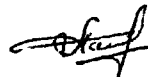


MP

На правах рукописи



ПАНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ  
ПУТЁМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
НАСЛЕДОВАНИЯ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат диссертации  
на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Барнаул 2002

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения" Алтайского государственного технического университета имени И. И. Ползунова

Научные руководители	- доктор технических наук, профессор <u>И. М. Колесов</u>
	- доктор технических наук, профессор Е. Ю. Татаркин
Официальные оппоненты	- доктор технических наук, профессор А. В. Кутышкин
	- кандидат технических наук, доцент А. М. Фирсов
Ведущее предприятие	ОАО "Алтайдизель", г. Барнаул.

Защита состоится "5" декабря 2002 г. в \_\_\_\_ час. \_\_\_\_ мин. на заседании диссертационного совета Д 212.004.01 при Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова по адресу 656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова.

Автореферат разослан "4" декабря 2002 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент



Ю. О. Шевцов

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность.** Постоянно возрастающие требования к качеству двигателей внутреннего сгорания, их мощности, экономичности, моторесурсу предполагают не только совершенствование конструкции двигателей и их элементов, но и совершенствование технологии их производства.

Качественная работа двигателей во многом определяется эффективной работой поршневых колец. Для выполнения своих функций поршневое кольцо должно прилегать к стенкам цилиндра с определённым нормальным давлением по всему периметру кольца. Характер эпюры давления определяется в первую очередь соответствующей формой свободного состояния, которая последовательно формируется на отдельных этапах изготовления кольца.

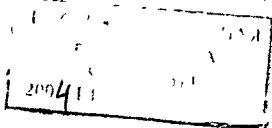
Обеспечение требуемой формы свободного состояния, а следовательно, и эпюры давления, связано с определёнными трудностями, несмотря на достаточно детальные разработки в области теории поршневых колец и наличие современных высокопроизводительных методов обработки. Одной из причин данного положения является то обстоятельство, что в существующих технологических процессах изготовления колец, а также по ГОСТ 621 – 87 не предусмотрен контроль эпюры давления и определяющей её формы свободного состояния. Существующие лабораторные методы и средства контроля эпюры давления предназначены лишь для готовых колец и практически не могут быть использованы для контроля кольца на промежуточных этапах изготовления. В силу этого не представляется возможным проследить эволюцию формы свободного состояния, выявить в технологии операции появления погрешностей формы, оценить технологические возможности отдельных операций.

Преобладающее большинство исследований в области технологии изготовления поршневых колец направлены на создание более производительного оборудования, усовершенствование методов обработки. Причины появления искажений формы свободного состояния и их влияние на характер эпюры давления изучены недостаточно. Имеющиеся данные носят частный табличный либо графический характер. Поэтому при проектировании новых технологических процессов и анализе существующих далеко не всегда удается использовать опыт других технологий.

Таким образом, исследования, направленные на разработку методов и средств сквозного контроля точности формы поршневого кольца и на раскрытие механизма формирования погрешностей эпюры давления на отдельных этапах изготовления с целью повышения качества поршневых колец и снижения трудоёмкости их изготовления, являются актуальными.

**Цель работы.** Обеспечение точности формы свободного состояния поршневого кольца и связанной с ней эпюры давления путем раскрытия механизма технологического наследования погрешностей и управления ими.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проводились на базе научных основ технологии машиностроения, теории поршневого кольца, теории изгиба кривого бруса, методик математического моделирования. Экс-



периментальные исследования выполнялись с использованием спроектированной оригинальной автоматизированной контрольно-измерительной установки.

#### **Научная новизна.**

1. Теоретически обоснован выбор оценочного критерия точности формы свободного состояния поршневого кольца, позволяющего установить взаимосвязь между его эксплуатационными и геометрическими параметрами на отдельных операциях технологического процесса.

2. Разработана общая методика исследования влияния погрешностей выполнения операций технологического процесса на искажение формы свободного состояния и характер эпюры давления кольца.

3. Установлено влияние непостоянства модуля упругости материала кольца на искажение эпюры давления.

4. Теоретически раскрыт механизм влияния технологических погрешностей на формирование искажений эпюры давления кольца при навивке, термофиксации, механической обработке.

#### **Практическая ценность.**

1. Предложена методика сквозной оценки точности формы свободного состояния поршневого кольца по отдельным операциям технологического процесса.

2. Разработана методика и технические средства контроля кривизны кольца.

3. Разработаны рекомендации по совершенствованию структуры технологических процессов изготовления поршневых колец.

4. Предложен способ сокращения погрешностей формы кольца при навивке заготовки.

5. Даны рекомендации по назначению технологических допусков для операций механической обработки.

