



004610594

На правах рукописи

**ШОЕВ АЛМОШО НАБОТОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
КУЛАЧКОВ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

14 ОКТ 2010

Орел - 2010

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» Таджикского аграрного университета (г. Душанбе, Республика Таджикистан) и кафедре «Инженерных дисциплин и технологии текстильных изделий» филиала Технологического университета Таджикистана в городе Кулябе (г. Куляб, Республика Таджикистан).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Сафаров Худжавали

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Говоров Игорь Витальевич  
кандидат технических наук, доцент  
Афонин Андрей Николаевич

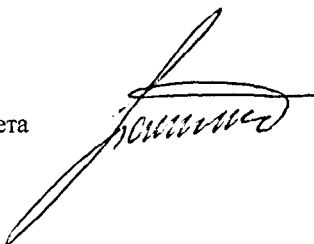
Ведущая организация: ГОУ ВПО МГИУ (г. Москва)

Защита состоится «22» октября 2010 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.182.06 при ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет» по адресу: г. Орел, Наугорское шоссе, 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет».

Автореферат разослан «17» сентября 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Василенко Ю.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В связи с непрерывным ростом мощности, производительности и нагруженности технологических и транспортных машин в машиностроении всех стран мира постоянно ужесточаются требования к качеству, надежности, долговечности как машины в целом, так и ее узлов, механизмов и отдельных деталей. Пространственные и плоские кулачковые механизмы достаточно широко применяются в конструкциях различных технологических и транспортных машин, обеспечивают заданную траекторию перемещения исполнительных органов, непосредственно влияют на способность машины исполнять производственные функции.

Надежность кулачковых механизмов преимущественно определяется долговечностью кулачков, рабочая поверхность которых теряет работоспособность вследствие контактно-усталостного износа в процессе эксплуатации. В соответствии с эксплуатационным назначением, кулачок имеет сложную геометрическую форму в торцовом сечении и, в целях повышения технологичности, простую – в осевом сечении. Априори предполагается наличие линейного контакта в сопряжении деталей кулачкового механизма, что должно обеспечивать высокую нагрузочную способность.

Однако вследствие неточности изготовления, неизбежных погрешностей установки деталей при сборке кулачкового механизма, постоянный линейный контакт не обеспечивается, имеет место блуждающий точечный контакт и в наиболее неблагоприятном случае – кромочный контакт сопрягаемых деталей. При этом рабочие поверхности сопрягаемых деталей в процессе эксплуатации изнашиваются интенсивно и неравномерно. В целях повышения нагрузочной способности и долговечности целесообразно модифицировать осевой профиль кулачка с целью исключения кромочного контакта, обеспечения первоначального точечного контакта сопрягаемых деталей с максимальным радиусом приведенной кривизны сопряжения. Формирование модифицированного профиля осевого сечения кулачка в процессе изготовления традиционными методами затруднительно.

Известно, что повышение долговечности любой детали наиболее эффективно технологическими методами, которые обеспечивают необходимое качество поверхностного слоя. Разработано большое количество различных технологических методов, позволяющих повысить износостойкость поверхностей трения, как при изготовлении, так и при ремонте. Однако, проблема обоснованного выбора наиболее эффективной упрочняющей технологии, поиск режимов упрочнения для конкретной детали в настоящее время продолжает оставаться актуальным.

Следовательно, поиск, исследование и применение технологических методов, позволяющих обеспечить формирование модифицированного профиля осевого сечения кулачков, упрочнение рабочей поверхности и повышение долговечности кулачковых механизмов, является **актуальной задачей**.

**Целью работы** является повышение долговечности кулачковых механизмов за счет модификации профиля осевого сечения и технологического повышения износостойкости рабочей поверхности плоских кулачков при изготовлении и восстановлении.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ технической и патентной литературы и выявить наиболее перспективные технологические способы модификации профиля осевого сечения и технологического повышения износостойкости кулачков кулачковых механизмов.

2. Разработать технологию получения модифицированного осевого профиля рабочей поверхности плоских кулачков.

3. Разработать технологию упрочнения рабочей поверхности, обеспечивающую повышение износостойкости кулачков при изготовлении.

4. Разработать технологию восстановления осевого и торцового профиля кулачков при ремонте.

5. Провести ресурсные испытания на износ рабочих поверхностей кулачков, обработанных по сравниваемым технологиям.

6. Провести стендовые испытания, апробировать в производстве результаты исследований и рассчитать экономическую эффективность технологических решений.

**Методы исследований.** При проведении исследований использовались теоретические методы технологии машиностроения, теория планирования экспериментов и математической обработки полученных результатов.

**Научная новизна работы:**

1. Установлена связь между шероховатостью рабочей поверхности, радиусом кривизны осевого сечения плоского кулачка и технологическими режимами обработки рабочей поверхности алмазными лентами: временем обработки, скоростью вращения детали, давлением ленты на деталь и силой натяжения ленты, отклонением от симметричности расположения ленты относительно детали, зернистостью ленты.

