

УДК 621.914

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОПЕРАЦИИ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

© 2012 А.Р. Гисметулин, О.М. Сидоренко

Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 02.11.2012

В статье описывается способ моделирования заготовки, которая имеет заданные параметры шероховатости. Также описан способ моделирования рабочей поверхности шлифовального круга. Были заданы формообразующие движения. Было произведено моделирование процесса шлифования, что позволяет прогнозировать шероховатость обработанной поверхности.

Ключевые слова: плоское шлифование, прогнозирование шероховатости, вероятностная модель.

В задаче управления качеством поверхностного слоя деталей машин при обработке шлифованием актуальным направлением является разработка моделей, адекватно отражающих процесс формирования шероховатости. На этот процесс влияет множество технологических параметров, но все они могут быть сведены к двум основным: это геометрический фактор и фактор физико-химического взаимодействия обрабатываемой поверхности с элементами технической системы операции шлифования.

Геометрический фактор предполагает, что шероховатость образуется в результате копирования на обрабатываемую поверхность профиля рабочей поверхности режущего инструмента, совершающих формообразующие движения. Законы движения геометрических параметров поверхностей могут быть описаны классической механикой, но такая математическая модель будет сложна и громоздка. Использование вероятностной модели и пакетов геометрического моделирования позволяет решить эту задачу. В данной работе, в CAD-системе CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application), была построена модель, описывающая процесс формирования шероховатости на операции плоского шлифования периферией круга. Эта модель учитывает характеристики абразивного инструмента и режимы резания.

Построение модели осуществляется в три этапа:

- создание модели необработанной заготовки;
- создание элементарных режущих профилей шлифовального круга;
- задание элементарным режущим профи-

лям формообразующих движений и их копирование на заготовке.

Для автоматизации процесса создания модели заготовки была создана программа на языке Visual Basic. В программе по нормальному закону распределения генерируются координаты вершин зерен. Затем полученные координаты соединяются прямыми и сплайнами. Далее из кривых операцией *Sweep* создаем поверхность (рис. 1), а из поверхности с помощью операции *Pad* получаем твердотельную модель.

При шлифовании, шероховатость формируется в результате большого количества проходов абразивного круга, поэтому для получения адекватного результата нам необходим не один, а множество элементарных режущих профилей. Их количество определяется скоростью круга и скоростью продольной подачи детали.

Исходными данными для моделирования режущей поверхности шлифовального круга являются: зернистость, объемное содержание абразивного материала, высота и диаметр шлифовального круга, начальная шероховатость заготовки, окружная скорость и врезная подача инструмента, скорость подачи детали.

Концентрацию абразивных зерен на единицу площади рабочей поверхности абразивного инструмента определяем с помощью зависимости:

$$N = \frac{1.44 W_0 \left(\frac{t_{\max}}{d_0} \right)^{2.75}}{\pi d_0^2}, \quad (1)$$

где W_0 – относительная доля абразивных зерен в объеме инструмента; $t_{\max}$ – максимальный вылет зерна; d_0 – средний диаметр зерна.

При определении высоты выступания вершин зерен над связкой необходимо учесть зернистость и структуру круга. Для этого воспользуемся вероятностной моделью. Функция $F(x)$

Гисметулин Альберт Растемович, кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования технических систем.

E-mail: gismetulinar@yandex.ru

Сидоренко Оксана Михайловна, начальник тематической конструкторской бригады УКБП. E-mail: ccd@ulsu.ru

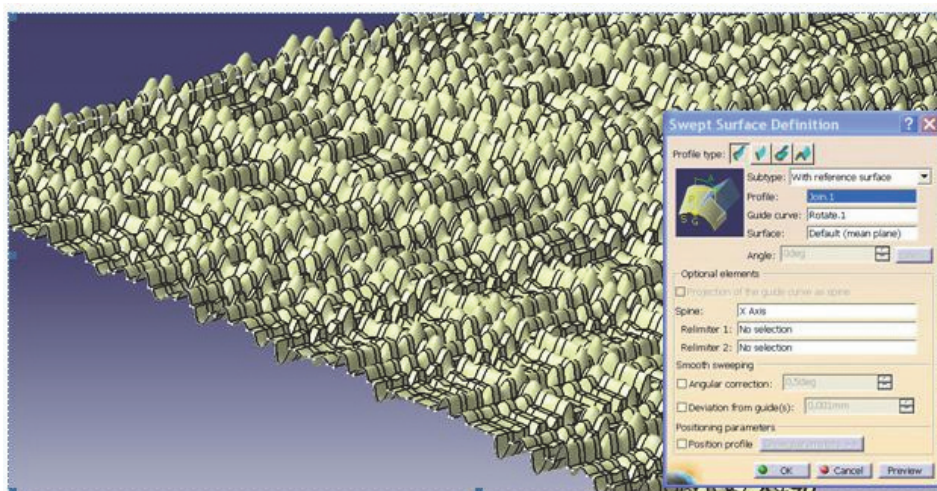


Рис. 1. Модель исходной шероховатости поверхности заготовки

распределения положений вершин зерен в направлении, нормальном к рабочей поверхности инструмента равна:

$$F(x) = e^{-1,65(0,2 + \frac{x}{d_0})^2} \text{ при } \frac{x}{d_0} \geq -0,2. \quad (2)$$

Пластическая деформация металла, сопровождающая процесс микрорезания единичным абразивным зерном, оказывает существенное влияние на параметры шероховатости поверхности. С целью повышения точности моделирования, необходимо учесть зерна, которые врезаются в материал на столь малую величину, что происходит лишь пластическое выдавливание металла без снятия стружки. Для этого, используя коэффициент стружкообразования K_c , выраженный через скорость и глубину резания:

$$K_c = 0,34 t_{\phi}^{0,56} v^{0,08} \quad (3)$$

найдем минимальную высоту режущего зерна:

$$G = d_{\max}(1 - K_c). \quad (4)$$

По закону нормального распределения зададим значение величины выступания зерна над связкой $x[i]$ – в интервале от G до максимального размера зерна. Далее находим вероятность выступания зерна на заданную величину $f = F(x[i])$, для этого подставляем $x[i]$ в функцию распределения (2). Алгоритм задания x -координат вершин зерен для одного элементарного режущего профиля представлен на рис. 2.

