

Рис. 6. Распределение напряжений у тонкого линзовидного двойника при наличии включения на оси x (МПа): а) $\sigma_{xx}^{tw}(x, y)$; б) $\sigma_{yy}^{tw}(x, y)$; в) $\sigma_{xy}^{tw}(x, y)$

OSTRIKOV O.M., INOZEMTSEVA E.V. Calculation intense the deformed condition of the solid body subjected to monoaxial stretching, in the presence in it the elastic linzovidny double

The method of calculation of tension at the elastic double is developed. It is shown that in case of an elastic dvoynikovaniye of tension are localized at tops of the linzovidny double and at his bent borders. Rectilinear sites of the double of tension don't concentrate.

УДК 621. 43

Кострицкий В.В., Лисовский А.Л.

СОЗДАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Введение. Микрорельеф на внутренней поверхности гильзы в первую очередь должен снижать трение в паре «поршень–цилиндр», т.е. способствовать возникновению на всем пути поршня режима жидкостного трения.

О режиме жидкостного трения можно говорить, когда движущиеся поверхности полностью разделены пленкой смазки и непосредственный контакт элементов пары трения отсутствует. Пока такая пленка цела, материал движущихся поверхностей и их шероховатость не имеют значения. Поэтому от микрорельефа внутренней поверхности гильзы требуется, чтобы эта пленка сохранялась на всем пути движения поршня, как бы прилипала к внутренней поверхности гильзы, т.е. чтобы не было проскальзывания смазки относительно поверхностей (рис. 1).

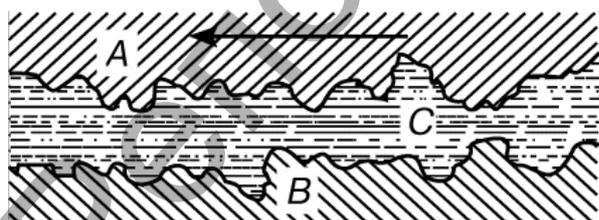


Рис. 1. Условие жидкостного трения: А – поршень; В – цилиндр; С – смазка

Наиболее энергоемким по критерию механических потерь и самым изнашиваемым сопряжением цилиндропоршневой группы

(ЦПГ) является пара «поршневое кольцо–цилиндр». По причине малой площади контактирующей поверхности интенсивность изнашивания кольца в несколько раз выше интенсивности изнашивания цилиндра, что приводит при неблагоприятных условиях эксплуатации к достаточно быстрой утрате кольцом начального профиля [1]. Поэтому дальнейший расчет будет произведен именно для этого сопряжения.

Если предположить, что образование несущего масляного слоя в сопряжении «поршневое кольцо–цилиндр» аналогичны гидродинамическим процессам, возникающим в подшипниках скольжения, то в основу гидродинамического расчета этого сопряжения может быть положено уравнение Рейнольдса для плоского потока жидкости, определяющее изменение давления в нем при бесконечно большой ширине потока в направлении, перпендикулярном направлению скорости v движения пластины [2].

$$P = 6 \cdot \mu \cdot v \cdot \frac{L^2}{H_1^2} \cdot \frac{1}{\delta^2} \cdot \left[\ln \ln(1 + \delta) - 2 \cdot \frac{\delta}{2 + \delta} \right]. \quad (1)$$

Из решения этого уравнения можно получить выражение для подъемной силы или реакции смазочного материала в зазоре смазываемых деталей сопряжения «поршневое кольцо–цилиндр». С учетом ряда упрощений для сопряжения «поршневое кольцо–цилиндр» уравнение будет иметь следующий вид [3]:

$$P = \mu \cdot v \cdot \frac{L^2 (H_2 - H_1)}{2 \cdot H_1^3}. \quad (2)$$

В формуле (2) такие параметры как μ (коэффициент вязкости) и v (скорость движения поршня) известны из условия работы

Кострицкий Виталий Владимирович, инженер, аспирант кафедры технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Лисовский Александр Леонидович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина 29.

двигателя и зависят только от его характеристик. Реакция смазочного материала P равна силе давления поршня во время работы двигателя на стенку гильзы цилиндра. Таким образом, лишь входная H_1 и выходная H_2 ширины зазора на шаге L характеризуют профиль регулярных выступов микрорельефа, именно их сочетание и численные значения, и определяют профилирование.