2. Выявлена взаимосвязь между микротвердостью, степенью упрочнения и глубиной упрочненного слоя, параметрами шероховатости обработанной поверхности кулачка и технологическими режимами электромеханической обработки: силой тока и длительностью импульсов тока.

3. Установлена связь между изменением восстанавливаемого размера кулачка и технологическими режимами электромеханической наплавки с обмазкой бронзовым роликом и псевдосплавным роликом: силой тока, силой прижатия инструмента, скоростью вращения заготовки.

**Практическая значимость** результатов заключается в следующем:

1. Разработана технология обработки рабочей поверхности плоских кулачков бесконечными эластичными алмазными лентами, обеспечивающая получение модифицированного профиля осевого сечения кулачка с большим радиусом кривизны и повышение его износостойкости.

2. Разработана технология электромеханического упрочнения рабочей поверхности кулачков, позволяющая повысить их долговечность в 2 раза.

3. Разработана технология ремонтного восстановления рабочей поверхности кулачков, обеспечивающая продление срока их службы в 2,5 раза.

4. Разработана технология изготовления и ремонта, обеспечивающая комплексное повышение долговечности кулачков в 4 раза, внедрение которой для кулачков кулачковых механизмов топливных насосов высокого давления в ООО «ИКЛИМ» (г. Куляба, Республика Таджикистан) позволило получить экономический эффект за 5 лет в сумме более 1 млн. руб.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались на: международной научно-методической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса», Иваново, 2010; Республиканской научно-практической конференции молодых ученых Таджикистана, г. Куляб, Республика Таджикистан, 2006; Республиканской научно-практической конференции «Студент и научно-технический прогресс», г. Душанбе, Республика Таджикистан, 2007; Международной научно-методической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития АПК», ИГСХА, г. Иваново, 2010; Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и технике», г. Душанбе, Республика Таджикистан, 2010.

**Публикации:** по теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получено 6 патентов Республики Таджикистан.

**Структура и объем:** диссертация включает введение, 5 глав, основные результаты и выводы, список литературы и приложения. Общий объем 133 стр.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приведен обзор научно-технической литературы по применению и технологическому обеспечению долговечности кулачковых механизмов. Работы В.Ф. Безъязычного, М.А. Галахова, Ю.Н. Дроздова, А.А. Маталина, А.В. Орлова, А.Г. Сулова, В.П. Фёдорова, Ю.Г. Шнейдера и др. убедительно свидетельствуют о возможности повышения износостойкости как за счет технологии обработки так и за счет оптимизации профиля сопряженных поверхностей. В работах Н.Н. Дорожкина, В.Е. Канаритко, Ф.И. Пантелеенко, Ф.В. Молчанова и др. рассмотрено повышение долговечности поверхностей трения в результате их восстановления при ремонте. Работами Б.Н. Аскинази, А.О. Горленко, А.Г. Сулова доказано, что эффективным методом повышения износостойкости поверхностей трения при изготовлении и ремонте является электромеханическая обработка (ЭМО).

Показано, что долговечность кулачковых механизмов определяется неравномерностью износа рабочей поверхности кулачков, которая сопровождается изменением ускорения толкателя. Выявлены наиболее перспективные способы

технологического повышения износостойкости кулачков за счет упрочнения и модификации профиля их осевого сечения.

**Во второй главе диссертации** приведена методика проведения исследований. Для проведения экспериментальных исследований изготавливались образцы из сталей 45 и 40Х. Измерение продольного профиля и параметров шероховатости рабочей поверхности осуществлялось на профилометре мод. 201 с использованием специальных устройств. Испытание образцов на износ осуществлялось на универсальной машине трения МТ-5 и шестипозиционной высокотемпературной установке МТП-6.

**В третьей главе диссертации** приведено теоретическое обоснование необходимости создания выпуклой формы кулачка в осевом направлении, что позволяет выравнивать давление в сопряжении с опорой толкателя. Предложена технология получения выпуклой осевой формы кулачка – шлифованием бесконечной эластичной лентой с перекрытием ширины кулачка.

В целях упрощения расчетов контакт кулачка и эластичного инструмента, перекрывающего ширину кулачка, рассмотрен как результат взаимодействия жесткого штампа и упругой полуплоскости, при котором давление под штампом возрастает на краях участка контакта. Принято допущение о большем сьеме металла на участках с большим давлением, а также о достижении через определенный период времени формы кулачка, обеспечивающей равномерное распределение давления по ширине. Получено уравнение распределения давления по ширине кулачка при его обработке бесконечной лентой с перекрытием:

$$P = \frac{2P \frac{a}{b} \left[ (\pi - 2\varphi_0) \frac{1}{b} B + \frac{x}{b} \ln \left| \frac{xA + aB}{xA - aB} \right| \right]}{\pi a \left( \pi - 2\varphi_0 - \frac{2a}{b^2} A \right)} + \frac{\frac{a}{b} \ln \left[ \frac{\left[ 1 - \frac{1}{b^2} (AB - ax) \right] \left[ 1 - \frac{1}{b^2} (AB + ax) \right]}{\frac{1}{b^4} (x^2 a^2 - a^2 b^2)} \right]}{\pi a \left( \pi - 2\varphi_0 - \frac{2a}{b^2} A \right)} \quad (1)$$

где  $A = (b^2 - a^2)^{1/2}$ ;  $B = (b^2 - x^2)^{1/2}$ .

