

УДК 621.7

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА КУЛАЧКОВОГО ПРОФИЛЯ ДЕТАЛЕЙ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ

*д-р техн. наук, проф. В.С. ИВАШКО,
канд. техн. наук, доц. К.В. БУЙКУС, канд. техн. наук В.Ч. ОСУЧУКВУ
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Рассмотрено влияние износа кулачкового профиля распределительного вала двигателя внутреннего сгорания, распределительного вала топливного насоса, а также разжимного кулачка тормозной системы на технические характеристики узлов. На основании проведенного анализа показаны зависимости высоты подъема клапана на изменение параметра «время – сечение клапана» двигателя внутреннего сгорания, скорости движения плунжера топливного насоса от угла поворота кулачкового вала, а также зависимость тормозного момента от хода педали тормоза. В процессе изнашивания изменяется профиль кулачка, т.е. уменьшается высота подъема, что приводит к уменьшению площади проходного сечения клапана. Уменьшение высоты подъема клапана ведет к ухудшению параметра «время – сечение» клапана, что влечет за собой ухудшение наполнения цилиндров горючей смесью. Кроме того, возрастают потери на аэродинамическое сопротивление во впускной и выпускной системах.

Введение. Основное назначение деталей с кулачковым профилем – обеспечить закон движения сопрягаемой детали, который должен удовлетворять требованиям, связанным с организацией работы агрегата в целом (например, двигателя, топливного насоса высокого давления), кинематикой и динамикой сопрягаемых деталей, прочностью и долговечностью деталей [1].

Цель работы – анализ влияния износа кулачкового профиля распределительного вала двигателя внутреннего сгорания, распределительного вала топливного насоса, разжимного кулачка тормозной системы на технические характеристики узлов.

Анализ номенклатуры деталей узлов трения с кулачковым профилем включает: распределительный вал газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания; кулачковый вал топливного насоса высокого давления системы питания дизельного двигателя; разжимной кулачок тормозного механизма заднего колеса и др.

Работа распределительного вала в составе газораспределительного механизма рассмотрена в работах И.А. Мишина [2], В.А. Шадричева [3], В.А. Наливкина [4] и других авторов.

Рабочие поверхности указанных деталей подвержены абразивно-усталостному изнашиванию, которому характерны повторно действующие циклы деформаций с воздействием свободных абразивных частиц [5 – 7].

Работа газораспределительного механизма оценивается по параметру «время – сечение» клапана, характеризующему площадью проходного сечения клапана и длительностью открытого состояния клапана. На рисунке 1 показана схема измерения площади проходного сечения клапана.

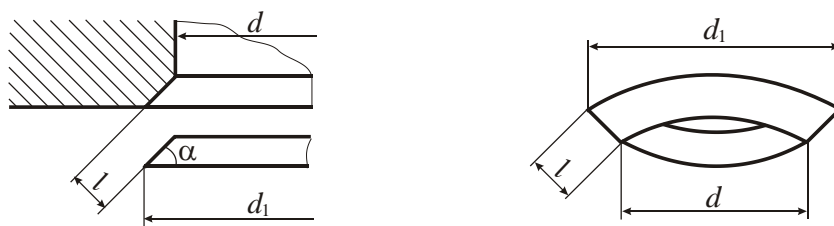


Рис. 1. Схема измерения площади проходного сечения клапана

Площадь проходного сечения клапана определяется по формуле [8]:

$$f = \pi \frac{d + d_1}{2} l; \quad (1)$$

$$f = \pi \frac{d + d_1 + 2h_{кл} \cos \alpha \sin \alpha}{2} h_{кл} \cos \alpha; \quad (2)$$

$$f = \pi (dh_{кл} \cos \alpha + h_{кл}^2 \cos^2 \alpha \sin \alpha), \quad (3)$$

где d – диаметр горловины седла клапана; d_1 – больший диаметр седла клапана; $h_{кл}$ – высота подъема клапана; α – угол фаски клапана.

В процессе изнашивания изменяется профиль кулачка, т.е. уменьшается высота подъема, что, согласно формуле (3), приводит к уменьшению площади проходного сечения клапана.

На рисунке 2 представлена схема движения клапана под действием неизношенного и изношенного кулачков. Площадь, ограниченная осью абсцисс и кривой движения клапана, является диаграммой «время – сечение» клапана в угловых единицах.