**Реализация работы.** Разработанные рекомендации по совершенствованию структуры технологических процессов, организации операций, назначению технологических допусков на операциях механической обработки приняты к использованию на этапе технологической подготовки производства поршневых колец на ЗАО "Юкас - плюс", г. Барнаул.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались на совместных научных семинарах кафедр "Технология машиностроения" и "Технология автоматизированных производств" (АлтГТУ, Барнаул) в 2001 – 2002 годах, на 59 и 60 научно-технических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ (Барнаул, 2001, 2002), на 3 зональной научно-технической конференции "Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов" (Новосибирск, 1982), на Всесоюзной научно-технической конференции "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов" (Барнаул, 1982), на международной научно-технической конференции "Фундаментальные и прикладные исследования – производству" (Барнаул, 2001), на

второй межрегиональной научно-технической конференции "Ресурсосберегающие технологии в машиностроении" (Бийск, 2002)

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 10 печатных работ.

**Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы, включающего 95 наименований и 4 приложений. Общий объем диссертации -148с, рисунков 42, таблиц 6.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность выполненной работы, приводится общая характеристика её, научная новизна и практическая ценность.

**В первой главе** дан анализ современного состояния вопроса, сформулированы цель и задачи исследований.

Основными требованиями служебного назначения поршневых колец является обеспечение герметичности стыка "цилиндр - поршень", отвод тепла от поршня к охлаждаемой гильзе цилиндра, удаление излишков масла с поверхности цилиндра. Для выполнения этих требований кольцо в сжатом состоянии должно прилегать к поверхности цилиндра с определенным давлением, эпюра которого определяется соответствующей формой свободного состояния. Существующие методики позволяют теоретически рассчитать форму свободного состояния кольца для обеспечения необходимой эпюры давления. В то же время при изготовлении колец, как правило, не контролируется точность формы свободного состояния и эпюра давления. По ГОСТ 621 – 87 предусматривается контроль упругости по величине усилия сжатия до рабочего зазора замка и контроль прилегания к эталонному кольцу (на просвет). Применяемые эпюромеры достаточно сложны и позволяют проконтролировать распределение давления лишь на окончательно обработанных кольцах. Отсутствие методик и средств контроля не позволяет проконтролировать поэтапно в действующих технологических процессах создание заданной формы свободного состояния, выявить моменты появления погрешностей формы, оценить технологические возможности отдельных операций. Исследования в области технологии изготовления поршневых колец не являются системными, посвящены отдельным частным вопросам технологии, разработке более производительных способов обработки. Предлагаемые технологические процессы не имеют теоретического обоснования.

На основании вышеизложенного была поставлена цель работы и сформулированы основные задачи:

1. Теоретически обосновать выбор оценочного критерия точности формы поршневого кольца, позволяющего проконтролировать эволюцию формы на отдельных операциях технологического процесса.
2. Разработать методику контроля точности формы и необходимые для этого технические средства.

3. Проанализировать по предложенной методике действующие технологические процессы и выявить технологические возможности отдельных операций.

4. Теоретически исследовать влияние технологических погрешностей на искажение формы и связанной с ней эпюры давления по операциям навивки, термофиксации, механической обработки.

5. Разработать рекомендации по совершенствованию структуры технологического процесса и назначению технических требований и норм точности по отдельным операциям.

**Вторая глава** посвящена обоснованию выбора оценочного критерия точности формы, параметра непосредственного контроля, разработке методики и технических средств контроля.

Непосредственный контроль эпюры давления кольца является затруднительным, а на отдельных операциях и невозможным по целому ряду причин. В процессе изготовления кольца непосредственно формируются геометрические показатели точности. Точность формы кольца может быть оценена законами изменения по периметру радиус-вектора  $r=f_1(\varphi)$ , радиуса кривизны  $\rho=f_2(\varphi)$ , кривизны  $k=1/\rho=f_3(\varphi)$ . Эти параметры однозначно связаны между собой и с функцией распределенного давления  $p=f(\varphi)$  известными из теории поршневого кольца зависимостями. Анализ зависимостей и возможных схем их контроля показал, что наиболее целесообразен контроль кривизны кольца по методу трёх точек, при котором контролируется стрела прогиба кольца  $h$  на базовой длине  $2l$ . Кривизна кольца прямо пропорционально связана с  $h$ , а зависимость  $h=f(\varphi)$  при определенных допущениях представляет собой эпюру изгибающего момента в сечениях кольца  $M=f(\varphi)$ . Переход к функции распределённого давления может быть осуществлён по зависимости:

$$p = \frac{1}{R^2} \left( M + \frac{d^2 M}{d\varphi^2} \right) = \frac{EI}{R^2} \left( k + \frac{d^2 k}{d\varphi^2} \right), \quad (1)$$

где  $R$  – номинальный радиус кольца;  $EI$  – изгибная жёсткость сечения кольца.

Для аналитического описания кривизы  $k=f(\varphi)$  её целесообразно представить в виде ряда Фурье:

$$k = k_0 + \sum_{i=1}^n k_i \cos(i\varphi + \varepsilon_i), \quad (2)$$

где  $i$  – где порядок гармоники;  $k_i$ ,  $\varepsilon_i$  – амплитуда и фаза гармоники.

