

УДК 621. 629.3.

Тойгамбаев С.К., Соколов К.О. Устройство и принцип работы приспособления для восстановления тарелок клапанов

Device and principle of operation of the device to restore valve plates

Тойгамбаев С.К.

к.т.н., профессор кафедры техническая эксплуатация технологических машин и оборудования природообустройства. Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева.

Соколов К.О.

к.т.н., доцент кафедры техническая эксплуатация технологических машин и оборудования природообустройства Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева.

Toigonbaev S. K.

Ph. D., Professor of the Department of technical operation of technological machinery and equipment of environmental engineering. Russian state agrarian University of the MSHA named after K. A. Timiryazev.

Sokolov K. O.

k.t. n., associate Professor of the Department of technical operation of technological machines and equipment of nature management Russian state agrarian University named after K. A. Timiryazev.

***Аннотация.** В статье предложено приспособление для ремонта и восстановления изношенных поверхностей тарелок клапанов, применение которого позволяет с наименьшими затратами труда восстановить работоспособность клапанов.*

***Ключевые слова:** клапан; плита; давление; плита; пуансон; двигатель.*

***Abstract.** Article proposes a device for repairing and restoring worn surfaces of valve plates, the use of which allows to restore the operability of valves with the least labor costs.*

***Keywords:** valve; plate; a pressure plate; a punch; the engine.*

Тарелки клапанных пружин устанавливаются в механизме газораспределения двигателя Д-240. Основным дефектом является износ конусного отверстия под запорные сухарики. Эскиз детали представлен на рис. 2. Для изготовления серийных тарелок двигателя Д-240 применяется сталь 40 Х-Т-В ГОСТ 4543-71 с твердостью после окончательной термообработки HRC_э 28...32. Структура материала тарелки имеет феррито-перлитное строение с величиной зерна 7÷8 баллов по ГОСТ 5639–72. Химический и механические свойства приведены в таблице 1 и 2 соответственно. В результате воздействия знакопеременных нагрузок тарелка деформируется, конусное отверстие теряет свою форму, появляются микротрещины и задиры, происходит механическое и коррозионное изнашивание, нарушается посадка сопряжения отверстие-поверхность запорных сухариков.

Таблица 1

Химический состав стали 40Х

Марка стали	Содержание химических элементов, %								
	C	Mn	Cr	Si	Ni	Cn	As	P	S
Сталь 40Х	0,37...0,45	0,5...0,8	0,9...1,1	0,17...0,37	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,08	≤ 0,04	≤ 0,04

Механические свойства стали 40Х

Материал	δ_v , МПа	δ_T , МПа	δ , %	Ψ , %	Вязкость, а, к 2-м/см ²	HV
Сталь 40Х	1000	800	9	50	8	280

Приспособление (рис. 1) состоит из нижней плиты 7, в которую запрессованы колонки 11, ходящие во втулках 10, неподвижно установленных в верхней плите 3, на нижнюю плиту 7 жестко установлен корпус 12 в сборе с матрицей 5.

На верхней плите 3 установлен пуансон 2 с входящем в него стержнем 4. Кроме того, штамп содержит выталкиватель 8, свободно установленный в плите 7 и приводящийся в действие от штока гидроцилиндра. Верхняя плита 3, крепится болтами 15 к держателю 1, в который в свою очередь неподвижно закреплен к штоку гидроцилиндра пресса ОКС – 1671 М.

Предварительно нагретое тело до $t_0=800-850^\circ\text{C}$ устанавливается в фигурное отверстие матрицы 5, при этом выталкиватель 8 находится в нижнем положении, под действием штока гидроцилиндра пресса ОКС – 1671М верхняя плита 3 совместно с закрепленным пуансоном 2 и стержнем 4 скользит по направляющим колонкам 11 до смыкания штампа. При дальнейшем давлении выступы пуансона 2 перемещают металл из нерабочей зоны восстанавливаемого изделия в изношенную зону конического отверстия, при этом стержень 4 формирует изношенное коническое отверстие до номинального состояния.

Далее включается привод подъема верхней плиты 3 совместно с пуансоном 2 и стержнем 4 до первоначального положения начала его действия. Включается привод гидроцилиндра выталкивателя 8, и восстановленное изделие свободно снимается с матрицы 5. Процесс восстановления закончен.

