

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗЫ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ПРИ ПЛАТОВЕРШИННОМ ХОНИНГОВАНИИ

© 2016 О.О. Левицких¹, А.А. Лукьянов¹, В.П. Табаков⁵, И.Н. Бобровский²,
П.А. Мельников², Н.М. Бобровский²

¹ Самарский научный центр РАН

² Тольяттинский государственный университет

⁵ Ульяновский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 16.12.2016

Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей - точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и параметрам микрогеометрии, определяющим контактные деформации и жесткость стыков, герметичность соединений, прочность сцепления с покрытием, которые характеризуют трение и износ поверхностей. В данной статье рассмотрены результаты исследований выполненных в рамках работы «Расчет параметров микрогеометрии рабочей поверхности гильзы блока цилиндров при платовершинном хонинговании». Приведены данные об актуальности моделирования параметров микрогеометрии. Двигатель внутреннего сгорания является одним из наиболее ответственных узлов автомобиля. Тенденция развития двигателей внутреннего сгорания – повышение экономичности. Развитие двигателей внутреннего сгорания сопровождают негативные с трибологической точки зрения факторы: большой уровень нагрузки, скоростей сгорания и температуры. Наибольший уровень механических потерь в двигателях внутреннего сгорания приходится на трибосистему, включающую взаимодействие между поршневыми кольцами и цилиндром. Состояния трения зависят от таких условий как относительная скорость, параметры смазочного материала, нормальная сила, которые определены расчетами параметров конструкции и рабочим режимом. Поэтому большое значение имеет макро- и микрогеометрия рабочей поверхности цилиндра. Микрогеометрия определяется функционально-значимыми параметрами шероховатости поверхности и их допусками. Таким образом, микрорельеф описывается формой профиля и величиной изменения профиля в пределах измерительного участка. Приведен алгоритм формирования микрогеометрии поверхности в результате обработки платовершинным хонингованием. В представленном алгоритме операция формирования топографии микрорельефа детали после процесса финишной обработки представлена как совокупность процесса формирования характеристик микропрофиля и технологических параметров. Процесс формообразования обработанной поверхности рассматривается как трансформация геометрии рабочей поверхности инструмента на исходную поверхность обрабатываемой детали. Проиллюстрированы результаты моделирования. Представлены основные пути развития исследований.

Ключевые слова: микрогеометрия, поверхность, блок цилиндров, двигатель внутреннего сгорания, хонингование, платовершинное хонингование.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 16-38-50111\16 «мол_нр».

ВВЕДЕНИЕ

Конкурентоспособность машиностроительной продукции определяется технологичностью изготовления обеспечиваемой возможностью

Левицких Олеся Олеговна, инженер отдела металлофизики и авиационных материалов, Самарский научный центр РАН. E-mail: loo-05@mail.ru

Лукьянов Алексей Александрович, инженер отдела металлофизики и авиационных материалов, СамНЦ РАН. E-mail: a.lukyaynov@tehnomasch.ru

Табаков Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» УлГТУ. E-mail: vpt@ulstu.ru

Бобровский Игорь Николаевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории «Автомобильные технологии» ТГУ. E-mail: bobri@yandex.ru

Мельников Павел Анатольевич, кандидат технических наук, директор института химии и инженерной экологии ТГУ. E-mail: topavel@mail.ru

Бобровский Николай Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» ТГУ. E-mail: bobrnm@yandex.ru

прогнозирования наибольшего числа параметров. Требуются актуальные методики, позволяющие на ранних этапах конструкторско-технологической подготовки производства определить требования к поверхности и инструменту для процесса хонингования (далее – Хг), применяемому, например, при финишной обработке рабочей поверхности блоков цилиндров авиационной и автомобильной техники. В данной работе применен термин «платовершинное» хонингование (более близкий к оригинальному «plateau honing»), являющийся аналогом термина «плосковершинное хонингование».

Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей - точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и параметрам микрогеометрии, определяющим контактные деформации и жесткость стыков, герметичность

соединений, прочность сцепления с покрытием, которые характеризуют трение и износ поверхностей. При этом необходимо обеспечить не только заданные требования качества поверхности, но и их стабильность, которая определяется стохастическими характеристиками параметров геометрии поверхности детали, задаваемыми законом их распределения.

Один из наиболее ответственных узлов автомобиля – двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Тенденция развития ДВС – повышение экономичности. Развитие ДВС сопровождаются негативные с трибологической точки зрения факторы: большой уровень нагрузки, скоростей сгорания и температуры. Одна из наиболее ответственных составляющих ДВС – цилиндро-поршневая группа (ЦПГ) [1].