После подстановки в (1) функция давления примет вид:

$$p = \frac{EI}{R^2} \left( k_0 + \sum_{i=1}^n (1 - n^2) k_i \cos(i\varphi + \varepsilon_i) \right) \quad (3)$$

Величины  $k_0$  и  $k_1$  характеризуют кривизну изготовленного кольца равномерного давления.

Степень искажения эпюры может быть оценена величиной приведённой кривизны  $k_{пр}$ :

$$k_{пр} = \sum_{i=2}^n k_i (i^2 - 1). \quad (4)$$

Этот критерий можно использовать для оценки точности формы кольца на любой стадии изготовления.

Для расчёта приведённой кривизны необходим контроль кривизны кольца по всему периметру с регистрацией данных. Для этой цели было спроектировано измерительное устройство (рисунок 1).

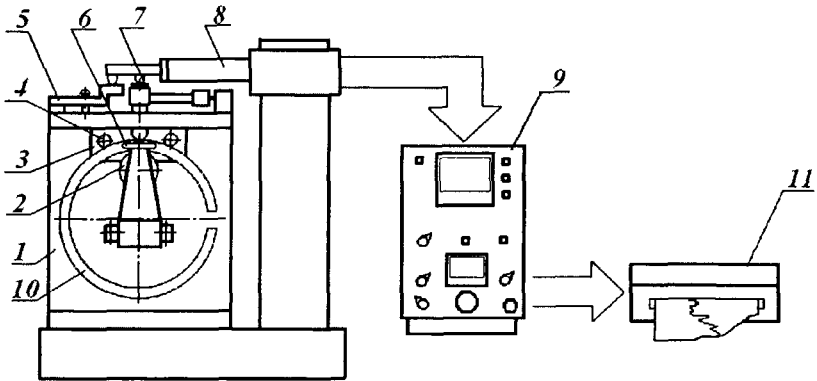


Рис. 1 Схема измерительного устройства

1 – корпус, 2 – ведущий ролик, 3 – установочная планка, 4 – опорные штифты, 5 – опора регулировочная, 6 – прижимной ролик, 7 – щуп, 8 – измерительная головка, 9 – усилитель, 10 – контролируемое кольцо, 11 – регистрирующий узел

Устройство позволяет снимать профилограмму кривизны кольца по всему периметру. В работе приведено обоснование конструктивных параметров устройства, дана оценка точности измерений.

Для расчета оценочного критерия  $k_{пр}$  профилограмма табулировалась, и полученный массив данных обрабатывался на ЭВМ по разработанной в среде MATCAD программе с распечаткой значений амплитуд гармоник и приведённой кривизны. Анализ показал, что для сравнительной оценки точности отдельных операций достаточно включать в расчёт параметры гармоник до 5 – 6 порядка.

**В третьей главе** выполнен анализ действующих технологических процессов. Для анализа был взят технологический процесс изготовления стального компрессионного кольца прямоугольного сечения. Из технологического

процесса были выделены только операции, непосредственно связанные с обеспечением формы свободного состояния.

Для исследования отбиралась контрольная группа деталей из одной партии запущенных в обработку колец. Заготовки проверялись по всем предусмотренным технологией параметрам и отбирались только годные. Для каждой заготовки снималась профилограмма и рассчитывались значения приведённой кривизны с последующим определением её среднего значения для каждой операции (таблица 1).

Таблица 1

## Значения средней приведенной кривизны

Номер операции	Наименование операций	Порядок гармоника (вкл.)			
		3	4	5	6
1	Навивка	15,415	20,665	33,185	40,170
2	Отпуск	19,590	27,435	50,795	77,400
3	Токарная (наружная поверхность)	34,110	65,015	105,820	136,100
4	1-я термофиксация	14,925	48,100	100,630	127,660
5	Токарная (внутренняя поверхность)	36,440	64,575	100,450	143,060
6	2-я термофиксация	22,475	45,300	110,230	159,550
7	Токарно-шлифовальная	5,875	15,425	24,285	35,030
8	Внутришлифовальная	8,960	16,280	35,980	43,920
9	1-я притирка	3,240	5,395	6,995	10,880
10	Хромирование	3,065	5,210	9,440	16,320
11	2-я притирка	3,115	4,555	7,060	9,425

Графически расчётные значения средней приведённой кривизны показаны на рисунке 2.

Анализ полученных данных показал, что наиболее существенно приведённая кривизна изменяется на операциях навивки заготовки, термофиксации, механической обработки. Для установления закономерностей технологического наследования и выявления механизма формирования искажений формы и эпюры давления необходимо более глубокое исследование данных операций. Отдельно следует отметить резкое снижение точности формы на черновой токарной операции, основным назначением которой является снятие завышенного припуска. Её следует исключить из технологического процесса.

**В четвёртой главе** приведены результаты исследований влияния технологических погрешностей на характер искажения формы кольца и его эпюры давления.