В результате из изношенной детали формируется новая с номинальными размерами по рабочим поверхностям.

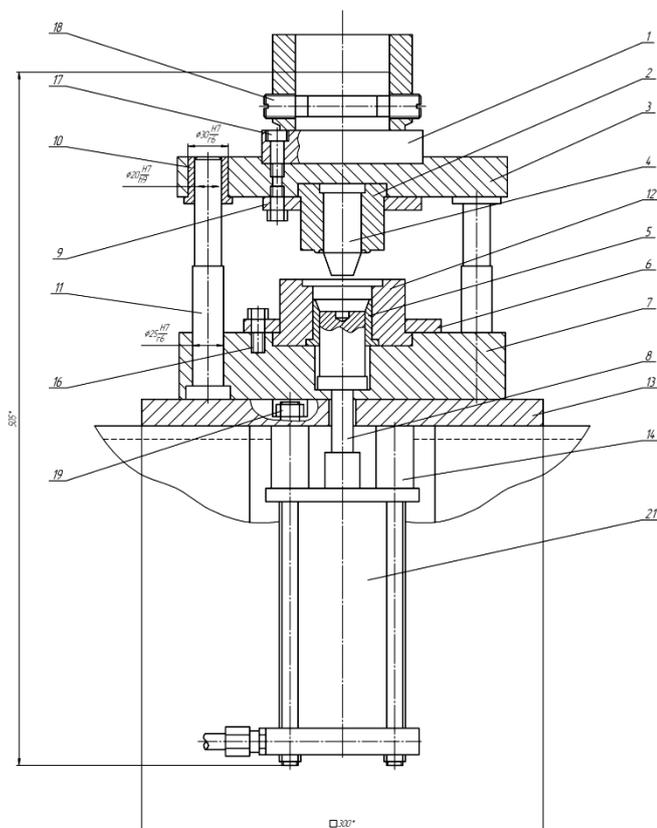


Рис. 1. Приспособление для восстановления тарелок клапанных пружин

Расчет количества металла для восстановления тарелок клапанных пружин

Определим объем металла, необходимый для восстановления тарелок клапанных пружин. Для этого рассмотрим продольное сечение тарелки (рис 2.).

Объем конусного отверстия неизношенной детали равен:

$$V_1 = \frac{\pi}{12} [(D_1^2 - d_1^2)H_1 + d_1^2h], \quad (1)$$

где V_1 – объем конусного отверстия неизношенной детали; D_1 – диаметр основания конуса неизношенной детали; H_1 – полная высота конуса; h – высота усеченного конуса; d_1 – верхний диаметр усеченного конуса неизношенной детали.

Объем конусного отверстия изношенной детали равен:

$$V_2 = \frac{\pi}{12} [(D_2^2 - d_2^2)H_2 + d_2^2h], \quad (2)$$

где V_2 – объем конусного отверстия изношенной детали; D_2 – диаметр основания конуса изношенной детали; H_2 – полная высота конуса; h – высота усеченного конуса; d_2 – верхний диаметр усеченного конуса изношенной детали.

