

УДК 621.9.015

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-1-296-53-56

*Зебазе Жизлейн Н. А., Ю. Л. Чигиринский***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ
В РЕЗУЛЬТАТЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: ndjaze@gmail.com, Julio-Tchigirinsky@yandex.ru

Моделирование микрогеометрии поверхности, формируемой в процессе механической обработки при изготовлении деталей машин, рассматривается как альтернатива оперативному контролю качества поверхности непосредственно в процессе обработки. Моделирование выполнено с использованием метода конечных элементов с учетом базовых принципов материаловедения сталей, положений механики деформируемого твердого тела и технологии машиностроения. В статье рассмотрен силовой (динамический) механизм формирования микропрофиля, определяемый действием сил резания и возникающих при стружкообразовании в результате упруго-пластической и пластической деформации материала поверхностного слоя напряжений. Рассмотрена поверхностная пластическая деформация для анализа параметров качества поверхности детали. Полученные результаты отражают взаимосвязь между высотными параметрами микропрофиля поверхности заготовки и условиями обработки. Данные, полученные при моделировании, согласуются с результатами непосредственного измерения высотных параметров микропрофиля обработанной поверхности.

Ключевые слова: качество, шероховатость, поверхностный слой, пластическая деформация, статистическое моделирование, прочность, условия обработки

*N. G. A. Zebaze, Ju. L. Tchigirinsky***MODELING THE QUALITY PARAMETERS OF SURFACE,
WHICH OBTAINED AS A RESULT OF MACHINING****Volgograd State Technical University**

Modeling of the microgeometry of the surface formed during mechanical processing in the manufacture of machine parts is considered as an alternative to operational quality control of the surface directly during the processing. Modeling is performed using the finite element method, taking into account the basic principles of steel material science, provisions of mechanics of a deformable solid and mechanical engineering technology. The article considers the force (dynamic) mechanism of microprofile formation determined by the action of cutting forces and stresses arising during chip formation as a result of elastic-plastic and plastic deformation of the material of the surface layer. Surface plastic deformation is considered for the analysis of the quality parameters of the part surface. The obtained results reflect the relationship between the height parameters of the workpiece surface microprofile and the processing conditions. The data obtained during modeling are consistent with the results of direct measurement of the height parameters of the processed surface microprofile.

Keywords: surface quality, roughness, the surface layer, plastic deformation, physical statistical models, strength, processing conditions

Качество поверхности понимается как набор свойств (шероховатость, остаточное напряжение, твердость поверхности и т. д.), которые определяют пригодность детали для ее предполагаемого использования. Для выполнения функционально-эксплуатационных требований изделие (деталь) должно обладать перечисленными выше характеристиками поверхностного слоя, причем числовые значения этих характеристик могут варьироваться в пределах определенных допусков [1].

Физико-механические свойства изделия изначально определяются свойствами конструкционного материала, но, в определенной мере, изменяются на этапах механической и термиче-

ской обработки. В результате обработки обеспечивается повышение прочности, снижение высоты микрорельефа, исправление погрешностей взаимного расположения поверхностей. Свойства изделия становятся более стабильными и, как правило, усложняется геометрия изделия. Требования, определяемые функциональным назначением детали, задаются как обязательно выполняемые ограничения на процесс обработки, в том числе, на финишные операции [2].

Технологические методы используются для изменения физических и химических свойств детали, с целью обеспечения однородности параметров качества поверхности [3]. Основной

характеристикой, определяющей долговечность детали, является геометрия и, в особенности, микрогеометрия ее рабочей поверхности, которая должна быть функциональной с точки зрения шероховатости и с точки зрения остаточных напряжений.

Поскольку все поломки деталей начинаются с их поверхностей, метод обработки для получения качества поверхности должен обеспечить его форму и требуемое качество. Например, точение идеально подходит для цилиндрических деталей, а фрезерование подходит для создания сложных форм и особенностей. Таким образом, инженерия поверхности является тенденцией в модернизации обрабатываемых деталей [4].

Шероховатость является одной из характеристик состояния поверхности детали. Основные характеристики микрогеометрии поверхностей регламентированы действующим в России GOST 2789–73. Стандартом установлены следующие характеристики шероховатости: высотные R_a , R_z , R_{max} ; шаговые S_m , S ; параметр формы t_p . Выбор моделирования микрогеометрии поверхности объясняется тем, что параметры шероховатости нормированы на 100 % машиностроительных чертежей [5]. Наиболее

часто используемым параметром шероховатости является среднее арифметическое отклонение высоты микронеровностей R_a .

