УДК 67.05+621.914

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКРОРЕЛЬЕФА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНОЙ КРИВИЗНЫ

© 2013 С.Р. Абульханов, В.Н. Воронин, Д.С. Горяинов, А.Ф. Денисенко, В.А. Папшев, И.П. Сорокин, С.Д. Шапошников

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 27.03.2013

Представлена возможность построения на поверхности твердотельных моделей макро- и микрорельефа, получаемые выглаживанием, вибровыглаживанием, ударным накатыванием и хонингованием. Рассмотрены программные средства получения виртуального макрорельефа, максимально близкого к макрорельефу, формируемому на поверхности реальной детали. Проанализированы несоответствия в топологии виртуальных моделей и реальных поверхностей деталей.

Ключевые слова: *твердотельное моделирование, макрорельеф поверхности, эксплуатационные свойства, виртуальные испытания, алмазное выглаживание, вибровыглаживание, ударное накатывание, хонингование*

Широко известен факт влияния макро- и микрорельефа поверхностей на эксплуатационные свойства деталей различного назначения [1-2]. Характер и степень влияния характеристик рельефа поверхности на функциональные свойства изделия, работающего в различных условиях, традиционно определяются экспериментально. С этой целью разработано большое количество стендов и устройств, а также методик проведения исследований, которые зачастую регламентированы различными нормативными документами [3-5]. При этом изготовление необходимых приспособлений и сам процесс проведения исследований связаны с большими затратами времени и финансов. Все это не гарантирует достоверности получаемых результатов по причине большого количества этапов проведения исследований и участия человека в выполнении отдельных операций исследования. Развитие современных систем САПР позволяет минимизировать затраты проведения отдельных исследований влияния рельефа поверхности детали на её эксплуатационные свойства. При этом существенно повышается достоверность получаемых результатов, которая может быть еще более увеличена за счет использования для моделирования испытаний одновременно различных программных сред, например ANSYS, Comsol, SolidWorks, NX, CATIA, Simulation Multiphisics и др. Одной из проблем, сдерживающей широкое использование такого виртуального моделирования, являются высокие требования к вычислительным мощностям, используемых в этом случае компьютеров. Появление в последнее время в ВУЗах компьютерных кластеров лишь частично снимает остроту обозначенной проблемы. Современные суперкомпьютеры управляют движением потоков информации, по этой причине для использования различных программных сред в условиях компьютерного кластера необходимо написание дополнительных утилит, которые позволили бы привлечь необходимые вычислительные мощности для решения поставленной задачи в некоторой программной среде. Все это существенно повышает требования к квалификации пользователя (программиста), решающего задачу, например, моделирования влияния характеристик микро- и макрорельефа поверхности на эксплуатационные свойства детали.

В предлагаемой работе исследованы предельные возможности персональных компьютеров при моделировании макрорельефа, сформированного выглаживанием, вибровыглаживанием, ударным накатыванием и хонингованием. Были использованы программные среды Компас

Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: ask@samgtu.ru
Воронин Валерий Николаевич, преподаватель. E-mail: tm@samgtu.ru
Горяинов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент
Денисенко Александр Фёдорович, доктор технических наук, профессор
Папшев Валерий Александрович, кандидат биологических наук, доцент. E-mail: apiuts@samgtu.ru
Сорокин Игорь Петрович, директор информационного центра. E-mail: center-fmiat@mail.ru
Шапошников Сергей Дмитриевич, кандидат технических наук, профессор. E-mail: msf@samgtu.ru

V13 и SolidWorks. Ограниченность вычислительных возможностей используемых персональных компьютеров на моделях проявилось в наличии на некоторых линиях сопряжений острых углов, которые не встречаются на реальных объектах, а также появлении на поверхности артефактов в виде малых форм сложной симметрии.

Большое количество поверхностей деталей отделывается, например, выглаживанием, вибровыглаживанием, ударным накатыванием и хонингованием таким образом, что наносимый макрорельеф симметричен относительно оси симметрии детали (вала, отверстия или фланца). Назначение формируемого макрорельефа заключается, как правило, в необходимости транспортирования, например в зону трения, смазывающе-охлаждающей жидкости, или в накоплении в каналах или углублениях, выполненных индентором, микростружки, полученной в результате трения контактирующих поверхностей [6-7]. При этом всегда предполагается: поверхность детали, подвергнутая упрочнению, впоследствии будет эксплуатироваться в вертикальном или горизонтальном положении. Попыток оптимизировать характер (рисунок) формируемого макрорельефа в зависимости от угла наклона оси симметрии упрочненной поверхности к линии горизонта во время эксплуатации детали авторам не известны. Вместе с этим формирование на упрочняемой поверхности несимметричного макрорельефа является резервом по управлению качеством поверхностного слоя деталей с целью достижения необходимых эксплуатационных свойств изделия в целом.