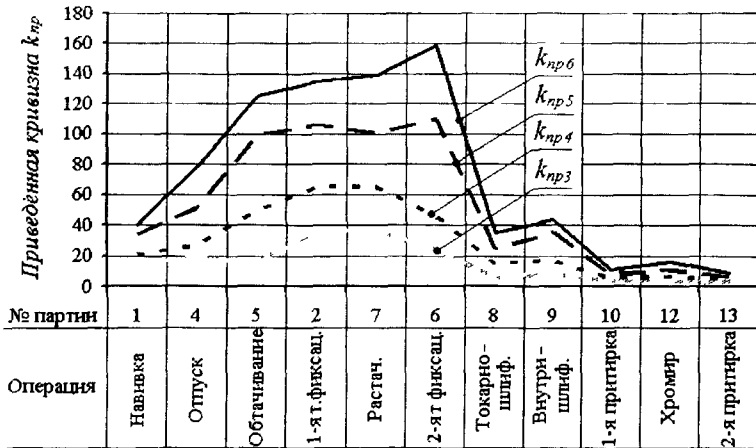


Рис. 2 Изменение значения средней приведенной кривизны по отдельным операциям

Методика исследований заключается в следующем:

1. Аналитически описывается влияние рассматриваемой погрешности на искажение эпюры изгибающих моментов кольца  $M=f(\varphi)$
2. Из зависимости (1) выводится уравнение эпюры давления  $p=f(\varphi)$  и относительного давления  $q=p/p_0$ .
3. Определяются параметры зон пониженного давления в зависимости от параметров технологической погрешности.
4. Определяются критические значения параметров технологической погрешности, при которых в зонах пониженного давления последнее снизится до нуля.

На операции навивки заготовки по трёхроlikовой схеме из стальной ленты в спираль решающее значение имеет кинематическая точность процесса. Радиальные биения исполнительных поверхностей роликов вызывают периодические изменения  $\Delta h$  стрелы деформирования и искажение формы заготовки.

$$\Delta h = \frac{1}{2} e_1 \sin(k_1 \varphi + \varepsilon_1) + e_2 \sin(k_2 \varphi + \varepsilon_2) + \frac{1}{2} e_3 \sin(k_3 \varphi + \varepsilon_3), \quad (5)$$

где  $e_i$ ,  $\varepsilon_i$  - эксцентриситеты исполнительных поверхностей роликов и их фазы;  $\varphi$  - текущий угол поворота заготовки;  $k_1=D/Dp_1$ ;  $k_2=(D-2t)/Dp_2$ ;  $k_3=D/Dp_3$ ;  $D$  - наружный диаметр заготовки;  $t$  - радиальная толщина исходной ленты;  $Dp_i$  - диаметры исполнительных поверхностей роликов.

После термофиксации заготовки при приведении её в сжатое состояние изгибающий момент в сечениях определяется по зависимости

$$M = M_0 - EIC\Delta h, \quad (6)$$

где  $M_0$  - расчётное значение изгибающего момента,  $C$  - постоянная, зависящая от геометрических параметров схемы навивки.

Уравнение эпюры давления можно вывести подстановкой (6) и (5) в зависимость (1):

$$p = p_0 + \frac{1}{2}(k_1^2 - 1)e_1 \frac{CEI}{R^2} \sin(k_1\varphi + \varepsilon_1) + (k_2^2 - 1)e_2 \frac{CEI}{R^2} \sin(k_2\varphi + \varepsilon_2) + \frac{1}{2}(k_3^2 - 1)e_3 \frac{CEI}{R^2} \sin(k_3\varphi + \varepsilon_3) \quad (7)$$

Предельные величины эксцентриситетов при  $k_1=k_2=k_3=k$  определяются из зависимости:

$$e_2 + \frac{1}{2}(e_1 + e_3) = \frac{AL^2}{24\pi R^2(k^2 - 1)}, \quad (8)$$

где  $A$  - раствор замка кольца в свободном состоянии;  $L$  - базовая длина деформирования при навивке.

Взаимная компенсация биения исполнительных поверхностей роликов при  $k_1=k_2=k_3=k$  достигается разворотом эксцентриситетов первого и третьего роликов относительно эксцентриситета второго ролика на углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$  соответственно:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{e_2^2 + \frac{1}{4}(e_1^2 - e_3^2)}{e_1 e_2}, \quad \alpha_3 = \arccos \frac{e_2^2 + \frac{1}{4}(e_1^2 - e_3^2)}{e_2 e_3} \quad (9)$$

На операции термофиксации кольцу придаётся требуемая форма свободного состояния (например, на профильной оправке), фиксируемая термически. При этом возможно местное неполное устранение изгибающих напряжений, возникших при разведении кольца, что вызывает искажение его формы. Наиболее вероятной причиной неполной релаксации напряжений является неравномерный прогрев кольца по периметру. С учётом параметров температурного поля корректирующую функцию для эпюры изгибающих моментов можно представить в виде (рисунок 3а):

$$K = 1 - (1 - \lambda) \exp(-n(\varphi - \tau)^2), \quad (10)$$

где  $\lambda$  - коэффициент, характеризующий относительную величину зафиксированных напряжений в точке наибольшего искажения (степень релаксации);  $n$  - коэффициент, характеризующий ширину зоны искажения;  $\tau$  - угловая координата центра зоны искажения.