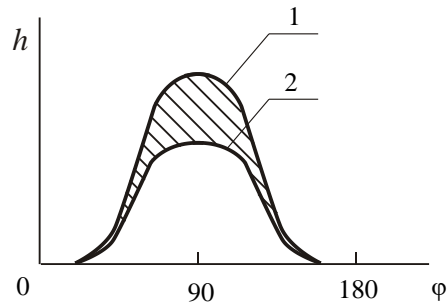


Рис. 2. Схема движения клапана:
1 – неизношенный кулачок;
2 – изношенный кулачок

Как видно из рисунка 2, уменьшение высоты подъема клапана ведет к ухудшению параметра «время – сечение» клапана.

Уменьшение площади проходного сечения клапана влечет за собой ухудшение наполнения цилиндров горючей смесью для бензинового двигателя с карбюратором или с предкамерным впрыском и снижение коэффициента наполнения цилиндра воздухом для двигателей с непосредственным впрыском топлива (при износе у распределительного вала кулачков впускных клапанов) и увеличение количества остаточных газов (при износе кулачков выпускных клапанов), ведущего к уменьшению количества свежей горючей смеси в цилиндре двигателя [9]. Кроме того, возрастают потери на аэродинамическое сопротивление во впускной и выпускной системах. Все это вызывает падение мощности и экономичности двигателя.

Угол поворота кулачкового вала насоса, соответствующий геометрическому концу нагнетания [10, 11] определим по формуле:

$$\varphi_{\text{г.к.}} = 6n_n c_{\text{г.к.}} / J_{\text{н.п.}} + 0,5\varphi_{\text{н.а.}}, \quad (4)$$

где n_n – частота вращения вала насоса, мин^{-1} ; $c_{\text{г.к.}}$ – скорость плунжера, соответствующая геометрическому концу нагнетания, м/с ; $J_{\text{н.п.}}$ – ускорение плунжера на участке разгона, м/с^2 ; $\varphi_{\text{н.а.}}$ – продолжительность активного хода плунжера, град.

Ход плунжера:

$$h_{\text{г.к.}} = c_{\text{г.к.}} \varphi_{\text{г.к.}} / (12n_n) = c_{\text{н.а.}}^2 / (2J_{\text{н.п.}}) + c_{\text{н.а.}} \varphi_{\text{н.а.}} / (12n_n) + J_{\text{н.п.}} \varphi_{\text{н.а.}}^2 / (288n_n^2), \quad (5)$$

где $c_{\text{н.а.}}$ – средняя скорость плунжера за период активного хода, м/с ;

$$c_{\text{г.к.}} = c_{\text{н.а.}} + J_{\text{н.п.}} \varphi_{\text{н.а.}} / (12n_n) = 24V_{\text{ц}} n_n / (\eta_v \pi d_n^2 \varphi_{\text{н.а.}}) + J_{\text{н.п.}} \varphi_{\text{н.а.}} / (12n_n), \quad (6)$$

где $V_{\text{ц}}$ – объем топлива (цикловая подача), мм^3 ; η_v – коэффициент подачи топлива насосом; d_n – диаметр плунжера, мм ;

$$c_{\text{н.а.}} = -J_{\text{н.п.}} \varphi_{\text{ц}} / (12n_n) + \sqrt{J_{\text{н.п.}}^2 \varphi_{\text{ц}}^2 / (144n_n) + (J_{\text{н.п.}}^2 / (36n_n^2)) (\varphi_{\text{ц}}^2 J_{\text{н.з.}}^2) / (J_{\text{н.п.}} + J_{\text{н.з.}})^2 - \varphi_{\text{ц}}^2 / 4 - 2\Delta h_n J_{\text{н.п.}}}, \quad (7)$$

где Δh_n – перемещение плунжера от геометрического начала нагнетания до начала участка замедления; $\varphi_{\text{ц}}$ – угол поворота кулачкового вала насоса, соответствующий периоду замедления; $J_{\text{н.з.}}$ – ускорение плунжера на участке замедления, м/с^2 .

На рисунках 3 и 4 представлены графики зависимости скорости и перемещения плунжера от угла поворота кулачкового вала с неизношенными и изношенными кулачками.