Угол наклона упрочнённой поверхности по отношению к линии горизонта наряду с условиями эксплуатации может определять характер формируемого на поверхности детали несимметричного макрорельефа. Проведение натурных экспериментов в этом случае весьма затратное и длительное технологическое мероприятие. Представляется наиболее целесообразным провести первоначально оптимизацию характера несимметричного макрорельефа на твердотельной модели в одной из программные сред CAD. На втором этапе полученные на виртуальной модели результаты необходимо проверить с помощью натурных испытаний. Успешность такого рода оптимизации возможна при наличии твердотельной модели макрорельефа на поверхности заданной кривизны.

На рис. 1 показан макрорельеф поверхности отверстия, выполненный алмазным выглаживанием. Возможности программной среды КОМПАС V13 позволили получить макрорельеф максимально близкий к макрорельефу, формируемому на реальной детали (отсутствуют острые кромки и артефакты). Возможности программной среды КОМПАС V13 оказались недостаточными для моделирования макрорельефа, сформированного при помощи сочетания выглаживания, вибровыглаживания, ударного накатывания и хонингования. В этом случае смоделировать макрорельеф удалось с помощью SolidWorks (рис. 2). Однако и среда SolidWorks не позволила смоделировать (даже без привязки к размеру) выдавленные индентором выступы (гребни), а также радиусные кромки. По этой причине можно использовать для моделирования эксплуатационных свойств детали виртуальную поверхность (рис. 2) с пониманием того, что на ней присутствуют острые кромки, которых нет на реальной поверхности. Лунки (углубления), сформированные на поверхности отверстия путём ударного накатывания, имеют различную глубину, что соответствует случаям различных величин усилий воздействия индентора на поверхность отверстий.

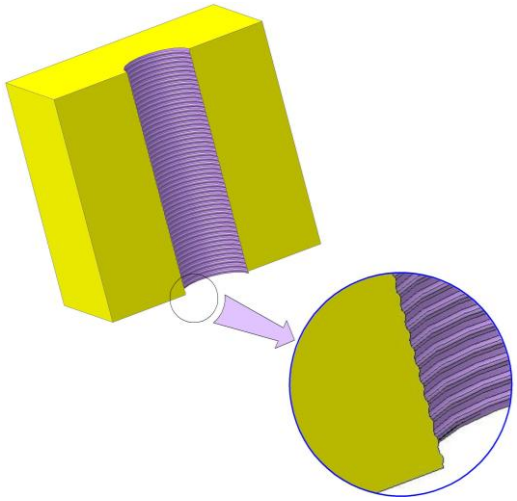

Рис. 1. Макрорельеф поверхности отверстия, сформированный выглаживанием

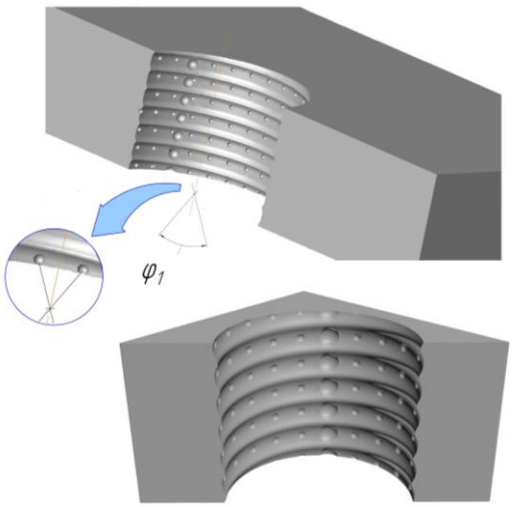

Рис. 2. Сечение отверстия с симметричным макрорельефом наповерхности отверстия, обработанным выглаживанием и ударным накатыванием