Расчетная схема сопряжения «поршневое кольцо-цилиндр». Расчетная схема при отсутствии микрорельефа на кольцо является достаточно простой и может быть представлена в виде горизонтальной плоскости (кольцо), движущейся на слое жидкости вдоль наклонной плоскости и горизонтальной плоскости (цилиндр) (рис. 2).

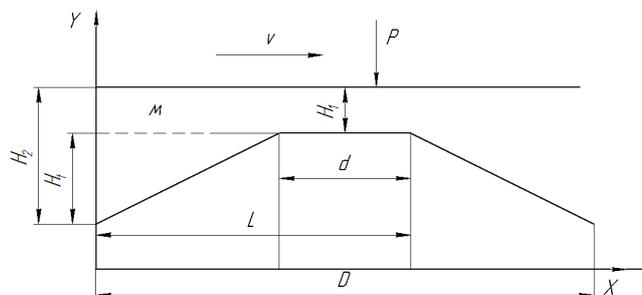


Рис. 2. Профиль выступа микрорельефа на внутренней поверхности гильзы

При этом высота выступа должна обеспечивать необходимую маслосъемность поверхности, наклонная плоскость создавать гидродинамический клин для поддержания жидкостного трения на всем пути движения поршня, а физический смысл наличия горизонтального удлинения заключается в том, что этот участок должен воспринимать внешнюю нагрузку на смазываемую деталь в моменты уменьшения (вплоть до нуля) скорости движения.

Определение рациональной формы геометрических параметров микрорельефа. Согласно расчетной схеме для того, чтобы назначить рациональные шаго-высотные параметры микрорельефа, которые смогут обеспечить минимальную, но достаточную ширину зазора H_1 для обеспечения жидкостного трения, необходимо определить диаметр выступа микрорельефа D , высоту выступа H_b , диаметр вершины выступа d , а также шаг чередования выступов микрорельефа в направлении движения поршня L и шаг в плоскости, перпендикулярной движению поршня L_1 (рис. 3).

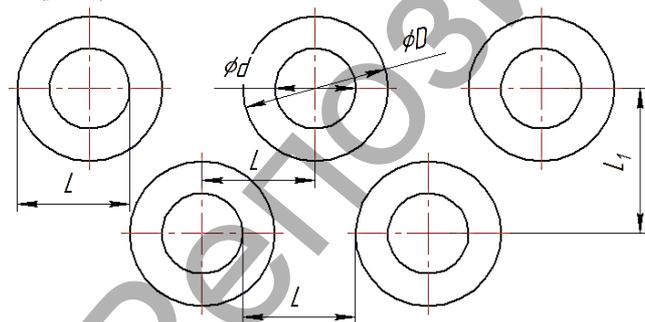


Рис. 3. Фрагмент микрорельефа, образованного на внутренней поверхности гильзы

Для получения решений в максимально обобщенном, аналитическом виде были приняты следующие упрощающие допущения:

1. Задача рассматривается в плоской (продольное, осевое сечение), стационарной постановке для бесконечной ширины поверхностей.
2. Обращенные друг к другу поверхности поршневого кольца и цилиндра (микрорельефа) составлены из сопряженных участков

гладких, плоских, недеформируемых (абсолютно твердых) геометрических тел.

3. Пространство между сопряженными поверхностями заполнено вязкой несжимаемой (ньютоновской) жидкостью с динамической вязкостью μ .
4. Одно из сопряженных тел (применим принцип обратимости движения) движется относительно другого в осевом направлении с постоянной скоростью V .
5. Диаметр вершины выступа d должен быть меньше длины поршневого кольца H_k и принимать значения из диапазона $1/2 \dots 1/3 \cdot H_k$.
6. Микрорельеф нанесен только на зеркале цилиндра и составлен из регулярно чередующихся фрагментов (выступов).
7. Избыточное гидродинамическое давление на кромках поршневого кольца отсутствует (нулевые граничные условия по давлению).