Основная триботехническая система ЦПГ: внутренняя поверхность блока цилиндров («зеркало») – боковая поверхность поршня определяется параметрами геометрии трущихся поверхностей. Наибольший уровень механических потерь в ДВС приходится на данную трибосистему, включающую взаимодействие между поршневыми кольцами и цилиндром [2].

Трибосистема образована компонентами: «рабочая поверхность цилиндра», «смазочный материал», «комплект поршневых колец». Состояния трения зависят от таких условий как относительная скорость, параметры смазочного материала, нормальная сила. Определяются расчетами параметров конструкции и рабочим режимом. Поэтому большое значение имеет макро- и микрогеометрия рабочей поверхности цилиндра. Микрогеометрия определяется функционально-значимыми параметрами шероховатости поверхности и их допусками. Таким образом, микрорельеф описывается формой профиля и величиной изменения профиля в пределах измерительного участка.

Триботехнические условия являются благоприятными в том случае, если имеет место гидродинамическая смазка с полным разделением скользящих поверхностей.

Благодаря локальным сужениям поперечного сечения в динамических условиях возникают гидродинамические эпюры давления, обеспечивающие формирование устойчивого зазора для смазки. При этом большое значение имеет перекрываемая форма профиля. Участки с низкой шероховатостью берут на себя функции скольжения, другие – с глубокими впадинами – служат для создания локальных запасов смазочного масла [3]. Пленка смазочного масла при гидродинамической смазке имеет толщину, как минимум, такую, чтобы исключить контакт твердых тел. Поршневые кольца могут иметь рабочую поверхность выпуклой формы. За счет этих противоположных по форме контактных

поверхностей исключается режим смешанного трения даже при относительно низких скоростях движения поршня. Синусоидальная характеристика скорости поршня формирует локально различающееся относительное трение. Смешанное трение устанавливается, прежде всего, в мертвых точках. Здесь пленка гидродинамической смазки нарушается. Частично возникает контакт твердых тел, который, однако, в силу адгезии смазочного материала на огибающей поверхности не вызывает заедания деталей.

Эти триботехнические функции зависят от характера микрорельефа и обусловленного им запаса смазочного масла в микронеровностях поверхности [4]. Объем аккумулируемого масла определяется глубиной профиля и расстоянием между выступами профиля. Однако, чтобы обеспечить достаточный запас смазочного масла на всех участках рабочей поверхности, требуется такая структура впадин, которая способна обеспечить равномерное распределение смазочного материала по цилиндру в продольном и радиальном направлениях.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Традиционно двумерная характеристика рельефа (или огибающей формы) поверхностей трибосоприжения предполагает численное описание следующих групп функционально значимых параметров:

1. Профиля (искажения формы);
2. Волнистости;
3. Шероховатости.

Для описания сформированной поверхности зеркала блока цилиндров (далее – БЦ) достаточными являются параметры группы шероховатость.

БЦ представляет собой сложную техническую систему, имеющую три устойчивых самостоятельных структурных уровня, отличающихся друг от друга физическими параметрами и требующих принципиально разных подходов к их математическому моделированию.

Как показывает практика, традиционно используемый подход, базирующийся на разработке нормативов для проектирования операций механической обработки на основе систематизации и обработки экспериментальных данных, не всегда удовлетворяет современным требованиям. Существующие теоретические модели также не всегда могут быть использованы при технологическом проектировании в связи с либо высокой сложностью, либо низкой точностью прогнозирования параметров обработки.

На мезо- и макроуровне БЦ преобладают методы моделирования и получения математических моделей в классе стохастических моделей на основе экспериментально-статистических данных. За основу принимаются методы кор-

реляционно-регрессионного анализа, численно-аналитические методы компьютерного моделирования. В общем случае кинетические закономерности реологических, механических, гравитационных, гидромеханических, тепловых, энергетических, массообменных и химических процессов формирования структуры поверхности БЦ могут быть сформулированы в виде общего закона. В представленном алгоритме операция формирования топографии микрорельефа детали после процесса финишной обработки представлена как совокупность процесса формирования характеристик микропрофиля (параметры R) [5] и технологических параметров (T):

$$B = F(Ra, Rz, T). \quad (1)$$

Процесс формообразования обработанной поверхности рассматривается как трансформация геометрии рабочей поверхности инструмента на исходную поверхность обрабатываемой детали [6]. При математическом моделировании необходимо задаться уравнением, описывающим образующую поверхность в процессе механической обработки.

