

Теоретический анализ траектории движения детали по притиру при ремонте уплотнительного торца корпуса форсунки

В.А. Шахов, д.т.н., профессор, В.П. Чернышёв, к.т.н., профессор, И.М. Затин, аспирант, А.С. Путрин, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; Л.В. Межуева, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ

Важными элементами топливной системы дизельных двигателей внутреннего сгорания являются форсунки, надёжная работа которых оказывает значительное влияние на экономичность двигателя. Поэтому разработка новых способов восстановления работоспособности форсунок – актуальная задача.

В процессе эксплуатации дизельной топливной аппаратуры большому износу подвергается уплотнительный торец корпуса форсунки, что в свою очередь приводит к ряду нарушений в нормальной работе форсунки.

На ремонтных предприятиях восстановление изношенного торца корпуса форсунки проводится следующим образом. Выполняется шлифование уплотнительного торца корпуса форсунки, а затем притирка на чугунной плите с использованием специальных паст. Последняя операция является очень трудоёмкой и монотонной, так как выполняется вручную и практически не механизирована, при этом часто происходит завал оси корпуса, лишний съём металла и т.д.

Материал и методы исследования. Механизированный процесс притирки уплотнительного торца корпуса форсунки разработан на кафедре «Технический сервис» Оренбургского ГАУ [1–5].

Проведённый анализ существующих на данный момент притирочных станков показал, что наиболее подходящим для переоборудования является станок модели 3Е814.

На первоначальном этапе необходимо было определить кинематику рабочего движения станка. Как правило, движение при доводке является сложным. Оно состоит из нескольких движений доводочного притира и обрабатываемой детали. При этом каждая точка детали движется относительно притира по сложной криволинейной траектории, пересечение траекторий образует своеобразную сетку, равномерность и форма которой зависит от соотношения скоростей, составляющих движение. Изменяя эти скорости, можно эффективно воздействовать на процесс доводки, так как установлено, что кинематика существенным образом влияет на производительность процесса, микрорельеф восстановленной поверхности, точность как обработанных деталей, так и инструмента – притира.

При выборе параметров режима доводки должно обеспечиваться получение равномерной сетки траектории, т.е. штрихов на поверхности детали,

пересекающихся под углами 30–60°. В этом случае абразивные зёрна работают наиболее эффективно, с обрабатываемой поверхностью контактируют попеременно. Их различные вершины и грани, частое пересечение траекторий движения зёрен способствуют скалыванию их вершин, т.е. самозатачиванию. Равномерная на всех участках поверхности притира сетка траекторий способствует поддержанию исходной плоскостности притира за счёт его одинакового износа по всей поверхности притира. Одновременно улучшаются условия смазки. Это способствует повышению долговечности детали в условиях трения либо контактного сжатия.

Можно выделить пять основных групп рабочего движения плоскодоводочных станков:

- рабочее движение складывается из вращательных движений притира и детали;
- вращение притира сочетается с планетарным движением сепаратора с деталями;
- притир неподвижен, планетарно перемещается сепаратор с деталями;
- возвратно-поступательное движение осуществляется в двух направлениях: либо деталями при неподвижных притирах, либо плитой-притиром;
- вращение притира сочетается с возвратно-поступательным движением детали.

У станков первых трёх групп траектории рабочего движения представляют собой кривые циклоидального типа (рис. 1а), у станков четвёртой группы – растровые (рис. 1б) либо синусоидальные (рис. 1в), у станков пятой группы – кривые эвольвентного типа [6].

Для осуществления первой задачи нами предложена кинематическая схема механизма, которая позволила совершать одновременно вращательные и возвратно-поступательные движения (рис. 2).

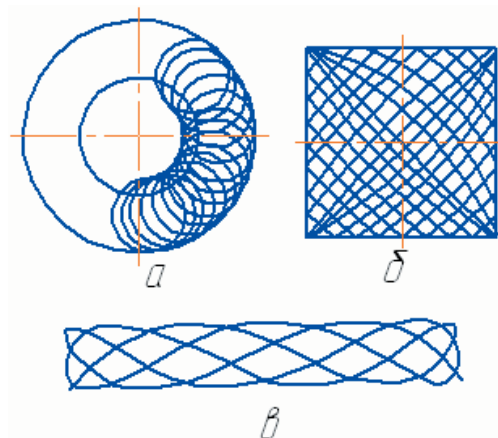


Рис. 1 – Траектории рабочего движения на доводочных станках:

а – циклоидальная; б – растровая; в – синусоидальная

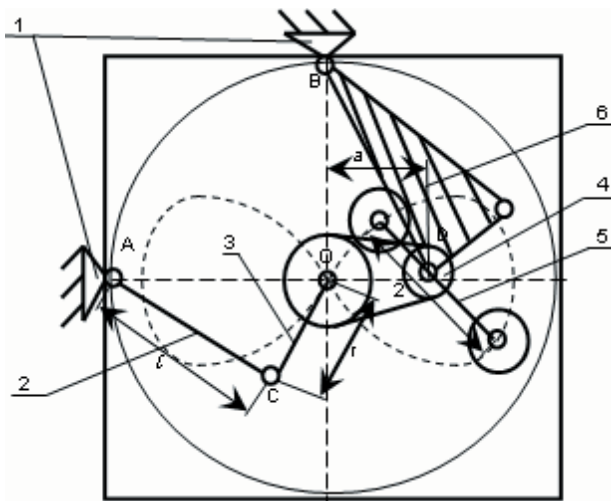


Рис. 2 – Кинематическая схема механического привода:
1 – неподвижных опор; 2 – шатуна; 3 – кривошипа; 4 – цепной передачи; 5 – кассетницы; 6 – балки

Такая модернизация доводочного станка позволяет при вращении вала мотор-редуктора совершать маятниковое движение балки 6.

Возвратно-поступательное движение притираемой детали обусловлено вращением кривошипа вокруг точки O . При этом возвратно-поступательное перемещение детали происходит по дуге, очерчиваемой точкой D балкой вокруг неподвижной опоры B .

Максимальное отклонение балки равно радиусу кривошипа. В данном случае отклонение возвратно-поступательного движения от прямолинейного можно характеризовать величиной μ (рис. 3). Так как отношение $\frac{r}{L}$ ничтожно мало, то с достаточной точностью можно принять возвратно-поступательное движение детали по прямой линии:

$$\mu = L - L \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{r}{L} \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{r^2}{L^2}}, \quad (1)$$

где L – длина кривошипа, м;

μ – отклонение возвратно-поступательного движения от прямолинейного;

r – радиус кривошипа, м;

α – угол отклонения балки.

Тогда перемещение по оси X выразится следующей зависимостью:

$$X = r \cos \varphi_1 + L \sqrt{1 - \left(\frac{e - r \sin \varphi_1}{L} \right)^2}, \quad (2)$$

где e – эксцентриситет, м;

φ_1 – угол поворота кривошипа, рад.

Ввиду того, что для осуществления сложного движения нам необходимо и вращательное движение детали по притиру, имеем:

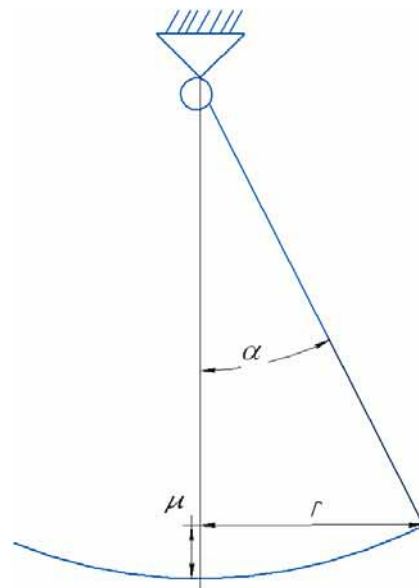


Рис. 3 – К расчёту возвратно-поступательного движения:

μ – отклонение возвратно-поступательного движения от прямолинейного; r – радиус кривошипа, α – угол отклонения балки

$$x = R \cos \varphi, \quad y = R \sin \varphi, \quad (3)$$

где R – расстояние от центра вращения до детали, м;

φ – угол поворота детали, рад.

Для обоснования начального угла установки φ_0 рассмотрим движение детали по притиру. При движении детали по траектории «восьмёрка» в нейтральном положении перемещение по оси Y детали равно 0. Это условие соблюдается при $\varphi_0 = 90^\circ$ и 180° (для второй детали).

Уравнение сложного движения притираемой детали найдётся как сумма векторов простых движений по соответствующим координатам. Используя теорию неразрывности точек, получаем следующий закон движения притираемого материала по притиру, выраженного параметрической зависимостью:

$$\begin{cases} x = L \sqrt{1 - \left(\frac{e \cdot \sin(w \cdot t)}{L} \right)^2} + r \cos \varphi_1 + R \sin \varphi \\ y = R \cdot \cos \varphi \end{cases} \quad (4)$$

Результаты исследования. В результате теоретического исследования с использованием программы Mathcad Professional 2010 было определено, что наиболее оптимальная траектория движения «восьмёрка» деталей по притиру будет осуществляться при следующих параметрах приводного механизма: $R=70$ мм, $n=2$, $L=700$ мм, $r=12$ мм, $\varphi_0=90^\circ$ (рис. 4).