Используемый метод

Для завершения этой работы использовался численный подход. Численный подход в данном случае основан на САПР-программном обеспечении, позволяющем создавать механическую часть и затем подвергать ее определенным ограничениям. Механическая обработка поверхности производилась с использованием механической силы для изменения поверхности обрабатываемой детали. Принцип основан на приложении напряжения к поверхности детали, вызывающего пластическую деформацию [3, 6].

Процесс моделирования включает в себя несколько этапов, проектирование, программирование, оснастку и контроль качества. Программное обеспечение Autodesk Inventor для автоматизированного проектирования используется для создания 3D-модели детали с учетом размеров, допусков и спецификаций материала (рис. 1). На протяжении всего процесса принимаются строгие меры контроля качества для проверки точности и целостности готовой детали.

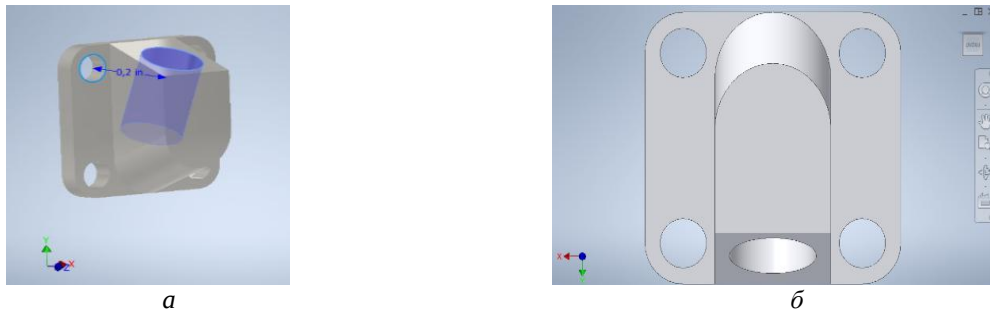


Рис. 1. 3D-моделирование детали с помощью графического интерфейса Autodesk Inventor: а – профиль внутреннего цилиндра детали; б – деталь в сборе

Моделирование использует пластическую деформацию поверхности. Деталь собирается программным обеспечением (рис. 2) таким образом, что каждая размерная или геометриче-

ская спецификация детали генерируется случайным образом в соответствии с законом статистического распределения, соответствующим предполагаемому процессу производства.

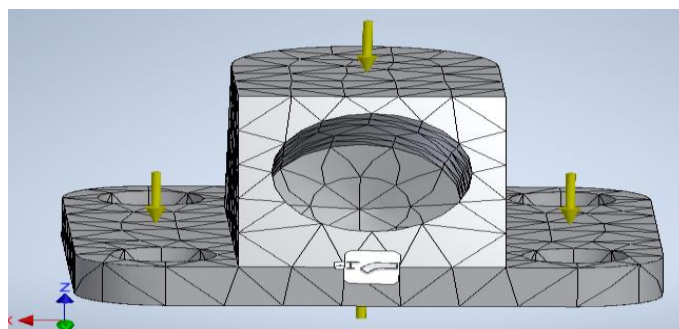


Рис. 2. Размерные и геометрические характеристики детали в Inventor

Моделирование проводится с использованием испытательной детали из алюминия 6061 и регулируемой управляющей программы, позволяющей регулировать механическое усилие $F \pm \Delta F$, необходимое для возникновения пластической деформации. Для каждого значения механической силы $F = 900 \dots 1800$ Н, Параметры поверхности детали определяются с допуском 0,01 мм (0,0004 дюйма).

Алюминий 6061 (обозначение АД33) – наиболее часто используемый алюминиевый сплав и один из самых универсальных. Известный своей прочностью, обрабатываемостью, коррозионной стойкостью и простотой сборки, алюминиевый пруток 6061 используется в самых разных отраслях промышленности и сферах применения. Из него для изготовления деталей средней прочности и высокой коррозионной

стойкости, работающих в интервале от -70 до 50 °С, во влажной атмосфере и в морской воде.