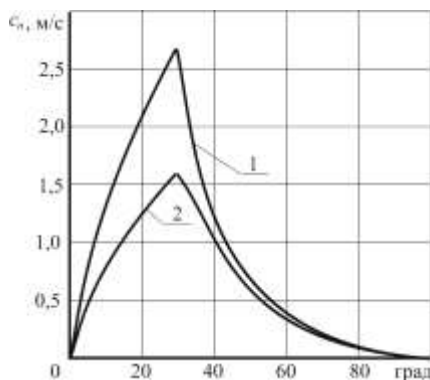


Рис. 3. Зависимость скорости плунжера от угла поворота кулачкового вала:

1 – неизношенный кулачок; 2 – изношенный кулачок

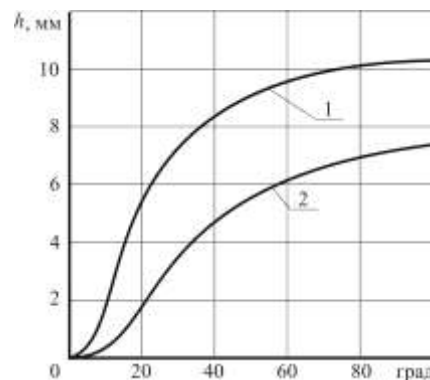


Рис. 4. Зависимость перемещения плунжера от угла поворота кулачкового вала:

1 – неизношенный кулачок; 2 – изношенный кулачок

Износ профиля кулачков кулачкового вала топливного насоса высокого давления системы питания дизельного двигателя вызывает уменьшение продолжительности подачи и хода плунжера. Это ведет к неравномерности подачи топлива отдельными секциями ТНВД, связанными одной рейкой, к увеличению неравномерности работы, снижению мощности и экономичности двигателя [12, 13].

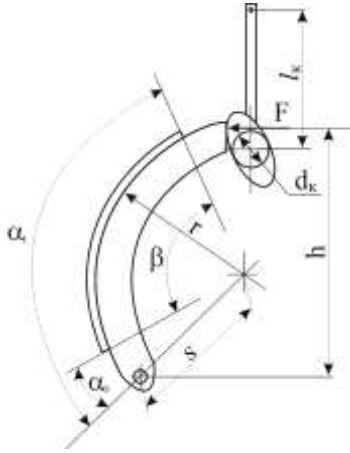


Рис. 5. Схема работы кулачка тормозного механизма

На рисунке 5 представлена схема работы разжимного кулачка тормозного механизма.

Сила, прикладываемая кулачком к колодке [14]:

$$F = F' \frac{l_k}{2r_s} \left(1 \pm \mu \frac{B}{A} \right), \quad (8)$$

где F' – сила, действующая на рычаг разжимного кулачка; l_k – длина рычага; r_s – текущий радиус эвольвентной поверхности кулачка [15]:

$$r_s = \frac{d_k}{2} \sqrt{1 + \gamma^2}, \quad (9)$$

где d_k – диаметр начальной окружности разжимного кулачка; γ – текущий угол; μ – коэффициент трения между накладкой и барабаном.

$$A = \frac{\frac{s}{2r} \left(\cos \varphi_{1,2} \left[\alpha_1 - \alpha_0 + \frac{1}{2} \sin 2\alpha_0 - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 \pm \sin \varphi_{1,2} (\sin^2 \alpha_1 - \sin^2 \alpha_0) \right] \right)}{\cos \varphi_{1,2} (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_1) \pm \sin \varphi_{1,2} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_0)}; \quad (10)$$

$$B = \frac{1 - \frac{s}{2r} \left(\cos \varphi_{1,2} [\sin^2 \alpha_1 - \sin^2 \alpha_0] \pm \sin \varphi_{1,2} \left(\alpha_1 - \alpha_0 - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_0 \right) \right)}{\cos \varphi_{1,2} (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_1) \pm \sin \varphi_{1,2} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_0)}; \quad (11)$$

$$\varphi_1 = 40 \dots 50^\circ; \quad \varphi_2 = 20 \dots 30^\circ.$$

$$M_m = \mu (F_1 + F_2) \frac{h_1 + h_2}{2A}, \quad (12)$$

где h_1 и h_2 – расстояние от точки приложения F до оси поворота колодки.

Износ эвольвентного профиля кулачка вызывает уменьшение радиуса поверхности, т.е. расстояния от оси до поверхности профиля кулачка, а значит и уменьшение перемещения колодки в сторону барабана. Зависимость тормозного момента от хода педали тормоза представлена на рисунке 6 и характеризует скорость нарастания тормозного усилия.