$x$  – расстояние от среднего до рассматриваемого сечения;  $2b$  – длина контакта ленты и кулачка;  $2a$  – ширина обрабатываемой детали;  $\varphi_0$  – угол охвата.

Выполнена экспериментальная проверка результатов теоретических положений. На первом этапе выполнялись однофакторные эксперименты по установлению влияния времени обработки, скорости вращения образца, среднего давления ленты и силы ее натяжения на радиус кривизны осевого профиля кулачка. Обработка производилась алмазной лентой при обильном охлаждении. Результаты экспериментов приведены на рис. 1. Для получения зависимости радиуса кривизны осевого профиля кулачка от режимов обработки реализован полнофакторный эксперимент  $2^3$ . Интервалы варьирования технологических факторов: время обработки  $t - 20 \pm 80$  с; давление  $p - 4 \pm 10$  Па; сила натяжения ленты  $T - 150 \pm 350$  Н. Получена следующая зависимость (2) для определения радиуса кривизны осевого профиля кулачка, мм:

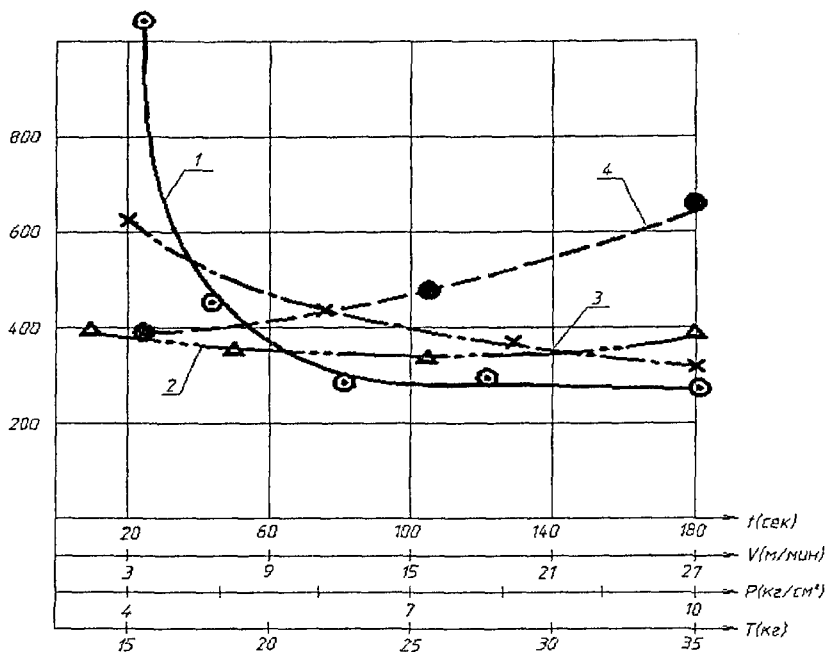


Рис. 1. Зависимость среднего радиуса кривизны осевого профиля образцов от времени обработки (1), скорости вращения детали (2), давления ленты на деталь (3), и силы натяжения ленты (4). Средний радиус кривизны осевого профиля определялся из профилограммы поверхности (ВУ и ГУ – вертикальное и горизонтальное увеличение записи профилограммы) по формуле:

$$R = \frac{L^2 BУ}{8h\Gamma T}, \text{ где } L = 2a - \text{ширина кулачка; } h - \text{высота выпуклого профиля.}$$

$$R = 1373 - 13t - 47,5p + 1,47T. \quad (2)$$

Анализ (2), ранжирование технологических факторов ( $t$ ,  $p$ ,  $T$ ) показали, что влияние времени обработки примерно в 2,7 раза больше влияния остальных факторов, а влияние изменения скорости вращения детали незначительно. Смещение ленты относительно детали приводит к образованию неправильной выпуклой формы поверхности – конусности, величина которой прямо зависит от несимметричности расположения ленты относительно детали. Оптимальные режимы обработки из условия эффективного обеспечения правильного профиля осевого сечения кулачка: скорость ленты 34 м/с; скорость вращения детали 20 м/мин; давление ленты на деталь 2,4 Па; время обработки 30 с.

На втором этапе исследовались закономерности формирования параметров шероховатости в процессе обработки различными эластичными лентами на полученных оптимальных режимах. Установлено, что при обработке кулачков бесконечными алмазными лентами шероховатость и сьем металла в 1,5 раза

меньше по сравнению с обработкой кубонитовыми лентами. Величина параметров шероховатости зависит от исходной шероховатости обрабатываемой поверхности. После удаления исходного профиля шероховатость определяется характеристикой ленты, ее зернистостью (рис. 2).