Уравнение изгибающих моментов для такого кольца в сжатом состоянии имеет вид (рисунок 3 б):

$$M = M_0 K = (1 - \cos \varphi) \left[ 1 - (1 - \lambda) \exp(-n(\varphi - \tau)^2) \right]. \quad (11)$$

Из зависимости (1) можно вывести уравнение эпоры относительного давления (рисунок 3 в):

$$q = \frac{P}{P_0} = 1 + (1 - \lambda) \exp[-n(\varphi - \tau)^2] \left\{ [2n - 4n^2(\varphi - \tau)^2] [1 - \cos\varphi] + 4n(\varphi - \tau) \sin\varphi - 1 \right\}. \quad (12)$$

На рисунке 3 дана графическая иллюстрация методики исследования погрешностей термофиксации.

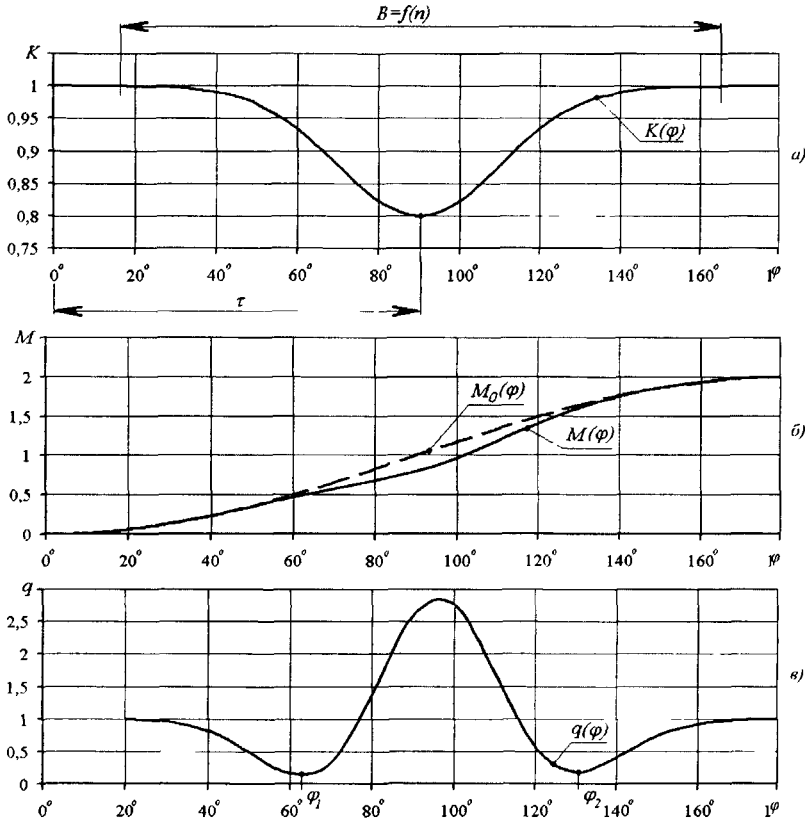


Рис. 3 Графики корректирующей функции (а), эпоры изгибающих моментов (б) и эпоры давления (в)

На эпоре давления  $q(\varphi)$  имеются две зоны пониженного давления с центрами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  (точки минимального давления). Для определения их значения следует приравнять нулю первую производную от  $q$ :

$$\frac{dq}{d\varphi} = (1 - \lambda) \exp[-n(\varphi - \tau)^2] \left\{ \left[ (1 - \cos\varphi) [8n^2(\varphi - \tau)^2 - 12n^2(\varphi - \tau) - 4n(\varphi - \tau)] + \right. \right. \\ \left. \left. + \sin\varphi [6n - 12n^2(\varphi - \tau)^2] + 6n(\varphi - \tau) \right] \right\} = 0. \quad (13)$$

Полученное уравнение является трансцендентным относительно  $\varphi$  и в аналитической форме неразрешимо. Для решения на ЭВМ была использована программа MATCAD, и были определены значения  $\varphi_1, \varphi_2$ . Для принятых  $n, \tau$  и  $\lambda$  определялись значения  $\lambda_{кр1}, \lambda_{кр2}$  при которых давление в точках  $\varphi_1, \varphi_2$  падает до нуля:

$$\lambda_{кр} = \frac{X+1}{X}, \quad X = \exp(-n(\varphi - \tau)^2) \left( 2n \left( (1 - 2n(\varphi - \tau)^2) (1 - \cos \varphi) + 2(\varphi - \tau) \sin \varphi \right) - 1 \right). \quad (14)$$

Зависимости  $\varphi_{1,2} = f(\tau)$  и  $\lambda_{кр} = f(\tau)$  для различных  $n$  приведены на рисунках 4 и 5.

