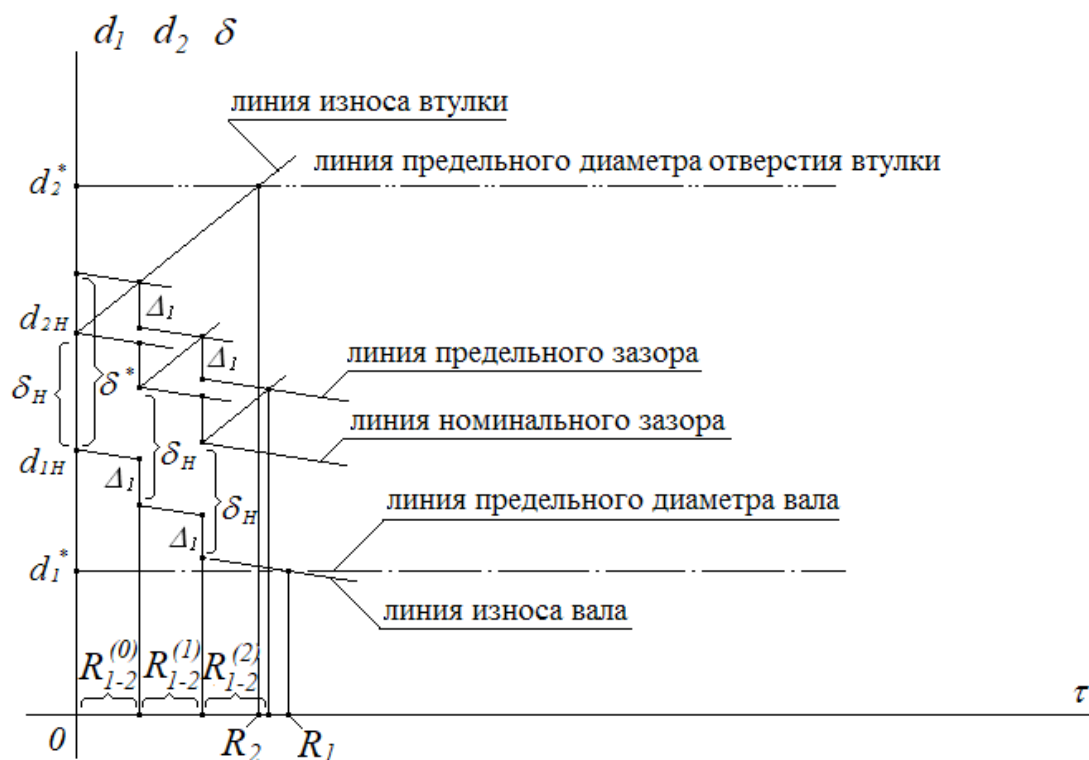


Рис.3. График изменения размеров подшипника скольжения при ремонте методом механической обработки шейки и подгонки втулки под размер вала

Список литературы

1. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985, 224 с.