Для повышения дискретности и детализации моделирования целесообразнее устанавливать шаг моделирования dx , dy не более 5 мкм. Для уменьшения объемов вычислений при моделировании микропрофиля обработанной поверхности можно ограничиться определённым участком поверхности, а не всей обработанной поверхностью.

Такой подход оправдан, поскольку, учитывая стохастичность процесса хонингования, смоделированный участок сможет адекватно нести информацию о микрорельефе всей обработанной поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С применением описанного подхода был разработан следующий алгоритм моделирования трехмерной поверхности детали после обработки платовершинным хонингованием.

Алгоритм состоит из следующих блоков:

Загрузка исходных данных структуры поверхности из файла *.mat в программу*;

Установка вершины инструмента в случайную точку поверхности:

$$VzernoY = Ky \times \left(1 - random \times \left(\frac{L_Riska}{Sobr} + 1 \right) \right), \quad (2)$$

где Ky – кол-во точек по оси ординат, L_Riska – длина риски от хонинговального бруска, $Sobr$ – ширина моделируемого участка поверхности.

Расчет глубины внедрения вершины зерна абразива:

$$Hvnedr = Rzerno \times \frac{Riska}{L_Riska}, \quad (3)$$

где $Rzerno$ – радиус зерна хонинговального бруска, $Riska$ – переменный параметр цикла постро-

ения следа от абразивного зерна (изменяется от нуля до длины риски от зерна абразива).

Учет неравномерности глубины внедрения зерен инструмента в заготовку:

$$Hvnedr = Hvnedr \times \frac{i}{Rpt}, \quad (4)$$

где i – переменная цикла,

Rpt – кол-во циклов контактов абразивного зерна с моделируемым участком.

Цикл по расчету точек поверхности:

5.1 Расстояние от рассчитываемой точки до вершины инструмента

$$Smechenie = dx \times (VzernoX - Nx), \quad (5)$$

где dx – дискретность вычислений заданная пользователем по оси X ;

Nx – координата рассчитываемой точки по оси X ;

$VzernoX$ – положение вершины объемного дефекта по оси X .

5.2 Расчет глубины внедрения:

$$Hi = Rzerno - \sqrt{Rzerno^2 - Smechenie^2} - Hvnedr. \quad (6)$$

Текущий участок смоделированной риски (следа от зерна):

$$Riska = Riska + dy, \quad (7)$$

где dy – дискретность вычислений заданная пользователем по оси Y .

Перемещение вершины зерна на следующую точку по оси Y :

$$Ny = Ny + 1. \quad (8)$$

*- Примечание: Возможна имитация обработки как ювенильной, так и предварительно обработанной (например, любым видом черновой обработки) поверхности.

Далее проиллюстрирован результат моделирования представленным алгоритмом цикла обработки хонинговальными брусками с зернистостью 0,08 (рис. 1) и 0,05 (рис. 2).

ВЫВОДЫ

Развитие планируемой к разработке модели авторами рассматривается в двух направлениях: включении структурных свойств обрабатываемого материала в модель (например, содержания графита) и включении новейших 3D параметров поверхности (стандарты ISO 25178-2012 [7] и ASME B46.1-2009 [8]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Priest M., Taylor C.M. Automobile engine tribology - approaching the surface, Wear. 2000, No. 241. Pp. 193-203.
2. Taylor C.M. Automobile engine tribology - design considerations for efficiency and durability, Wear. 1998, No. 221. Pp. 1-8.