На третьем этапе выполнялись сравнительные испытания на износ при давлении 10 Па, скорости скольжения 0,9 м/с, смазке индустриальным маслом И12, рабочих поверхностей кулачков обработанных шлифованием суперфинишем и полированием бесконечными эластичными лентами АСО80/63 – Р9. Кривые износа образцов приведены на рис. 3. Анализ кривых износа показывает, что износостойкость поверхностей трения кулачков, обработанных бесконечными эластичными лентами, повышается более чем в 2 раза по сравнению с другими методами обработки.

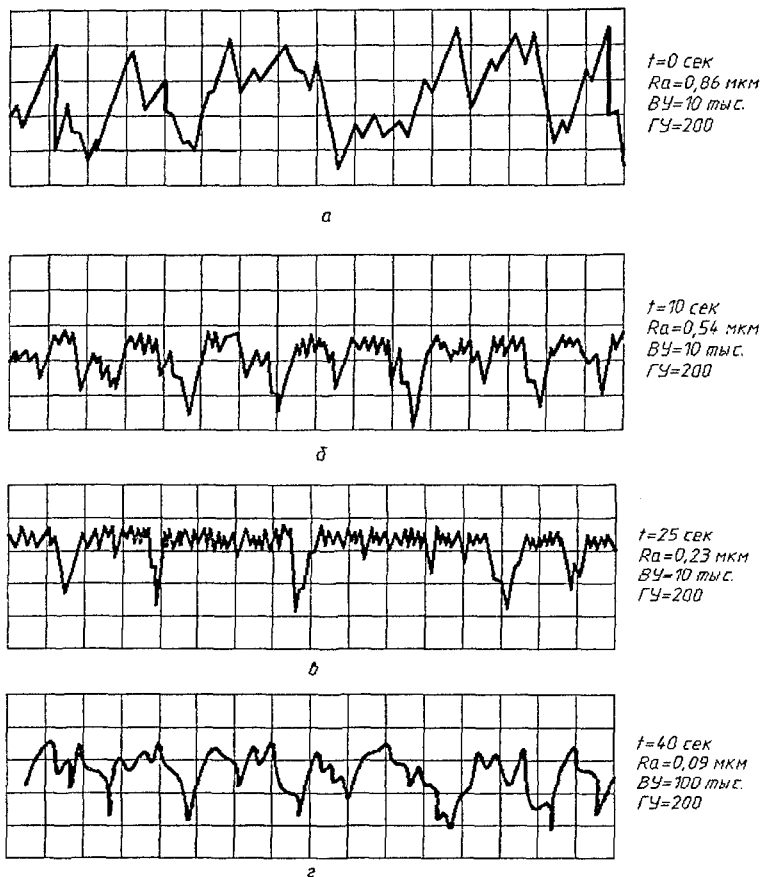


Рис. 2. Шероховатость поверхности при обработке эластичными лентами



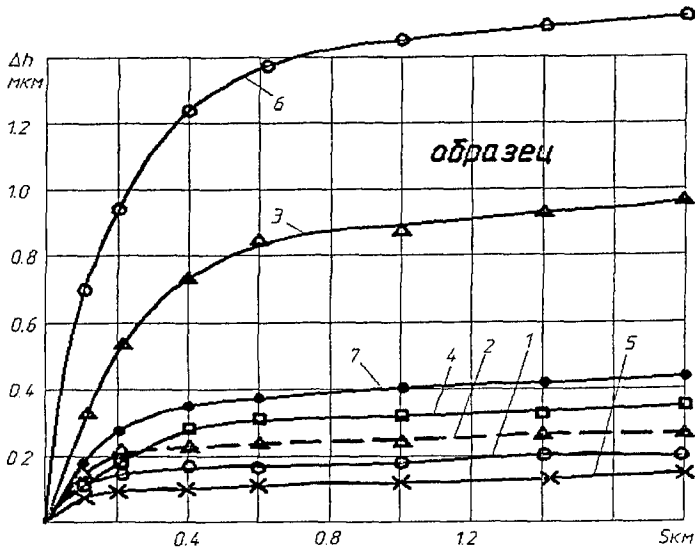


Рис. 3. Зависимость величины износа образцов от пути трения:

1 – обработка бесконечной лентой АСО80/63 – Р14; 2 – обработка конечной лентой АСО80/63 – Р9; 3 – тонкое шлифование; 4 – обработка конечной лентой АСО80/63 – Р14; 5 – обработка бесконечной эластичной лентой АСО80/63 – Р9; 6 – шлифование; 7 – суперфиниш

**Четвертая глава диссертации** посвящена технологическому повышению долговечности кулачков при изготовлении и ремонте электромеханической обработкой (ЭМО). Экспериментальные исследования ЭМО образцов из стали 40Х проводились по плану двухфакторного эксперимента. Первый фактор – сила тока  $I$  варьировалась на 4-х уровнях (450, 550, 700, 850 А), второй фактор – длительность импульса тока  $\tau_H$  на 2-х уровнях (0,16 с и 0,32 с), остальные менее значимые факторы такие, как подача, длительность пауз между импульсами тока оставались неизменными.