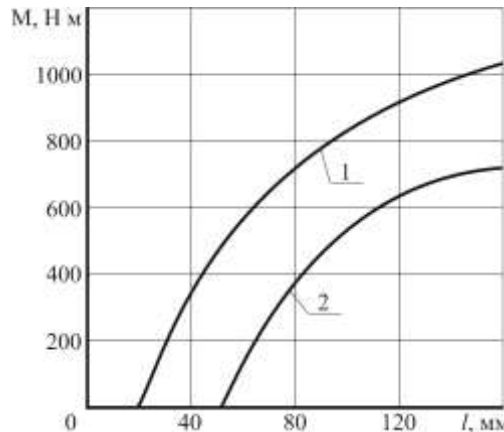


Рис. 6. Зависимость тормозного момента от хода педали тормоза: 1 – неизношенный кулачок; 2 – изношенный кулачок

Износ рабочего профиля разжимного кулака тормозного механизма ведет к снижению эффективности срабатывания тормозных механизмов вследствие уменьшения скорости нарастания тормозного усилия, увеличения хода педали тормоза.

Исходя из эпюр износа кулачкового профиля ресурсосберегающая технология должна с минимальными издержками восстанавливать кулачок и минимально воздействовать на другие поверхности.

Основным требованием, которое необходимо выполнить при восстановлении кулачков, является обеспечение [16]:

- размеров и шероховатости восстановленной поверхности;
- твердости покрытия и его сплошности, прочности сцепления нанесенных слоев с основным металлом.

Выводы. На основании проведенного анализа показаны зависимости высоты подъема клапана на изменение параметра «время – сечение клапана» двигателя внутреннего сгорания, скорости движения плунжера топливного насоса от угла поворота кулачкового вала, а также зависимость тормозного момента от хода педали тормоза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистяков, В.К. Динамика поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания / В.К. Чистяков. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
2. Мишин, И.А. Долговечность двигателей / И.А. Мишин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
3. Шадричев, В.А. Ремонт автомобилей / В.А. Шадричев. – М.: Высшая школа, 1970. – 480 с.
4. Наливкин, В.А. Исследование предельного износа и ремонтного профиля кулачков распределительного вала: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Наливкин. – М., 1955. – 20 с.
5. Корчемный, Л.В. Механизм газораспределения двигателя / Л.В. Корчемный. – М.: Машиностроение, 1964. – 211 с.
6. Макаревич, П.С. Влияние геометрии кулачка на работоспособность пары кулачок – толкатель / П.С. Макаревич // Автомобильная промышленность. – 1977. – № 9. – С. 10 – 12.
7. Шадричев, В.А. Основы выбора рационального способа восстановления автомобильных деталей металлопокрытиями / В.А. Шадричев. – М.: Машиностроение, 1962. – 296 с.
8. Ленин, И.М. Автомобильные и тракторные двигатели. Теория, системы питания, конструкции и расчет / И.М. Ленин, К.Г. Попык, О.М. Малашкин; под ред. И.М. Ленина. – М.: Высшая школа, 1969. – 659 с.
9. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
10. Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник / Б.Н. Файнлейб. – Л.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
11. Кугузин, Г.А. Методика расчета профилей кулачков топливного насоса дизеля / Г.А. Кугузин // Конструирование, исследование и эксплуатация топливоподающих систем автотракторных дизелей: темат. сб. – Ульяновск: УСХИ, 1976. – С. 112 – 117.
12. Митрофанов, А.А. Проектирование профилей кулачков топливных насосов высокого давления / А.А. Митрофанов // Труды Центрального ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. автомобильного и автотракторного ин-та. Вып. 7. – М.: НАМИ, 1959. – 24 с.
13. Барсуков, С.И. Восстановление характеристик топливной аппаратуры дизелей / С.И. Барсуков, В.Ф. Анисимов. – Омск: Западно-сибирское изд-во, 1977. – 88 с.
14. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовой части: учеб. пособие для вузов / А.И. Гришкевич [и др.]; под ред. А.И. Гришкевича. – Мн.: Вышэйшая школа, 1987. – 200 с.
15. Мамити, Г.И. Проектирование тормозов автомобилей и мотоциклов / Г.И. Мамити. – Минск: Дизайн ПРО, 1997. – 112 с.
16. Молодых, Н.В. Восстановление деталей машин / Н.В. Молодых, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1985.

Поступила 16.10.2006