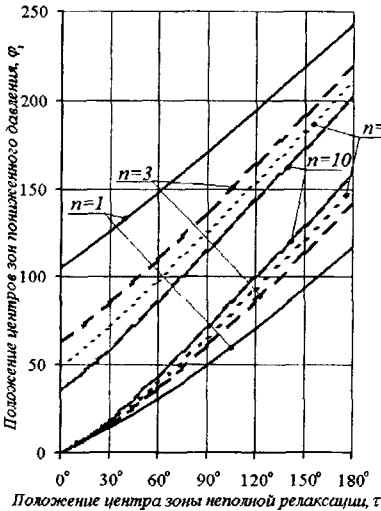


Рис 4 Координаты зон пониженного давления

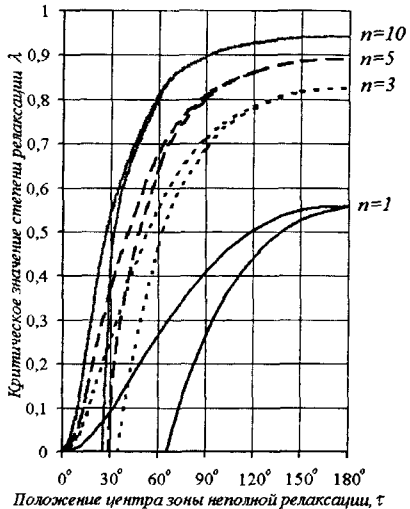


Рис. 5 Критические значения степени релаксации напряжений

Нестабильность механических свойств материала кольца также может быть причиной искажения эпюры давления. Анализ рабочих чертежей и технологии изготовления показал, что величина модуля упругости  $E$  кольца может быть непостоянной. Если принять синусоидальный закон изменения  $E$  от номинального значения  $E_0$  до  $\lambda E_0$  по длине ленты, то корректирующую функцию можно представить как:

$$K_1 = 1 - a - a \cos k(\varphi - \tau), \quad (15)$$

где  $a$  – амплитуда колебаний  $E$ ,  $a = (1 - \lambda)/2$ ;  $\tau$  – координата точки минимального значения  $E$ ;  $k$  – величина, определяемая периодом колебания  $E$ .

По ранее изложенной методике определяются изгибающий момент в сечениях кольца и уравнение эпюры относительного давления:

$$M = M_0 K_1 = p_0 R^2 (1 - \cos \varphi) (1 - a - a \cos k(\varphi - \tau)), \quad (16)$$

$$q = \frac{P}{p_0} = 1 + a \{ \cos k(\varphi - \tau) [k^2 (1 - \cos \varphi) - 1] + 2k \sin \varphi \sin k(\varphi - \tau) - 1 \}. \quad (17)$$

Координаты центров зон пониженного давления  $\varphi$ , определяются аналогично, то есть первая производная от  $q$  приравнивается нулю:

$$\frac{dq}{d\varphi} = 3k \cos k(\varphi - \tau) \sin \varphi - \sin k(\varphi - \tau) [(k^2 + 2)(1 - \cos \varphi) - 2] = 0. \quad (18)$$

Решение данного трансцендентного уравнения на ЭВМ с использованием программы MATHCAD позволило получить значения  $\varphi$ , при заданных  $k$  и  $\tau$ , а также значения  $\lambda_{kp}$ , при котором в точках  $\varphi$ , давление снизится до нуля (рис. 5, 6)

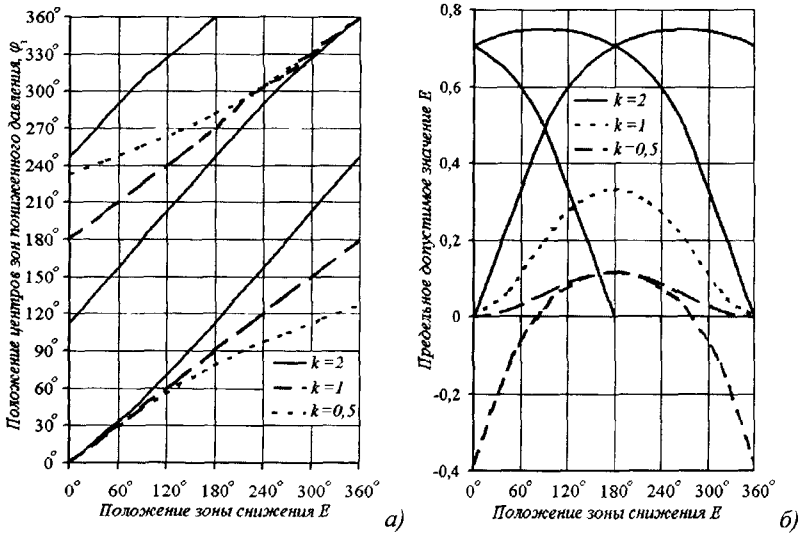


Рис 6. Координаты зон пониженного давления (а) и предельные значения снижения модуля упругости (б)

На операциях токарных и шлифовальных обрабатываются наружная и внутренняя образующие, определяющие форму кольца в свободном состоянии.