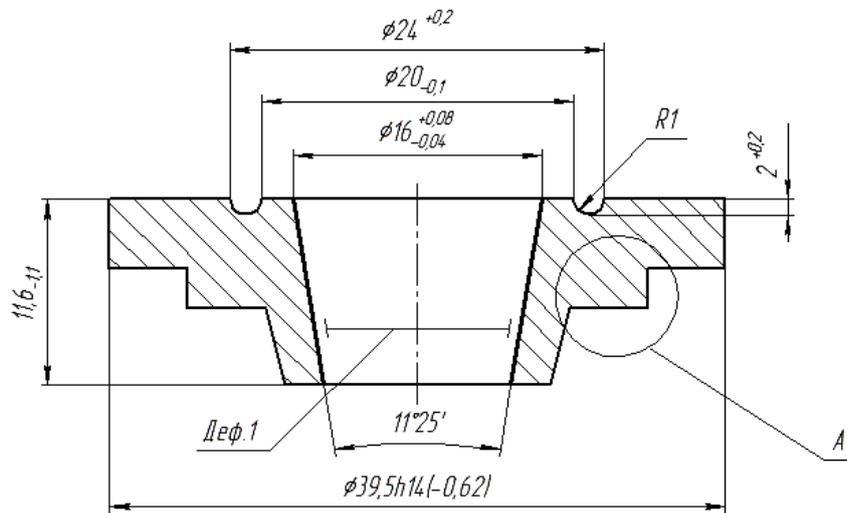


Рис. 2. Продольное сечение тарелки

Объём металла, необходимый для восстановления конусного отверстия тарелок клапанных пружин, равен:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\pi}{12} [(D_2^2 - d_2^2)H_2 - (D_1^2 - d_1^2)H_1 + (d_2^2 - d_1^2)h], \quad (3)$$

В соответствии с рис. 3. выразим H_2 и H_1 через D_2 и D_1 соответственно.

$$H_2 = \frac{D_2}{2 \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}}; \quad H_1 = \frac{D_1}{2 \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}}; \quad (4)$$

Подставляя выражения H_2 и H_1 из (4.) в уравнение (3.), получим:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{\pi}{12} [(D_2^2 - d_2^2) \frac{D_2}{2 \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}} - (D_1^2 - d_1^2) \frac{D_1}{2 \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}} + (d_2^2 - d_1^2)h] = \\ &= \frac{\pi}{12} \left[\frac{D_2^3 - D_1^3 - D_2 d_2^2 + D_1 d_1^2}{2 \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}} + (d_2^2 - d_1^2)h \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Выразим диаметры D_2 и d_2 изношенного конусного отверстия детали через диаметры D_1 и d_1 неизношенного конусного отверстия детали

$$D_2 = D_1 + \gamma; \quad d_2 = d_1 + \gamma, \quad (6)$$

где γ – величина полного износа конусного отверстия детали.

Подставляя выражения D_2 и d_2 из (6) в уравнение (5), получим:

$$\Delta V = \frac{\pi}{12} \left[\frac{(D_1 + \gamma)^3 - D_1^3 - (D_1 + \gamma)(d_1 + \gamma) + D_1 d_1^2}{2 \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}} + h_\gamma (2d_1 + \gamma) \right], \quad (7)$$

Из рис 3. выразим d_1 из (8) в уравнение (7), будем иметь:

$$d_1 = D_1 - 2h \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2}, \quad (8)$$

Результаты расчета объема металла, необходимого для восстановления конусного отверстия тарелок клапанных пружин представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета объема металла

Наименование детали.	Д1,(м)	h (м)	λ (град)	χ (м)	ΔV (м ³)
Тарелка Д- 240	16×10^{-3}	$11,6 \times 10^{-3}$	11025	$0,38 \times 10^{-3}$	$336,8 \times 10^{-9}$

Расчет усилий деформирования при восстановлении тарелок клапанных пружин. При определении усилий деформирования использовались математические модели расчета толстостенной трубы под равномерном давлением, распределенным по внешнему диаметру и открытой прошивки цилиндрической заготовки, у которой свободной поверхностью является конусное отверстие тарелки. Усилие прошивки кольцевым пуансоном решается цилиндрической системе координат (ρ, θ, Z) . Уравнение для определения напряжения σ_z имеет вид:

$$\sigma_z = \sigma_s \frac{\rho}{h} + C, \quad (10)$$

где σ_z – напряжения на торце кольцевого пуансона, Н/м²; σ_s – напряжения пластичности металла Н/м²; ρ – переменный радиус заготовки, м; h – высота заготовки, м; C – постоянная интегрирования.

При свободной осадке принимается при $\rho = 0,5 d_1$, (рис. 4) $\sigma_z = -\sigma_s$. В настоящем случае на боковую поверхность осаживаемого цилиндра действует с стороны сжимаемого кольца дополнительное давление.

$$\sigma_\rho = -1.1 \sigma_s \ln \frac{d_1}{d_0}, \quad (11)$$

где σ_ρ – радиальное давление, н/м²; d_0 – диаметр отверстия, м; d_1 – диаметр отверстия кольца пуансона, м.