На первом этапе исследований ЭМО контролировались параметры шероховатости упрочненных поверхностей, влияющие на износостойкость:  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение,  $R_p$  – высота наибольшего выступа,  $R_{max}$  – наибольшая высота неровностей,  $t_m$  – относительная опорная площадь на уровне средней линии профиля,  $S_m$  – шаг неровностей по средней линии,  $\rho$  – радиус кривизны вершин неровностей, а также  $\nu$  – параметр, характеризующий кривизну начального участка опорной кривой профиля:

$$\nu = 2t_m \frac{R_p}{R_a} - 1, \text{ здесь величина } t_m \text{ в долях единицы.}$$

Как показывают результаты дисперсионного анализа экспериментальных данных, сила тока  $I$  и длительность импульса тока  $\tau_H$  оказывают слабое влияние

на формирование высотных параметров шероховатости и, наоборот, сильное влияние на параметры, характеризующие распределение материала неровностей в верхних слоях (до уровня средней линии) и форму неровностей. Для всех упорядоченных поверхностей  $R_a = 1.15 \pm 0.07$  мкм (здесь и далее указаны 95%-ные доверительные интервалы);  $R_p$  при изменении силы тока от 450 до 850 А возрастает в диапазоне  $3.54 \pm 0.96 \dots 5.38 \pm 0.87$  мкм. При изменении длительности импульсов  $\tau_H$  от 0,16 до 0,32 секунд параметр шероховатости  $R_{max}$  составляет  $9.39 \pm 0.87$  мкм. Получены следующие эмпирические зависимости:

$$t_m = 0,55 - 0,15 \cdot 10^{-2} I + 0,185 \tau_H \quad (3)$$

$$v = 3,317 - 0,124 \cdot 10^{-2} I + 0,58 \cdot 10^{-3} I \tau_H \quad (4)$$

$$Sm = 58,36 + 0,054I - 0,183 I \tau_H \quad (5)$$

$$\rho = 36,68 - 0,063 I + 267,7 I \tau_H \quad (6)$$

На втором этапе оценивались параметры качества поверхностного слоя, характеризующие упрочнение: микротвердость HV на глубине 0,06 мм; глубина упрочнения  $h$ , мм; степень упрочнения  $\epsilon$ , градиент упрочнения. Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить следующие эмпирические зависимости:

$$HV = 185,2 + 1,33 I + 3073 \tau_H - 5,82 I \tau_H \quad (7)$$

$$h = -0,27 + 0,008 I + 0,69 \tau_H - 0,0006 \tau_H \quad (8)$$

$$\epsilon = -0,412 + 0,004 I + 9,58 \tau_H - 0,018 \tau_H \quad (9)$$

Установлено, что изменение микротвердости по глубине упрочненного слоя на середине упрочненного участка на 30÷50% выше, чем на границе. В поперечном направлении упрочнение ЭМО носит пятнистый характер, формируется поверхность с регулярным чередованием упрочненных и неупрочненных участков, размеры которых определяются скоростью вращения заготовки, скоростью подачи инструмента, а также длительностью импульсов тока и пауз между ними. Обработка такой поверхности нежестким инструментом способствует образованию упрочненной поверхности с регулярным рельефом.

На третьем этапе исследовалась износостойкость образцов, обработанных с различными режимами ЭМО. В качестве отделочной обработки применялось шлифование кругом или бесконечной лентой. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1. Установлено, что применение полирования бесконечной лентой упрочненной ЭМО поверхности взамен шлифования позволяет повысить износостойкость более чем в 2 раза. При этом определяющим является вид обработки, так как во всех случаях обеспечиваются близкие значения шаговых и высотных параметров шероховатости.

Выполнялись сравнительные испытания на износ образцов из стали 40X не термообработанных, подвергшихся объемной закалке (45 HRC) и восстановленных ЭМО. Данные испытаний приведены в таблице 2. Анализ результатов показывает, что электромеханическое восстановление рабочей поверхности кулачков позволяет повысить их износостойкость в 1,5 раза.

Таблица 1

**Износ образца У, мкм, в зависимости от времени изнашивания  
и технологии обработки образцов**

№	Технология упрочняющей и отделочной обработки образцов	Время изнашивания					
		30	60	120	180	240	300
1	ЭМО ( $\tau_H=0,32$ ; $\tau_I=0,16$ ) + обработка бесконечной лентой ( $Ra = 1,25 \dots 1,37$ мкм; $Sm = 90 \dots 94$ мкм)	0,13	0,29	0,61	0,77	0,98	1,29
2	ЭМО ( $\tau_H=0,32$ ; $\tau_I=0,16$ ) + шлифование ( $Ra = 1,66 \dots 1,81$ мкм; $Sm = 66 \dots 76$ мкм)	0,29	0,57	1,32	1,68	2,02	2,32
3	ЭМО ( $\tau_H=0,32$ ; $\tau_I=0,16$ ) + обработка бесконечной лентой ( $Ra = 1,25$ мкм; $Sm = 106$ мкм)	0,11	0,27	0,60	0,74	0,93	1,04