Используемые программные среды (КОМПАС V13, SolidWorks) позволяли формировать на поверхности отверстия модели лунки различной глубины и периодичности. При этом лунки могут образовывать на поверхности отверстия, как симметричный относительно оси симметрии отверстия макрорельеф, так и ассиметричный (рис. 3). Помимо этого программные среды предоставляют возможность рассматривать инверсию смоделированного макрорельефа, т. е. возможен взгляд на макрорельеф изнутри детали (рис. 3 б). Формирование на поверхности модели как симметричного, так и несимметричного макрорельефа, позволяет оптимизировать характер формируемого упрочнением макрорельефа с учётом, например, пространственной ориентации детали во время её эксплуатации. Такого рода натурные эксперименты весьма длительны и затратны, а формирование некоторого макрорельефа на твердотельной модели позволяет найти оптимальную периодичность канавки, а также глубину и периодичность лунок без существенных затрат. Проверка оптимальности найденного таким образом макрорельефа поверхности может быть осуществлена путём проведения натурных экспериментов [8-10]. Возможность наблюдать инверсию сформированного макрорельефа на твердотельной модели позволяет не только оценить возможные пересечения, например, канавки, сформированной выглаживанием, а также лунок, сформированных ударным накатыванием, но и измерить линию сопряжений составляющих фигур сформированного макрорельефа. Это может быть необходимым, например, при формировании ударным накатыванием каналов, выводящих микростружку, получаемую в результате трения.

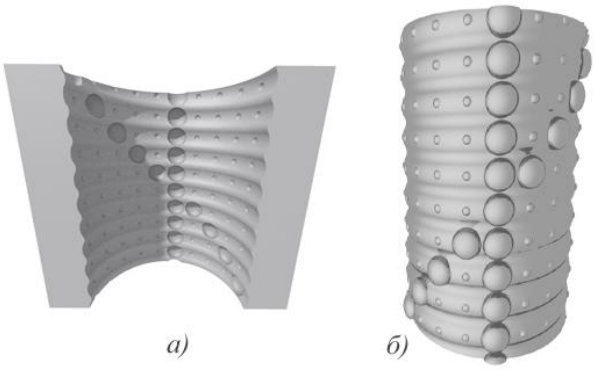

Рис. 3. Несимметричный макрорельеф поверхности отверстия, сформированный выглаживанием и ударным накатыванием: а) поверхность отверстия; б) инверсия макрорельефа поверхности отверстия

Моделирование макрорельефа на поверхности отверстия или цилиндра позволит определить для конкретных условий эксплуатации детали характер макрорельефа, который может обладать определёнными функциональными свойствами. Например, если у двигателя внутреннего сгорания, имеющего рядное расположение цилиндров, на поверхность гильзы и на поверхность поршня нанести волновые канавки, имеющие переменные вдоль оси симметрии отверстия или вала период и глубину (рис. 4 и рис. 5), то при осевом перемещении вала (рис. 5) относительно отверстия (рис. 4) нанесенные канавки могут работать относительно друг друга, как перистальтический насос, способствующий транспортировке микростружки в камеру сгорания. Канавки на поверхности цилиндрической поверхности имели угол наклона относительно оси симметрии цилиндра 1^{o} (рис. 5). Отработка геометрии таких канавок возможна без существенных затрат только на твёрдотельной модели. Помимо этого моделирование позволит выбрать технологию нанесения макрорельефа, например, вибровыглаживание или хонингование.

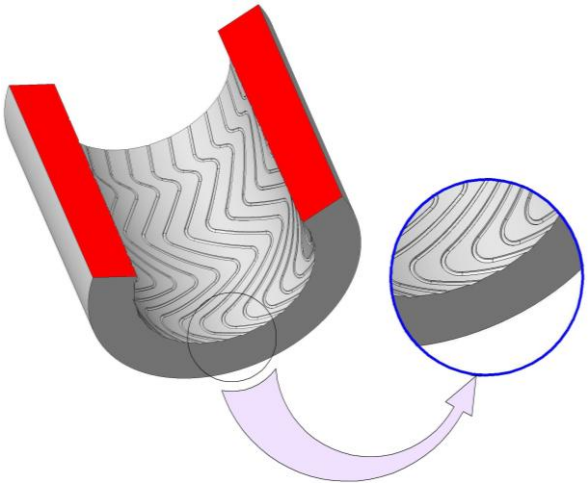

Рис. 4. Макрорельеф поверхности отверстия, полученный в результате обработки поверхностного слоя вибровыглаживанием (или хонингованием)

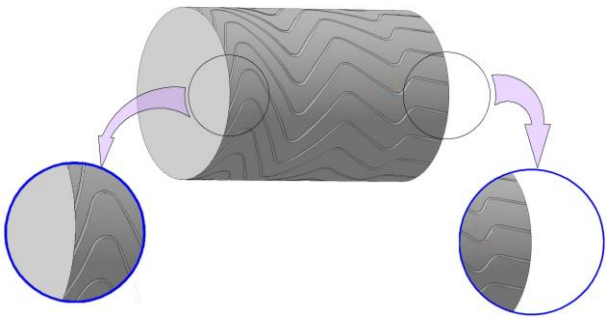

Рис. 5. Макрорельеф с переменной глубиной на внешней цилиндрической поверхности, полученный в результате обработки поверхностного слоя вибровыглаживанием (или хонингованием)