Напряжения, полученные в разных направлениях, представлены в соответствии с моделью Фон Мизеса (рис. 3). Максимальное напряжение, вызывающее пластическую деформацию под действием силы 1500 Н, составляет 114,04 МПа. Точные значения и местоположение деформаций обозначены разными цветами. Просто выберите любой произвольный участок детали, где происходит деформация, и наблюдайте за результатами.

Удлинение детали после деформации составляет 14 %. Деталь ведет себя непрерывно в диапазоне упругости, а максимальный предел текучести составляет 97,5 МПа. Наиболее типичные значения для алюминия 6061, 310 МПа и 270 МПа, соответственно, не были достигнуты.

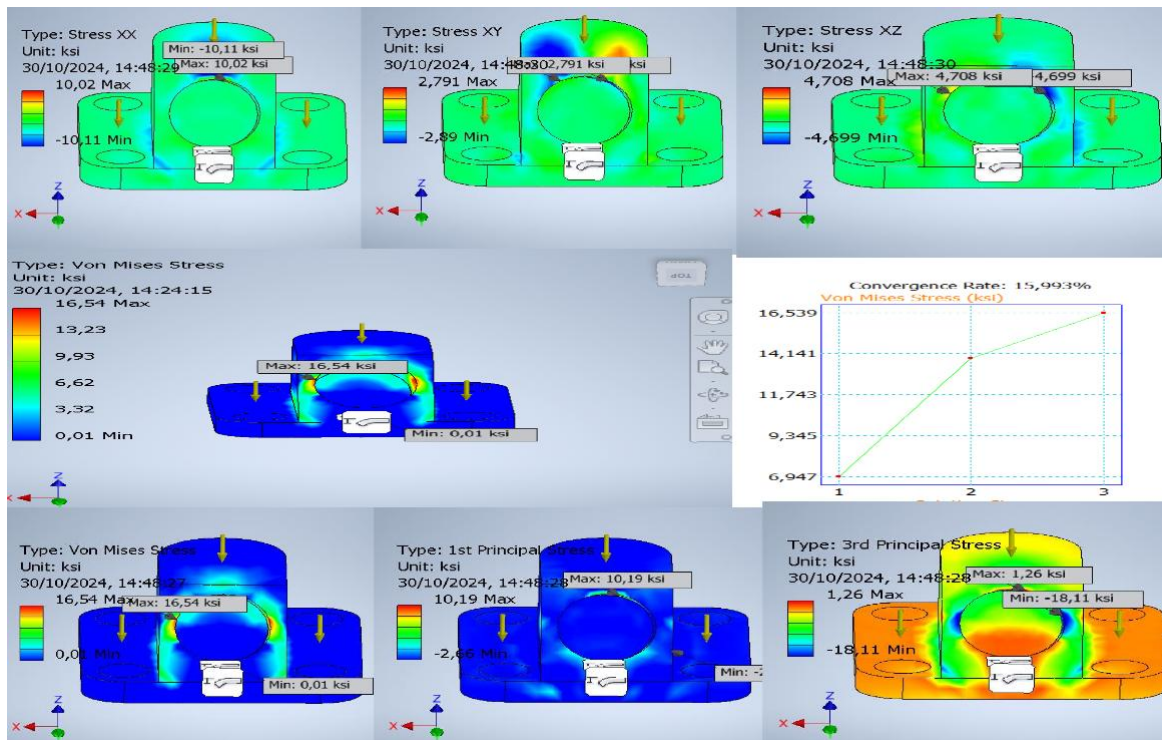


Рис. 3. Анализ напряжений в разных направлениях

Общая деформация детали считается значительным смещением. Каждая точка сетки изменяет положение, следуя нормали к плоскости детали и соблюдая нормальное случайное распределение.