Ввиду того, что притираемая деталь имеет сложную траекторию движения, необходимо определить степень влияния различных значений

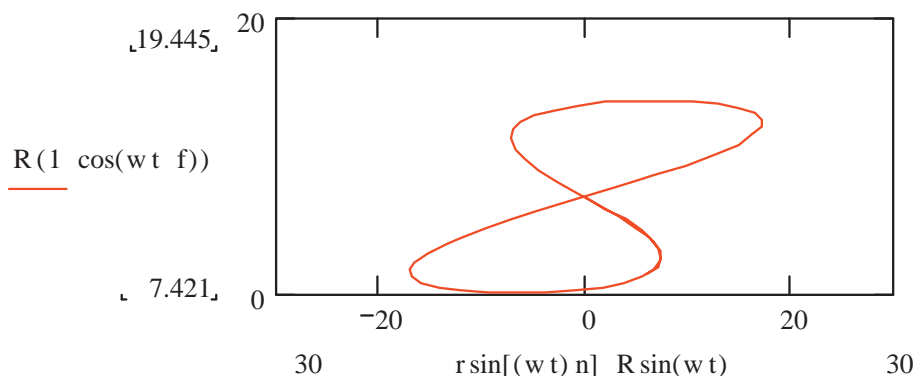


Рис. 4 – Траектория движения деталей по притиру

угловых скоростей и ускорений притираемых деталей и притира на шероховатость обрабатываемой поверхности и изменения структуры и фазового состояния материала детали.

Для создания управляемого процесса доводки для конкретных условий необходимо стабилизировать все факторы процесса, кроме давления, скорости и толщины (зазора) прослойки. Тогда основными факторами, влияющими на износ U детали, будут являться зависимые переменные: давление p , скорость v и независимая переменная – время t . Изменение толщины абразивной прослойки в зоне контакта деталь – притир будет определять величину контактного давления.

В общем случае скорость изнашивания dU/dt материала детали может быть представлена выражением:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\partial U}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial L} \frac{dL}{dt} + \frac{\partial U}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial L} \frac{dL}{dt} + \frac{\partial U}{\partial t} \quad (5)$$

Тогда:

$$U = \int_0^L \lambda_1 \frac{\partial U}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial L} dL + \int_0^L \lambda_2 \frac{\partial U}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial L} dL + \int_0^t \lambda_3 \frac{\partial U}{\partial t} dt, \quad (6)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты пропорциональности, зависящие от других действующих факторов процесса доводки.

Решение данного уравнения представляет значительные трудности. Поэтому, используя уравнение (6), износ элементарных площадок детали можно определить через интенсивность изнашивания материала, которая может определяться с помощью физического моделирования процесса абразивного изнашивания по методике П.Н. Орлова [2].

Таким образом, при доводке деталей с постоянными скоростями v расчёт износа поверхности детали можно осуществить по формуле, исходя из пропорциональности износа U длине L пути относительного движения детали:

$$U = K_{cm} K_{дин} L = K_{cm} K_{дин} \int_{t_{k-1}}^{t_k} v(t) dt, \quad (7)$$

где K_{cm} – интенсивность изнашивания материала элементарной площадки поверхности детали при $v=const$, мкм/мм;

$K_{дин}$ – коэффициент, зависящий от динамичности нагружения системы.

Ввиду многообразия факторов, влияющих на процесс доводки, нами для исследования был выбран динамический фактор.

В процессе исследований было необходимо установить влияние таких факторов, как время обработки t , давление детали на притир p , состава притирочной пасты на качество обработанной поверхности (за показатель качества была выбрана шероховатость поверхности Ra).

Выводы. Устройство, форма и размеры притиров зависят от особенностей обрабатываемой поверхности и размеров обрабатываемой детали. По форме притиры разделяют на следующие основные группы: цилиндрические и конические, предназначенные для доводки наружных поверхностей тел вращения. На основании этого, используя классификатор притиров, нами был выбран притир из серого чугуна СЧ 18-36 в форме диска, обеспечивающий хорошее качество обработки и экономическую выгоду.

Литература

1. Чернышёв В.П., Хайбуллин Р.Р., Затин И.М. Ремонтно-технологическая оснастка для восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2014. С. 123–129.
2. Чернышёв В.П., Затин И.М., Подковыров А.А. Износы уплотнительного торца корпуса форсунки // Сельский механизатор. 2012. № 9. С. 36.
3. Соловьёв С.А. Практикум по ремонту сельскохозяйственных машин / С.А. Соловьёв, В.Е. Рогов, В.П. Чернышёв, В.А. Шахов. М.: Колос, 2007. 336 с.
4. Чернышёв В.П., Затин И.М., Синецын Р.Г. Результаты исследования восстановления уплотнительного торца корпуса форсунки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (54). С. 66–69.
5. Чернышёв В.П., Шахов В.А., Учкин П.Г. Курсовое проектирование по организации ремонта в мастерских хозяйств. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2016. 86 с.
6. Шальнов В.А. Шлифование и полирование высокопрочных материалов. М.: Машиностроение, 1972.