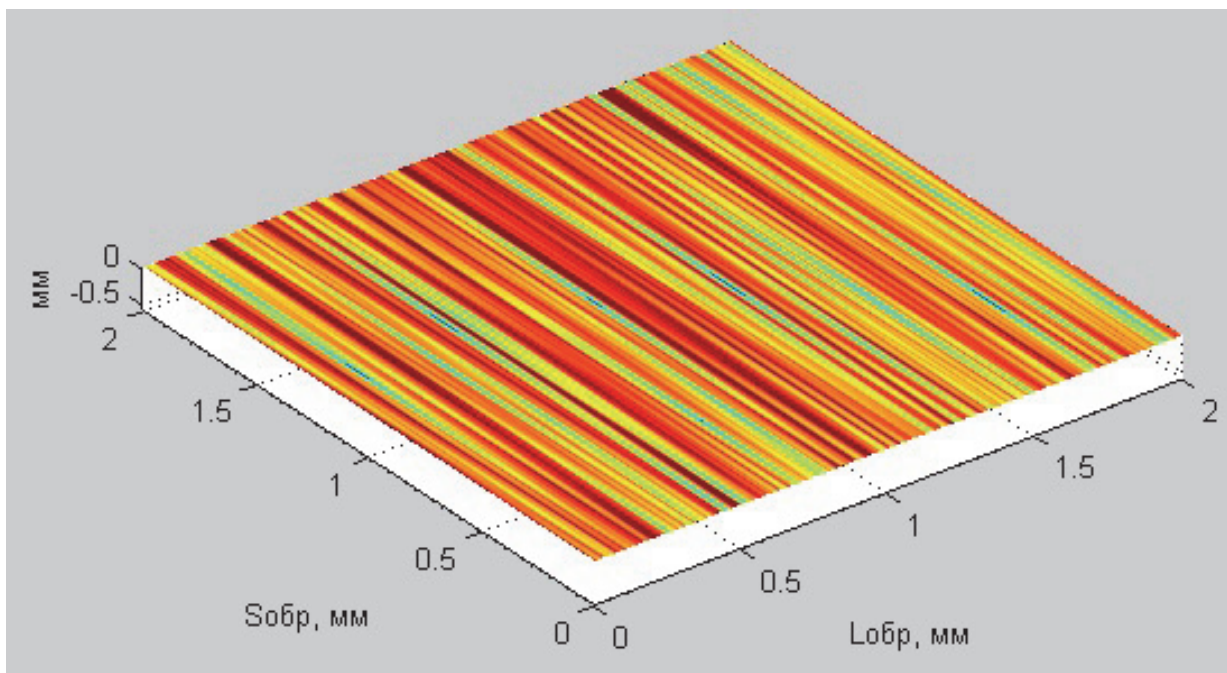


Рис. 1. Первый цикл обработки, зернистость бруска 0,08

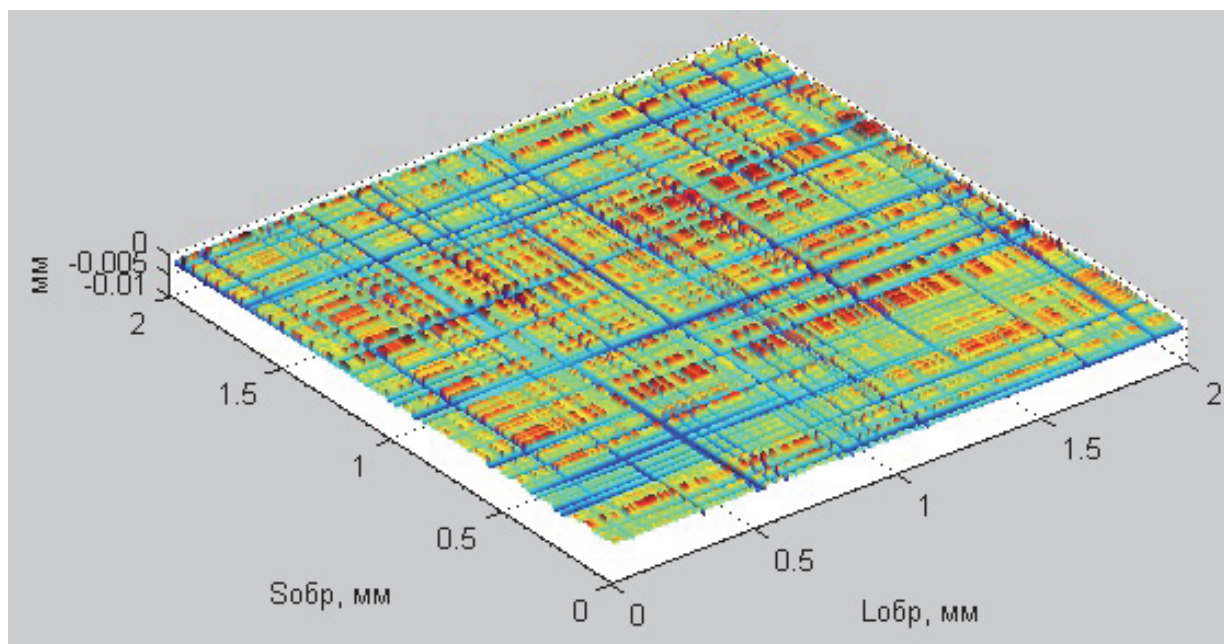


Рис. 2. Второй цикл обработки, зернистость бруска 0,05

3. *Abeln T.* Reibungsminderung durch Laseroberflächenstrukturierung im Motorenbau, 3 VDI-Fachtagung "AZylinderlaufbahn, Kolben, Pleuel", März 2006, VDI-Berichte 1906. Pp. 7-8.
4. Microhoning Automotive Cylinder Bores, Cross Hatch, Vol. 9, No. 4, Nov.- Dec.-1957, Schrift der Fa. Micromatic Hone Corporation, Detroit, Michigan
5. ГОСТ 2.309-73. Обозначения шероховатости поверхностей. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 8 с.
6. *Мельников П.А., Пахоменко А.Н., Лукьянов А.А.* Математическая модель формирования микро рельефа шейки вала при обработке алмазным выглаживанием // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 2 (32-2). С. 104-111. URL: <http://elibrary.ru/download/23129708.pdf> (дата обращения: 13.11.2016).
7. ISO 13565-2:1996. Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности: профильный метод. Поверхности с послойным распределением функциональных свойств. Часть 2. Характеристика слоёв методом выделения линейного участка на кривой процентного содержания материала. BSI, 2000. 30 с.
8. ASME B46.1. Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay). The American Society of Mechanical Engineers, 1996. 120 p.

**ALGORITHM FOR CALCULATING THE MICROGEOMETRY PARAMETERS
OF THE WORKING SURFACE OF THE CYLINDER LINER IN PLATEAU HONING PROCESSING**

© 2016 O.O. Levitskih¹, A.A. Lukyanov¹, V.P. Tabakov³, I.N. Bobrovskij²,
P.A. Melnikov², N.M. Bobrovskij²

¹Samara Scientific Center RAS

²Togliatti State University

³Ulyanovsk State Technical University

Modern mechanical engineering is characterized by increased requirements for the geometrical production quality parameters of part's surfaces - dimensional accuracy, shape and relative position of the surfaces deviations, their waviness and microgeometry parameters which determine contact deformations and stiffness of joints, sealing connections, coat adhesive strength that characterize the friction and wear of surfaces. This article describes the results of studies carried out in the research "Calculation of microgeometry parameters of the block cylinder liner working surface processing with plateau honing". The information on the relevance of modeling microgeometry parameters is presented. Internal