Деталь подвергается изгибу, наблюдаемые смещения которого связаны с допуском и деформацией. Программное обеспечение выполняет расчеты смещений с помощью статистического метода наименьших квадратов на соответствующей плоскости и затем создает модель

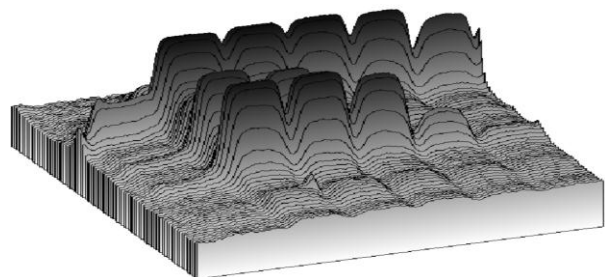


Рис. 4. 3D-анализ поверхности детали. Микропрофиль обрабатываемой поверхности (Алюминий 6061 – $t = 1$ мм; $S = 0,15$ мм/об)

дефекта формы. По мере увеличения деформации уменьшается базовое расстояние детали. Наблюдаемое отклонение составляет 0,018 мм. Микропрофиль обрабатываемой поверхности детали показан на рис. 4.

В таблице приведены параметры шероховатости детали, полученные программным обеспечением в ходе моделирования. Улучшен-

ная средняя шероховатость поверхности заготовки составляет 4,52 мкм. Эта величина согласуется с экспериментальными измерениями, уже проведенными на структуре, аналогичной исследуемой в данной работе, при текущих процессах механической обработки для определения параметра шероховатости поверхности R_a [7].

Параметры поверхности, созданные программным обеспечением

Обозначение и Ед. измерения	Наименование	Полученные значения
R_a (мкм)	Среднее арифметическое отклонение профиля	4,52
R_z (мкм)	высота неровностей профиля по десяти точкам	5,8
R_{max} (мкм)	Наибольшая высота неровностей профиля	23,8
S_m (мкм)	Средний шаг неровностей профиля	13,6
S (мкм)	Средний шаг неровностей профиля по вершинам	0,72

Результаты непосредственного контроля качества поверхности [8] приведены далее. Шероховатость обрабатываемой поверхности уменьшается на 2,016 мкм под действием силы 1500 Н, приложенной к поверхности заготовки. наблюдается нормальное напряжение на поверхности детали. процесс отделки необходим для устранения дефектов поверхности. Функция программного обеспечения «Финиш» позволяет выполнять сглаживание микронеровностей поверхности. После выполнения функции «Финишная обработка» достигается гладкая поверхность с улучшенной твердостью 67 МПа.

Заключение

Данное исследование является важным этапом в реализации метода моделирования параметров поверхности механических деталей. Полученные результаты показывают определенное соответствие между фактическими измерениями шероховатости R_a и измерениями, полученными в ходе текущих процессов механической обработки. Однако наибольшую трудность остается в том, чтобы точно определить для каждого типа ситуации наилучший и наиболее эффективный по времени метод расчета, особенно для инженерии поверхности, чтобы получить надежные результаты.

Одна из основных трудностей дальнейшего развития моделирования микропрофиля поверхности связана с рассмотрением поведения анизотропных материалов за пределами упругой области. Второй момент будет заключаться в разработке методов, предусмотренных для совершенствования и контроля при изготовлении деталей.

Последним рассматриваемым моментом является анализ возможных производственных дефектов одновременно с расчетами размеров. Это позволило бы перейти непосредственно к моделированию, учитывающему возможность производственных процессов, заменить физический контроль цифровой проверкой измерений, связанной с качеством обрабатываемой детали, с четкими стандартами, которым необходимо следовать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пронников, А. С. Надежность машин / А. С. Пронников. – М. : Машиностроение, 1978. – 590 с.
2. Терехов, В. Исследование состояния поверхностного слоя глубоких отверстий в деталях ответственных теплообменных аппаратов / В. Терехов. – М. : Технология машиностроения, 2001. – № 3. – С. 41–45.
3. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. М. Дальского, А. Г. Сулова. – М. : Машиностроение, 2001. – 856 с.
5. Сулов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / А. Г. Сулов. – М. : Машиностроение, 1987. – 207 с.
6. Федоров, В. П. Принципы и средства технологического обеспечения заданных законов распределения параметров качества по обрабатываемой поверхности детали / В. П. Федоров, М. Н. Нагоркин // Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки : кол. моногр. / под ред. А. В. Киричека. – М. : Спектр, 2014. – С. 172–220.
7. Полянчиков, Ю. Н. Улучшение параметров шероховатости при обработке резанием с опережающим пластическим деформированием / Ю. Н. Полянчиков, Д. В. Крайнев, П. А. Норченко [и др.] // Вестник Саратовск. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 1. – С. 67–71.