Погрешность  $\Delta_n$  обработки внутренней образующей вызывает равномерное изменение момента инерции сечения кольца, что вызывает равномерное изменение давления.

$$p = p_0 \left( 1 + 3 \frac{\Delta_n}{t} \right) . \quad (19)$$

После обработки наружной поверхности на больший в сравнении с расчётным размер с погрешностью  $\Delta_H$  кольцо будет прилегать к эталону с просветом в зоне, прилегающей к замку, и с упором концов кольца (рисунок 7а).

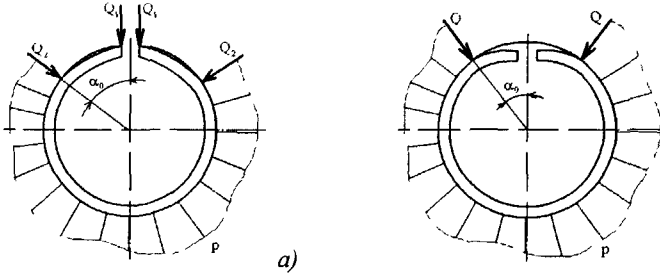


Рис. 7 Контактное кольцо при обработке наружной образующей с погрешностью  $\Delta_H$  (а- $\Delta_H > 0$ , б- $\Delta_H < 0$ )

Величину угла просвета  $\alpha_0$  можно определить из зависимости:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\alpha_0 - \sin \alpha_0} - \frac{1}{1 - \cos \alpha_0} = \frac{E I \Delta_H}{p_0 R^4} \quad (20)$$

Давление на прилегающей части составит :

$$p = p_0 + \frac{E I \Delta_H}{R^4} . \quad (21)$$

После обработки наружной поверхности на меньший размер с погрешностью  $\Delta_H$  кольцо при контакте с эталоном будет прилегать с "зависанием" концов по схеме на рисунке 7б.

Угол потери контакта определится из соотношения:

$$1 - \cos \alpha_0 = \frac{E I \Delta_H}{p_0 R^4} . \quad (22)$$

Давление на прилегающей части кольца снизится и составит

$$p = p_0 - \frac{E I \Delta_H}{R^4} . \quad (23)$$

Радиальная разностенность кольца возникает при эксцентричной обработке наружной образующей относительно внутренней, и наоборот. При

этом изменяется по периметру радиальная толщина кольца и, как следствие, его жесткость, что вызывает искажение эпюры давления

Корректирующая функция изгибающего момента определяется из соотношения моментов инерции сечения расчетного и изменённого.

$$K_2 \approx 1 - 3 \frac{e}{t} \cos(\varphi - \tau), \quad (24)$$

где  $e$  - эксцентриситет обработки,  $\tau$  - угловая координата минимального сечения.

По ранее изложенной методике относительное удельное давление определится по формуле (1) подстановкой  $M = M_0 K_2$ :

$$q = \frac{P}{P_0} = 1 + 9 \frac{e}{t} \sin \varphi \sin(\varphi - \tau) - 3 \frac{e}{t} \cos \tau. \quad (25)$$

Эпюры давления для  $e=0,02t$  и различных  $\tau$  приведены на рисунке 8.

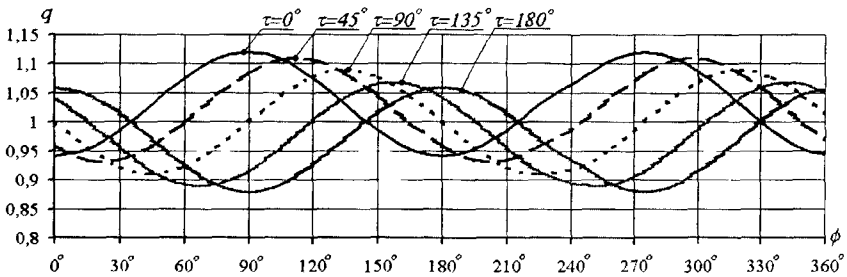


Рис. 8 Эпюры давления кольца при эксцентриситете поверхностей  $e=0,02t$  и различных  $\tau$

Таким образом, проведённые исследования показали, что погрешности выполнения отдельных операций вызывают в той или иной степени искажение расчётной эпюры давления поршневого кольца.

**Пятая глава** работы посвящена разработке рекомендаций по совершенствованию технологии изготовления кольца.

На операции навивки заготовки с целью повышения точности формы целесообразно регулировать угловое положение роликов для взаимной компенсации биения их исполнительных поверхностей. Для равномерного нагрева и сокращения погрешностей формы при термофиксации рекомендуется применение устройств нагрева в «кипящем» слое, рациональная схема расположения оправок с кольцами. На операциях механической обработки наружной поверхности поле допуска следует располагать только в сторону увеличения размера от расчётного. Рекомендовано исключить из технологического процесса черновую токарную операцию.