combustion engine is one of the most responsible components of a car. The tendency of internal combustion engines development is efficiency improving. Development of internal combustion engines is accompanied by a negative tribological factors: a higher load level, speed and temperature of combustion. Tribosystems including the interaction between the piston rings and cylinder have the highest level of mechanical losses in internal combustion engines. States of friction depends on conditions such as the relative speed, lubricant parameters, the normal force, which determined by design parameters and operational mode. Therefore, the macro- and micro-geometry of the working surface of the cylinder have a significant influence. Microgeometry is defined by functional parameters of the surface roughness and its tolerances. Thus, the form and magnitude of the changes in the profile describes the micro-relief profile within the measuring section. The algorithm of surface microgeometry formation by plateau honing processing is presented. In this algorithm the operation of topography forming of part's microrelief after finish processing is represented as a set of the microprofile process characteristics forming and technological parameters. Process of treated surface forming is considered as a transformation of the working surface of the instrument geometry to the original surface of the workpiece. The modeling results are illustrated. The main ways of research development are presented.

Keywords: microgeometry, surface, cylinder block, internal combustion engine, honing, plateau honing.

Olesya Levitskih, Engineer at the Metal and Aviation Materials Department, Samara Scientific Center RAS.

E-mail: loo-05@mail.ru

Aleksey Lukyanov, Engineer at the of Metal and Aviation Materials Department, Samara Scientific Center RAS.

E-mail: a.lukyanov@tehnomasch.ru

Vladimir Tabakov, Doctor of Technics, Professor, Head at Metal-Cutting Machines and Instruments Department, UISTU. E-mail: vpt@ulstu.ru

Igor Bobrovskij, Candidate of Technics, Head of the Laboratory "Automobile Technologies", TSU. E-mail: bobri@yandex.ru

Pavel Melnikov, Candidate of Technics, Director of the Institute of Chemistry and Environmental Engineering, TSU.

E-mail: topavel@mail.ru

Nikolaj Bobrovskij, Doctor of Technics, Professor of Equipment and Engineering Production Technologies Department, TSU.

E-mail: bobrnm@yandex.ru