Поэтому при $\rho = 0,5 d_1$, сжимающее напряжение σ_z увеличивается.

$$\text{Таким образом, при } \rho = 0,5 d_1: \quad \sigma_z = -\sigma_s - 1.1 \sigma_s \ln \frac{d_1}{d_0}, \quad (12)$$

$$\text{Следовательно} \quad \sigma_s \frac{d_1}{2h} + c = -\sigma_s \left(1 + 1.1 \ln \frac{d_1}{d_0}\right).$$

Отсюда определяется постоянная интегрирования:

$$C = -\sigma_s \left(1 + 1.1 \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{d_1}{2h} - \frac{\rho}{h}\right),$$

Подставив найденное значение постоянной интегрирования, получим

$$\sigma_z = -\sigma_s \left(1 + 1.1 \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{d_1}{2h} - \frac{\rho}{h}\right), \quad (13)$$

Интегрируя уравнение (13) по сечению кольца, найдем усилие прошивки кольце-

ВЫМ ПУАНСОНОМ

$$P = 2\pi\sigma_{\zeta} \int_{0.5d_1}^{0.5d_2} (1 + 1.1 \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{d_1}{2h} - \frac{\rho}{h}) \rho d\rho = 2\pi\sigma_{\zeta} [(1 + 1.1 \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{d_1}{2h}) \frac{d_2^2 - d_1^2}{8} - \frac{d_2^3 - d_1^3}{24h}], \quad (14)$$

где P_1 – усилие деформирования при прошивке кольцевым пуансоном, Н;
 h – высота детали, м.

Ввиду того, что конический пуансон перемещает выдавленный кольцевым пуансоном металл сверху вниз, при определении усилия деформирования при калибровке конического отверстия тарелки, считается, что происходит простое смятие металла конической поверхностью калибрующего пуансона. В таком случае деформирования калибровки конического отверстия определяется по формуле:

$$P_2 = \sigma_{\zeta} S_k \sin \frac{\zeta}{2}, \quad (15)$$

где P_2 – усилие деформирования при калибровке конического отверстия, Н;

σ_{ζ} – напряжения пластичности металла Н/м²; S_k – площадь поверхности конического отверстия, м²; ζ – угол конического отверстия, град.

Площадь конической поверхности равна:

$$S_k = (\pi(d_0 - d_3)/2)h, \quad (16)$$

где d_0 – наибольший диаметр конуса, м; d_3 – наименьший диаметр конуса, м;
 h – высота детали, м.

$$\text{Тогда:} \quad S_k = (\pi(d_0 - d_3)/2)h \cdot \sin \zeta/2, \quad (17)$$

Усилие деформирования при одновременном действии кольцевого и конического пуансонов будет равно

$$P = P_1 \quad P_2 = 2\pi\sigma_1 [(1 + 1.1 \ln \frac{d_1}{d_0} + \frac{d_1}{2h}) \frac{d_2^2 - d_1^2}{8} - \frac{d_2^3 - d_1^3}{24h}] = \sigma_1 (\pi(d_0 - d_3)/2)h \cdot \sin \zeta/2, \quad (18)$$

Экономическое обоснование конструкции. Стоимость штампа для восстановления давлением тарелок клапанных пружин определяется по формуле:

$$C_{\Pi} = C_{\text{пр}} + C_{\text{м}} + \frac{C_{\text{пр}} \cdot \% \text{НР}}{100}, \quad (19)$$

где $C_{\text{пр}}$ – зарплата производственных рабочих с начислениями, руб;

$C_{\text{м}}$ – стоимость материалов и покупных изделий, для изготовления штампа, руб;

$\% \text{НР}$ – процент накладных расходов на предприятии, %.

Таблица 4

Расчет основной заработной платы

Виды работ	Трудоемкость работ, ч	Разряд	Тарифная ставка, руб/ч	Основная зарплата, руб
1. Слесарные	0,95	3	34,41	32,69
2. Токарные	4,5	4	35,4	159,30
3. Сверлильные	2,2	3	34,41	75,70
4. Фрезерные	1,1	4	35,4	38,94
5. Шлифовальные	0,9	4	35,4	31,86
6. Термические	0,7	3	34,41	24,09
Итого:				362,58

Зарплата на дополнительную расплату составляет 10% от основной, т.е.

$$C_{зпд} = 0,1 \cdot 362,58 = 36,26 \text{ руб.}$$

Начисления на социальные нужды принимаются в размере 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы:

$$C_{соц.н.} = 0,30 \cdot (362,58 + 36,26) = 15,69 \text{ руб.}$$

Тогда полная заработная плата будет равна:

$$C_{пр} = 362,58 + 36,26 + 15,69 = 414,53 \text{ руб.}$$

Стоимость материалов и покупных изделий, необходимых для изготовления штампа приведены в табл. 5.