Таблица 2

**Результаты экспериментов на изнашивание**

Метод обработки	Величина износа $h$ в период обработки ( $L=1269$ м), мкм	Интенсивность изнашивания $I$ (средняя, период нормального изнашивания)	Класс износостойкости
Образцы нетермообработанные	15,2	$3,289 \cdot 10^{-9}$	III
Образцы, восстановленные наплавкой ЭМО с электромагнитом	1,8	$1,07 \cdot 10^{-9}$	
Образцы после объемной закалики	3,4	$1,775 \cdot 10^{-9}$	

На четвертом этапе исследовался процесс восстановления рабочих поверхностей изношенных кулачков электромеханической наплавкой порошков, удерживаемых на восстанавливаемой поверхности обмазкой и электромагнитным полем. В качестве рабочего инструмента при проведении экспериментов использовались ролики из бронзы марки БРХ0,7 и псевдосплава карбида вольфрама с медью. После наплавки производилось упрочнение восстановленного слоя путем прохождения инструментом на тех же режимах с подачей СОТС поливом. В качестве факторов, оказывающих основное влияние на величину восстановленного размера, были выбраны: сила тока ( $I$ ), сила прижатия инструмента ( $P$ ), скорость вращения заготовки ( $V$ ).

$$X1 = \frac{2 \ln I - \ln I_{\max} - \ln I_{\min}}{\ln I_{\max} - \ln I_{\min}}; \quad X2 = \frac{2 \ln P - \ln P_{\max} - \ln P_{\min}}{\ln P_{\max} - \ln P_{\min}}; \\ X3 = \frac{2 \ln V - \ln V_{\max} - \ln V_{\min}}{\ln V_{\max} - \ln V_{\min}} \quad (10)$$

Предварительные экспериментальные исследования связующих компонентов для обмазки (этилсиликат (жидкое стекло), цапон лак, графитная смазка) выявили преимущество графитной смазки, как пластичного, электропроводного материала, обеспечивающего удовлетворительные результаты по качеству наплавленного слоя. Дополнительный материал (порошок) перемешивался со связующим компонентом в пропорции 1:1, и наносился равномерным слоем на восстанавливаемую поверхность. Получены экспериментальные зависимости величины восстановленного размера от условий ЭМО с обмазкой при наплавке бронзовым (11) и псевдосплавным (12) роликом:

$$\Delta d = \frac{419,95 \cdot V^{0,244}}{P^{0,158} \cdot I^{0,753}}, \text{ мм} \quad (11)$$

$$\Delta d = \frac{3626,6 \cdot V^{0,125}}{P^{0,485} \cdot I^{0,758}}, \text{ мм} \quad (12)$$

ЭМО с обмазкой позволяет эффективно восстанавливать размер наружных цилиндрических поверхностей (с последующей отделочной обработкой алмазным точением или шлифованием) на 0,1÷0,3 мм. Недостатком является большая пористость покрытия вследствие выгорания при наплавке «третьего тела» - графитной смазки. В целях уменьшения пористости покрытия предложено наносить порошок свободным просыпанием из бункера и использовать электромагнитное поле для удержания порошка в зоне наплавки. Электромеханическая наплавка дополнительного материала (порошка) с использованием электромагнитного поля позволяет эффективно восстанавливать размер наружных цилиндрических поверхностей (с последующим шлифованием) на 0,2÷0,4 мм. Зависимость величины восстановленного размера от условий ЭМО с электромагнитом:

$$\Delta d = \frac{35,555 \cdot S^{0,594}}{P^{0,208} \cdot I^{0,351}}, \text{ мм} \quad (13)$$

В пятой главе диссертации приведены результаты стендовых испытаний, определена долговечность кулачкового механизма топливного насоса высокого давления. Рабочие поверхности кулачков перед испытаниями обрабатывались по различным технологиям:

1. Традиционная технология, обеспечивающая прямолинейный осевой профиль кулачков - точение, шлифование, полирование. Технология, обеспечивающая выпуклую осевую форму кулачков – точение, шлифование, полирование бесконечной лентой.
3. Новая технология – точение, электромеханическое упрочнение, шлифование бесконечной лентой.
4. Технология восстановления рабочей поверхности кулачков – электромеханическая наплавка, шлифование, полирование бесконечной лентой.

После доработки насос устанавливался на направляющие токарно-винторезного станка. Так как долговечность кулачкового механизма топливного насоса высокого давления определяется допустимой величиной ускорения

толкателя –  $37 \text{ м/с}^2$  при частоте вращения кулачкового вала – 180 об/мин, вращение кулачкового вала осуществлялось от шпинделя станка с частотой 180 об/мин. Величина износа контура кулачков в определенных точках (рис. 4) измерялась индуктивным датчиком. С учетом износа кулачков определялась долговечность кулачкового механизма топливного насоса высокого давления. Результаты испытаний приведены в табл. 3, 4.