Тогда по расчетной схеме шаг чередования выступов микрорельефа в направлении движения поршня L , который бы обеспечивал гидродинамический клин и необходимую маслосъемность поверхности:

$$L = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - H_i^2} + \frac{D}{2} \quad (3)$$

или

$$L = \frac{D+d}{2} \quad (4)$$

Учитывая соотношения (3) и (4), найдем высоту выступа H_i :

$$H_i = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad (5)$$

При этом соотношение диаметров (диаметра вершины выступа d и диаметра выступа D) должно обеспечивать относительную опорную площадь T_p в продольном сечении внутренней поверхности гильзы в пределах от 70% до 85% для максимизации гидродинамической несущей способности (относительную опорную площадь T_p – отношение опорной площади T_o к базовой площади T_b , выраженное в процентах (рис. 4)).

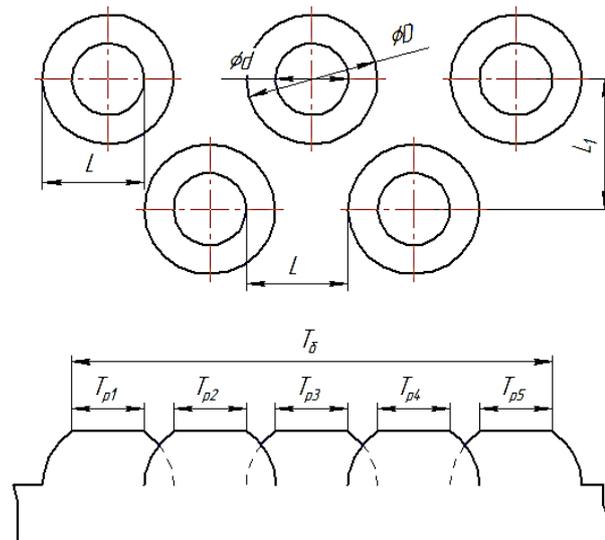


Рис. 4. Относительная опорная площадь T_p : $T_o = T_{p1} + T_{p2} + T_{p3} + T_{p4} + T_{p5}$ – опорная площадь, T_b – базовая площадь

Для обеспечения перекрытия и необходимой маслосъемности поверхности шаг в поперечном направлении относительно движения поршня L_1 равен расстоянию между условными центрами выступов. При этом расстояние между условными центрами выступов в направлении движения поршня, расположенных на соседних дорожках, равно шагу L (см. рис. 3).

Согласно расчетной схеме выходная ширина зазора:

$$H_2 = H_t + H_1. \quad (6)$$

Преобразуем уравнение (2) с учетом соотношения (6):

$$P = \mu \cdot v \cdot \frac{L^2 \cdot H_t}{2 \cdot H_1^3}. \quad (7)$$

Из получившегося уравнения (7) выразим входную ширину зазора H_1 :

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \mu \cdot v \cdot L^2 \cdot H_t}{P}}. \quad (8)$$

Полученное значение ширины зазора H_1 должно обеспечивать жидкостное трение на всем пути движения поршня для таких шаго-высотных параметров.

Проверка выбранных шаго-высотных параметров микрорельефа. Для проверки рациональности выбранных шаго-высотных параметров микрорельефа используем расчет силы трения. Как показал анализ большого количества зависимостей, выбранных для расчета силы трения поршня, наиболее полно и достоверно поведение этой силы описывает формула, которая предложена известными трибологами Ф. Боуденом и Д. Тейбором [4]:

$$F = \alpha \cdot F_b + (1 - \alpha) \cdot F_n, \quad (9)$$

где F_b – сила граничного трения, определяемая законом Амонтона; α – признак режима трения ($\alpha = 0$, при жидкостном трении); F_n – сила гидродинамического трения, согласно Ньютону.

При этом:

$$F_n = \frac{\mu \cdot v \cdot S}{H_1}, \quad (10)$$

где S – площадь смоченной поверхности движущейся детали.

$$F_b = f \cdot P, \quad (11)$$

где f – коэффициент трения.

Площадь смоченной поверхности движущейся детали находим как:

$$S = A \cdot D_k, \quad (12)$$

где A – ширина поршневого кольца; D_k – диаметр поршневого кольца.