Разработанные рекомендации приняты к внедрению на этапе подготовки производства в ЗАО "Юкас - плюс". Изготовленные по разработанной техно-

логии комплекты колец прошли стендовые испытания на двигателе А - 41И. Испытания подтвердили полное соответствие колец техническим условиям, удельный расход масла составил 0,31% к расходу топлива при заданном по ТУ 0,4 %.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обзор применяемых и рекомендованных к применению в соответствующих стандартах параметров контроля качества поршневых колец показал, что ни один из них или их комбинация не позволяют оценить точность формы поршневого кольца и характер эпюры давлений на отдельных этапах изготовления.

2. Доказана возможность использования параметра "приведённая кривизна" в качестве критерия оценки точности формы на любой стадии изготовления.

3. Обоснован выбор кривизны кольца в качестве непосредственно контролируемого параметра, предложены методика и технические средства контроля.

4. Выполненный анализ точности на примере действующего технологического процесса позволил выявить операции, требующие более глубокого исследования, а также дать рекомендации по совершенствованию структуры технологического процесса, в частности, по исключению черновой токарной операции.

5. Разработана общая методика исследования влияния технологических погрешностей на искажение формы свободного состояния и характер эпюры давления.

6. Установлена качественная и количественная связь между величиной кинематических погрешностей операции навивки заготовки и параметрами эпюры давления, разработаны рекомендации по сокращению влияния биения исполнительных поверхностей роликов на точность формы заготовки.

7. Неполная релаксация напряжений при термофиксации кольца приводит к искажению эпюры давления. Выявлена функциональная связь между параметрами зоны неполной релаксации напряжений и характером эпюры давления, определены предельно допустимые значения параметров.

8. Аналитически установлено, что колебание величины модуля упругости материала кольца приводит к искажению эпюры давления, однако реально возможные искажения не вызывают нарушения контакта кольца с гильзой. Результаты исследований могут быть использованы при разработке ТУ на исходный материал колец с повышенными требованиями.

9. Погрешности операций механической обработки могут вызвать искажения эпюры давления на 12...15%, а также нарушение контакта в зоне замка. Особенно нежелательным является уменьшение размера обработки наружной поверхности, что приводит к отставанию (зависанию) концов кольца. Поэтому при обработке наружной поверхности допуск следует назначать только в сторону увеличения размера от расчётного.



10. Стендовые испытания двигателя с комплектом колец, изготовленных с учётом рекомендаций, подтвердили полное соответствие колец техническим условиям. Удельный расход масла составил 0,31 % при заданном 0,4%.

**Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:**

1. Лукин Л.Н., Аскалонова Т.А., Панов А.А., Шихов Б.П., Мезенцев В.Ф., Лукин Н.Н. Алмазное хонингование стальных деталей // Сборник "Синтетические алмазы". – Киев, Укр НИИТИ, 1972, вып. 1.- С.42 - 44.

2. Панов А.А. Влияние технологических факторов на качество прилегания поршневого кольца // Труды Алтайского политехнического института им. И.И. Ползунова, вып. 14. – Барнаул, 1973. – С. 89-94.

3. Панов А.А. Обеспечение точности формы исполнительной поверхности поршневого кольца. Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения. Межвузовский сборник научных трудов. – Барнаул: Б.И., 1981. – С. 38-41.

4. Панов А.А. Анализ связи между геометрическими и физическими параметрами качества поршневого кольца // Тез. докл. 3 зональной науч.-техн. конф. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов. – Новосибирск, 1982. – С. 64-65.

5. Панов А.А. Установка контроля кривизны поршневого кольца // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов. – Барнаул, 1982. – С. 238-239.

6. Панов А.А. Моделирование дискретно заданных криволинейных контуров // Отделочно-чистовые методы и обработки и инструменты в технологии машиностроения. Межвузовский сборник научных трудов. – Барнаул: 1987. – С. 14-17.

7. Панов А.А. Контроль кривизны поршневого кольца при исследовании точности технологического процесса его изготовления. Фундаментальные и прикладные исследования для производства. Международный межвузовский сборник научных статей. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2000. – С. 143-146.

8. Панов А.А. Искажение эпюры давления поршневого кольца вследствие неполной релаксации напряжений при термофиксации. Фундаментальные и прикладные исследования для производства. Международный межвузовский сборник научных статей. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2000. – С. 140-142.

9. Панов А.А. Контроль точности формы исполнительной поверхности поршневого кольца при изготовлении. Фундаментальные и прикладные исследования – производству. Сборник тез. докл. международной науч.-техн. конф.– Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2001. – С. 26-27.

10. Панов А.А. Повышение точности формы заготовок поршневых колец при навивке. Ресурсосберегающие технологии в машиностроении. Сборник тез. докл. второй межрегиональной науч.-техн. конф. – Бийск, 2002.- С.38-41.

Подписано в печать 30.10.2002 Формат 60×84 1/16.

Печать – ризография. Усл.п.л. 1,16.

Тираж 100 экз. Заказ 2002 – 157.

Отпечатано в типографии Алтайского государственного  
технического университета им. И.И. Ползунова,  
656099, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензия на полиграфическую деятельность  
ПЛД № 28-35 от 15.07.97 г.

1

•

-

1

•

-

-

РИБ Русский фонд

2004-4

20747