Анализ полученных результатов показывает, что долговечность кулачковых механизмов определяется износом точки 4 кулачка. Величина износа зависит от технологии обработки и восстановления рабочей поверхности кулачка. Наибольшей долговечностью обладают кулачковые механизмы, рабочие поверхности кулачков которых подвергались электромеханическому упрочнению, а затем были обработаны шлифованием бесконечной лентой.

Установлено, что электромеханическая обработка рабочей поверхности с последующим шлифованием бесконечной лентой позволяет экономично повысить износостойкость и долговечность кулачков при изготовлении и восстановлении в 3...4 раза.

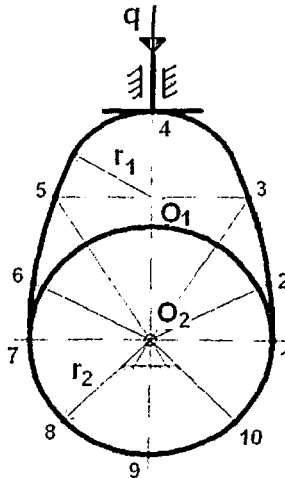


Рис. 4. Схема точек скольжения кулачков

Таблица 3

Осредненный износ кулачков по контуру при  $T = 1000 \text{ ч}$ , (мкм)

Технология	Точки контура кулачков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35	40	44	52	44	40	35	35	35	35
2	22	28	30	38	30	28	22	22	22	22
3	28	25	26	36	26	25	18	18	18	18
4	20	27	29	35	29	27	20	20	20	20

Таблица 4

Долговечность кулачкового механизма.  $T \cdot 10^3$  час

Технология	Точка i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Износ U, мм										
1	0,1	2,9	2,5	2,3	1,9	2,3	2,5	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,25	7,2	6,2	5,7	4,8	5,5	6,2	7,2	7,2	7,2	7,2
	0,5	14,5	12,5	11,5	9,7	11,5	12,5	14,5	14,5	14,5	14,5
	0,75	21,8	18,7	17,2	14,6	17,2	18,7	21,8	21,8	21,8	21,8
	1	29,0	25,0	23,0	19,5	23,0	25,0	29,0	29,0	29,0	29,0
2	0,1	3,81	3,3	3,0	2,5	3,0	3,3	3,8	3,81	3,81	3,8
	0,25	10,1	8,25	7,5	6,2	7,5	8,25	10,1	10,1	10,1	10,1
	0,5	20,2	16,5	15,0	12,5	15,0	16,5	20,2	20,2	20,2	20,2
	0,75	31,5	24,7	22,5	18,7	22,5	24,7	31,5	31,5	31,5	31,5
	1,0	38,1	33,0	30,0	25,1	30,0	33,0	38,1	38,1	38,1	38,1
3	0,1	5,76	4,92	4,3	3,5	4,3	4,9	5,7	5,7	5,7	5,7
	0,25	14,4	11,9	10,9	8,5	10,9	11,9	14,4	14,4	14,4	14,4
	0,5	28,8	23,8	21,8	17,0	21,8	23,8	28,8	28,8	28,8	28,8
	0,75	43,2	35,7	32,7	25,5	32,7	35,7	43,2	43,2	43,2	43,2
	1,0	57,6	49,2	43,6	35,4	43,6	49,2	57,6	57,6	57,6	57,6
4	0,1	4,72	4,1	3,62	3,1	3,62	4,1	4,72	4,42	4,72	4,72
	0,25	11,7	10,2	9,1	7,68	9,1	10,2	11,7	11,7	11,7	11,7
	0,5	23,4	20,4	18,2	15,3	18,2	20,4	23,4	23,4	23,4	23,4
	0,75	35,0	30,5	27,3	23,1	27,3	30,5	35,0	35,0	35,0	35,0
	1,0	47,2	41,0	36,2	31,0	36,2	41,6	47,2	47,2	47,2	47,2

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложен комплекс научно обоснованных технических и технологических решений, позволяющих повысить долговечность кулачковых механизмов за счет обеспечения высокой износостойкости рабочей поверхности плоских кулачков при изготовлении и восстановлении технологическими методами.

2. Установлено, что эффективным технологическим способом повышения долговечности и износостойкости кулачков кулачковых механизмов является создание большого радиуса кривизны осевого профиля рабочей поверхности обработкой бесконечными эластичными алмазными лентами с перекрытием. Обработка рабочей поверхности кулачков бесконечными лентами позволяет повысить их несущую способность и износостойкость по сравнению с традиционными технологиями в 2 раза.

3. Установлено, что по сравнению с конечными лентами, обработка бесконечными лентами приводит к более быстрому скруглению кромок и формированию выпуклого профиля кулачка. Несимметричное расположение ленты относительно кулачка приводит к образованию конусности, величина которой прямо зависит от величины отклонения от симметричности расположения ленты относительно детали.