Большие объемы вычислительных возможностей могут быть минимизированы за счёт представления поверхностей, сформированных индентором макронеровностей с помощью NURS, т.е. аппроксимации поверхности с помощью сплайнов максимум 4-го порядка, а также с помощью оптимизации шага дискретизации аппроксимируемой поверхности. В этом случае появится возможность строить виртуальные макронеровности поверхности деталей, используя возможности персональных компьютеров. При этом на виртуальной поверхности будут отсутствовать острые кромки, а также появится возможность не только формировать заданной формы выдавленные выступы макрорельефа, но и придавать этим выступам конкретные размеры. Однако любая аппроксимация всегда приводит к потере части информации, что в свою очередь приведёт к искажению значений параметров шероховатости R_a и R_Z и к уменьшению достоверности полученных в результате моделирования эксплуатационных свойств детали.

Выводы:

1. Для моделирования влияния характеристик макро- и микрорельефа на эксплуатационные свойства детали необходимы значительные вычислительные мощности компьютера;

2. Для получения виртуального аутентичного макрорельефа некоторой исходной поверхности необходимо использование возможности компьютерных кластеров;

3. Моделирование влияния характеристик макрорельефа на эксплуатационные свойства деталей способно существенно уменьшить время поиска оптимального (или приемлемого) технологического решения, сообщить детали новые эксплуатационные свойства, а также снизить материальные и финансовые затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков, И.С.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Фабрика экранных учебно-наглядных пособий ВТПП ГК СМ СССР по профтехобразованию, 1975. 46 с.
2. *Сулима, А.М.* Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / *А.М. Сулима, В.А, Шулов, Ю.Д. Ягодкин*. – М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
3. ГОСТ 23.216-84 Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на трение и изнашивание при смазывании маслохладоновыми смесями.
4. ОСТ 23.219-84 Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний на износостойкость материалов при гидроэрозионном изнашивании.
5. ГОСТ Р 51860-2002 Обеспечение износостойкости изделий. Оценка противоизносных свойств смазочных материалов.
6. *Мельников, П.А.* Моделирование процесса формирования микрорельефа обработанной поверхности при алмазном выглаживании / *П.А. Мельников, А.Н. Попов, Н.В. Липандина* // Вектор науки Тольятти ГУ. 2010. № 3(13). С. 112-114.
7. *Кузнецов, В.П.* Моделирование и исследование формирования плосковершинного микрорельефа поверхностей трения со смазочными микрокарманами при многоцелевой обработке деталей / *В.П. Кузнецов, О.В. Дмитриева* // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319, № 2. С. 35-40.
8. *Леонов, С.Л.* Конструирование моделей для расчета шероховатости и топологии обработанных поверхностей / *С.Л. Леонов, Ю.А. Татаркин* // Ползуновский вестник. .2008. № 1-2. С. 170-174.
9. *Леонов, С.Л.* Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования / *С.Л. Леонов, А.Т. Зиновьев*. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. 198 с.
10. Хоменко, В.А. Стохастическое имитационное моделирование формирования геометрических параметров поверхности при торцовом фрезеровании / *В.А. Хоменко, А.О. Черданцев* // Ползуновский вестник. 2012. № 1/1. С.324-328.

MACRORELIEF SOLID-STATE MODELING OF DIFFERENT CURVATURE CYLINDRICAL SURFACES

© 2013 S.R. Abulkhanov, V.N. Voronin, D.S. Goryainov, A.F.Denisenko, V.A. Papshev, I.P. Sorokin, S.D. Shaposhnikov

Samara State Technical University

Possibility of construction on a surface of solid-state models macro- and a microrelief, received by smoothing, vibrosmoothing, shock rolling and honing is presented. Software for receiving the virtual macrorelief closest to a macrorelief, formed on surface by real detail is considered. Discrepancies in topology of virtual models and real surfaces of details are analyzed.

Key words: *solid-state modeling, surface macrorelief, operational properties, virtual tests, diamond smoothing, vibrosmoothing, shock rolling, honing*

Stanislav Abulkhanov, Candidate of Techn ical Sciences, Associate Professor. E-mail: ask@samgtu.ru; Valeriy Voronin, Teacher. E-mail: tm@samgtu.ru; Dmitriy Goryainov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Alexander Denisenko, Doctor of technical Sciences, Professor; Valeriy Papshev, Candidate of Biology, Associate Professor. E-mail: apiuts@samgtu.ru; Igor Sorokin, Director of Information Center. E-mail: center-fmiat@mail.ru; Sergey Shaposhnikov, Candidate of Technical Sciences, Professor. E-mail: msf@samgtu.ru