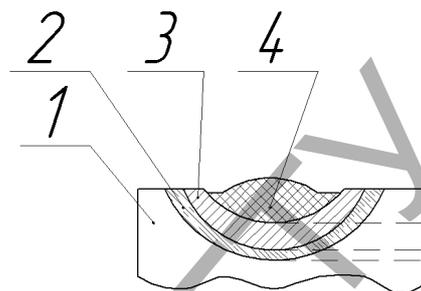
Преобразуем уравнение (10) с учетом соотношений (11) и (12), выразив при этом коэффициент трения f :

$$f = \frac{\mu \cdot v \cdot A \cdot D_k}{H_1 \cdot P}. \quad (13)$$

Получившейся коэффициент трения f должен находиться в пределах от 0,03 до 0,003 для обеспечения жидкостного.

Способ получения микрорельефа. Т.к. необходимо получение сложной геометрии поверхности, при том, что образованный на поверхности микрорельеф должен обладать свойствами с определенными значениями (твердость, пластичность, износостойкость, теплостойкость, прочность), то наиболее подходящим является метод упрочнения высококонцентрированным источником энергии с оплавлением поверхности (лазерная обработка) с последующей обработкой. В данном случае наиболее действенным способом нанесения микрорельефа на поверхность лазерным излучением является импульсная лазерная обработка. Лазеры этого класса могут успешно применяться как для выполнения технологических операций сварки в режиме глубокого проплавления и пробивки отверстий, так и упрочнения с оплавлением и без оплавления поверхности.

Если рассмотреть поперечное сечение выступа, полученного импульсным лазерным излучением, то в нем можно выделить несколько основных зон: зону оплава (зону закалки из жидкого состояния), зону закалки, зону отпуска и исходную структуру материала. При этом выступ имеет форму полусферы (рис. 5).



1 – исходный металл, 2 – зона отпуска, 3 – зона закалки, 4 – зона закалки из жидкого состояния

Рис. 5. Схема поперечного сечения зоны лазерной обработки

Геометрия (высота, диаметр) оплавленной зоны закалки (выступа), очевидно, будут зависеть от мощности лазерного излучения и диаметра лазерного луча. Варьируя эти параметры, можно получить необходимую геометрию выступа.

Для получения необходимой высоты H_t и диаметра вершины d полученные выступы обрабатываем шлифованием до принятых значений этих параметров.

Заключение. Таким образом, с учетом гидродинамической теории смазки и принятия ряда упрощающих допущений выполнено аналитическое исследование сопряжения «поршневое кольцо-цилиндр», в результате чего получены в общем виде соотношения для назначения рациональных (с точки зрения максимизации гидродинамической несущей способности) шаго-высотных параметров микрорельефа внутренней поверхности цилиндра. Определен возможный способ нанесения микрорельефа, включающий образование выступов оплавлением внутренней поверхности гильзы цилиндров импульсным лазерным излучением с последующим их шлифованием.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шляхтов, В.А. Снижение износа цилиндропоршневой группы дизелей // 1 Междунар. конф. «Энергодиагност». – Москва, сент. 1995. – Т. 3. – С. 38.
2. Чернин, И.М. Расчеты деталей машин / И.М. Чернин, А.В. Кузьмин, Г.М. Ицкович. – Мн.: Вышэйшая школа, 1974. – С. 394–395.
3. Путинцев, С.В. Гидродинамическое исследование и выбор параметров микрорельефа цилиндра двигателя / С.В. Путинцев, С.А. Аникин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». Специальный выпуск «Энергетическое и транспортное машиностроение». – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – С. 14–16.
4. Путинцев, С.В. Гидродинамическое исследование и выбор параметров микрорельефа цилиндра двигателя / С.В. Путинцев, П.Н. Антонюк, С.П. Чирский // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 92–93.

Материал поступил в редакцию 01.11.13

KOSTRITSKI V.V., LISOVSKI A.L. Creating microrelief on the inner surface of the cylinder liner for fluid friction

Performed an analytical study of conjugation "cylinder - piston ring", as a result of what has been learned in the general form of the relationship for the purpose of rational (in terms of maximizing the hydrodynamic bearing capacity) stepper-altitude parameters of micro-relief inner surface of the cylinder, and also propose a method of applying micro-relief on the inner surface cylinder liner.