Таблица 5

Стоимость материалов и покупных изделий

Наименования материалов и покупных изделий	Количество	Стоимость, руб.	
		Единицы	Всего
Сталь 45,кг	22	30	660
Сталь X12,кг.	1,5	35	52,5
Сталь У8,кг	0,6	35	21
Сталь 40X,кг	0,5	35	17,5
Сталь Р6м5,кг	0,3	38	11,4
Крепеж, кг	3,2	40	128
Гидроцилиндр Ц-80,шт	1	800	800
Итого:			1690,4

Накладные расходы на изготовление штампа принимаются в размере 450% от основной и дополнительной зарплаты и будут равны:

$$НР = (362,58 \cdot 450) / 100 = 1631,60 \text{ руб.}$$

Тогда стоимость изготовления штампа составит:

$$C_{п} = 414,53 + 1690,4 + 1631,60 = 3736,53 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения приспособления Эг находим по формуле:

$$\mathcal{E}_г = (H'вT'ч.с. - H''вT''ч.с.) \cdot П_о, \quad (20)$$

где H'в – норма времени на выполнение работ по данному объекту до внедрения приспособления, ч.; H'в = 0,42 ч; H''в – норма времени на выполнение работ по данному объекту с применением приспособления, ч.; H''в = 0,35 ч;

T'ч.с. и T''ч.с. – тарифная ставка по данной работе соответственно до и после внедрения приспособления, ч; П_о – годовая программа деталей, шт.; П_о = 2000 шт.

$$\mathcal{E}_г = (0,42 \cdot 35,4 - 0,35 \cdot 35,4) \cdot 2000 = 2,48 \cdot 2000 = 4956 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости приспособления рассчитываем по формуле:

$$T = \frac{C_{п}}{\mathcal{E}_г}, \text{ год.} \quad (21)$$

$$T = 3736 / 4956 = 0,75 \text{ года.}$$

Выводы.

Предложенный в работе стенд для ремонта тарелок клапанов двигателей внутреннего сгорания, позволяет качественно восстанавливать изношенные поверхности клапанов, без потерь его физико-механических свойств. Сокращается общее время простоя машины, в данном случае простоя двигателя на ремонтных работах.

Conclusions.

The proposed stand for the repair of plates of internal combustion engine valves allows you to qualitatively restore worn valve surfaces, without loss of its physical and mechanical properties. The total downtime of the machine, in this case engine downtime during repair work, is reduced.

Библиографический список

1. Шнырев А.П., Тойгамбаев С.К. Устройство для восстановления бронзовых втулок. В сборнике: Природоохранное обустройство территорий. Материалы научно-технической конференции. 2002. С. 153-154.
2. Тойгамбаев С.К., Апатенко А.С. Анализ износа деталей транспортных и технологических машин. Методическое пособие / Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики имени В. П. Горячкина, Кафедра «Техническая эксплуатация технологических машин и оборудования природообустройства». Москва, 2020.
3. Тойгамбаев С.К. Стенд для обкатки и испытания двигателей. ж. Актуальные проблемы современной науки № 5, (78) 2014. г. Москва.
4. Тойгамбаев С.К., Евграфов В.А. Определение трудоемкости диагностирования автомобилей./ж. Естественные и технические науки. №12 (138).М.:-2019.74с.
5. Новиченко А.И., Горностаев В.И. Решение задач оптимизации парка машин и технологического оснащения АПК с применением технологий мультиагентного подхода. В сборнике: Доклады ТСХА. Сборник статей. 2016. С. 281-284.
6. Тойгамбаев С.К., Слепцов О.Н. Математическое моделирование испытания топливных насосов низкого давления топливной системы дизеля. В сборнике: ЛОГИСТИКА, ТРАНСПОРТ, ЭКОЛОГИЯ - 2017. Материалы международной научно-практической конференции. 2017. С. 83-94.