4. Установлена связь между радиусом кривизны осевого сечения плоского кулачка и технологическими режимами обработки рабочей поверхности алмазными лентами: временем обработки, скоростью вращения детали, давлением ленты на деталь и силой натяжения ленты. Установлено, что влияние времени обработки в 2,7 раза превышает влияние остальных факторов, а влияние изменения скорости вращения детали незначительно. Оптимальные режимы обработки: скорость ленты 34 м/с; скорость вращения детали 20 м/мин; давление ленты на деталь 2,4 Па; время обработки 30 с.

5. Установлено, что при обработке кулачков на указанных выше оптимальных режимах бесконечными алмазными лентами шероховатость и сьем металла в 1,5 раза меньше по сравнению с обработкой кубонитовыми лентами. Величина параметров шероховатости в целом зависит от исходной шероховатости обрабатываемой поверхности и зернистости ленты.

6. Установлено, что эффективным методом повышения долговечности кулачков кулачковых механизмов в 2 раза, как при их изготовлении, так и при ремонте является электромеханическая обработка.

7. Установлен вид связи между микротвердостью, степенью упрочнения и глубиной упрочненного слоя, параметрами шероховатости обработанной поверхности кулачка и технологическими режимами электромеханической обработки: силой тока и длительностью импульсов тока.

8. Установлен вид связи между изменением восстанавливаемого размера кулачка и технологическими режимами электромеханической наплавки бронзовым и псевдосплавным роликотом порошков, удерживаемых на восстанавливаемой поверхности обмазкой и электромагнитным полем: силой тока, силой прижатия инструмента, скоростью вращения заготовки. С учетом последующей обработки эффективное изменение восстанавливаемого размера составляет  $0,2 \pm 0,4$  мм.

9. Применение электромеханической обработки рабочей поверхности с последующим шлифованием бесконечной лентой при изготовлении и восстановлении кулачков позволяет повысить их долговечность в 3÷4 раза.

10. Восстановление рабочей поверхности кулачков кулачковых механизмов топливных насосов высокого давления электромеханической наплавкой с последующим шлифованием бесконечной лентой на ООО «ИКЛИМ» (г. Куляба, Республика Таджикистан) за 5 лет позволяет получить экономический эффект более 1 млн. руб.

**Основные положения и результаты диссертации  
опубликованы в следующих работах:**

**Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Шоев, А.Н. Моделирование ресурса кулачкового механизма [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. – 2007, №3. – С. 42-44.
2. Шоев, А.Н. Технологическое повышение долговечности кулачковых механизмов [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. - 2010, № 6. - С. 10-12.
3. Шоев, А.Н. Технологическое обеспечение оптимальной продольной формы рабочей поверхности кулачков // Известия Орел ГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» № 4-2 (282). – Орел: ОрелГТУ, 2010. С.36-39.

**Другие публикации:**

4. Шоев, А.Н. Моделирование долговечности и износа кулачковых механизмов [Текст] // Известия Академии наук Республики Таджикистан. – 2007, №1. – С. 107-111.
5. Шоев, А.Н. Методология оценки долговечности кулачковых механизмов при изнашивании [Текст] // Известия Академии наук Республики Таджикистан. - 2007, №3. – С. 79-83.
6. Шоев, А.Н. Некоторые аспекты повышения долговечности кулачковых механизмов [Текст] // Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-методической конференции, Иваново: Изд-во ИГСХА, 2009. - Т. 2. - С. 225-238.
7. Патент №0900326 Республика Таджикистан, МПК (2006) F1 GH. Планетарный механизм привода очистки комбайна СК-5 с составным водилом / А.Н. Шоев и др. - Бюл. №56(4), 2009. - 20.11.2009.
8. Патент №0900325 Республика Таджикистан, МПК (2006) F16 H 21/00. Двухкулисный планетарно-синусный механизм / А.Н. Шоев и др. - Бюл. №56(4), 2009. - 20.11.2009.
9. Патент №0900327 Республика Таджикистан, МПК (2006) F16 H 21/00. Многосателлитный планетарный фрикционный механизм привода шпинделей хлопкоуборочного аппарата / А.Н. Шоев и др. - Бюл. №56(4), 2009. - 20.11.2009.
10. Патент №0900369 Республика Таджикистан, МПК (2006) F16 H 21/00. Планетарный механизм привода режущего аппарата СК-5 с составным водилом / А.Н. Шоев и др. - Бюл. №57(1), 2010. - 11.11.2009.
11. Патент №0900370 Республика Таджикистан, МПК (2006) F16 H 21/00. Многосателлитный эпициклический механизм привода шпинделей / А.Н. Шоев и др. - Бюл. №57(1), 2010. - 11.11.2009.
12. Патент №0900371 Республика Таджикистан, МПК (2006) F16 H 21/00. Планетарный механизм привода измельчителя с упругим водилом / А.Н. Шоев и др. - Бюл. №57(1), 2010. - 11.11.2009.



Объем 1,0 усл. п. л. Формат 60x84 1/16  
Тираж 100 экз. Заказ № 185  
Отпечатано с готового оригинал-макета  
Полиграфический центр ИП Киселёв  
302030, г. Орёл, ул. Московская, 65