Далее на основе эмпирической зависимости задаем ширину зерна в зависимости от высоты выступания:

$$b_i = 0,49\sqrt{x_i}. \quad (5)$$

По нормальному закону вероятности, случайным образом распределяем зерна по высоте шлифовального круга, см. рис. 3.

На примере шлифования кругами из электрокорунда марки 25А зернистостью 25 исследован закон распределения радиального износа

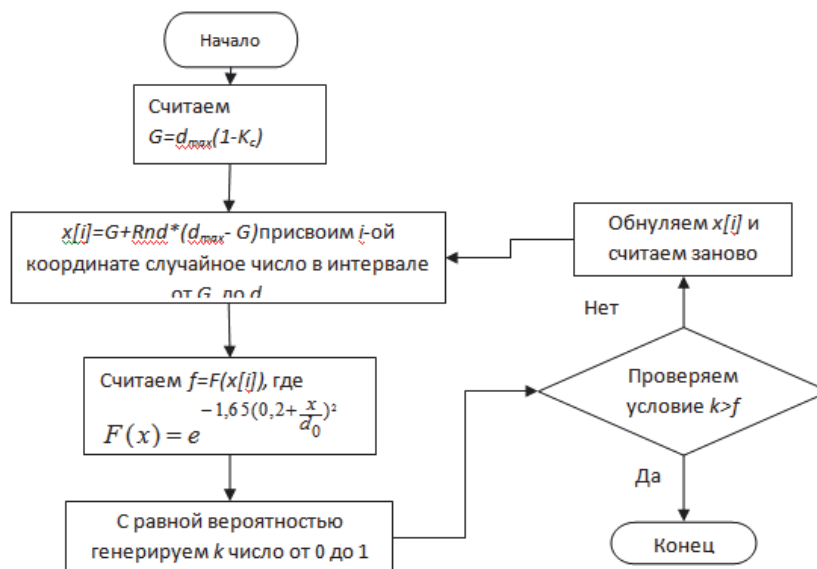


Рис. 2. Алгоритм генерации координат вершин абразивных зерен

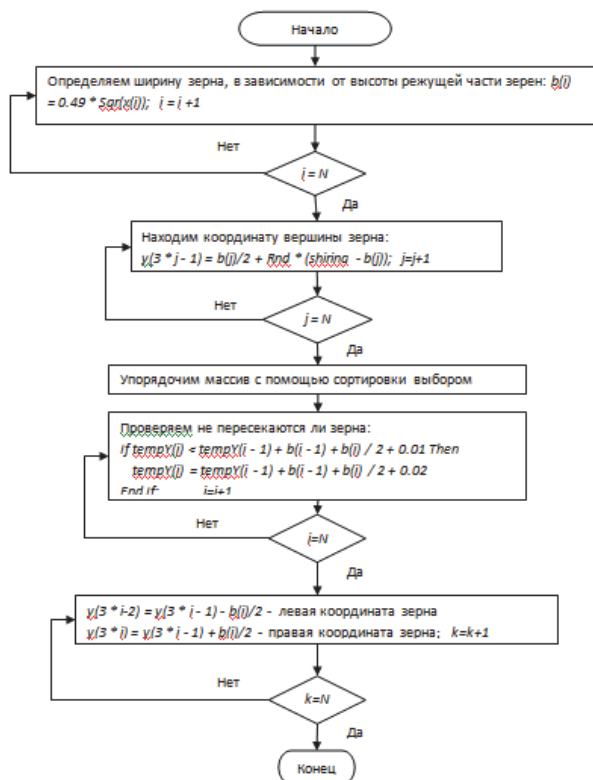


Рис. 3. Алгоритм задания y -координат зерен для одного элементарного режущего профиля

вершин зерен в результате скалывания. Установлено, что на глубине скалывания до 20 мкм распределение радиального износа можно описать законом Вейбулла.

Износ вершины зерна при скалывании является случайным событием. Для того, что бы определить вероятность нового положения вершины на рабочей поверхности абразивного инстру-

мента после скалывания, необходимо знать закон распределения износа и его параметры в зависимости от глубины скалывания. В процессе моделирования учет влияния износа зерна на геометрию режущего профиля происходит по алгоритму, представленному на рис. 4.

Генерируем случайное значение износа и по закону распределения Вейбулла находим вероятность этого события f . Далее, что бы износ подчинялся выбранному закону, сравним f с числом e , которое генерируется по закону нормального распределения, с помощью встроенного в Visual Basic генератора случайных чисел rnd в интервале от 0 до 1 ($e > f$). Если неравенство не выполняется, то сгенерированная величина износа не удовлетворяет требованиям. Ее величина обнуляется и считается заново. При выполнении неравенства значение износа вычитается из высоты зерна.

Изменение размеров зерна при моделировании износа представлено на рис. 5.

В итоге получим координаты вершин абразивных зерен, образующих элементарный режущий профиль. Соединяем координаты прямыми – область связки, и сплайнами – режущие зерна.

Как известно абразивные зерна являются многогранниками неправильной формы и имеют скругленные вершины. Для задания абразивным зернам отрицательных передних углов был произведен наклон плоскости, в которой будет строиться элементарный режущий профиль (рис. 7).

Следующим этапом было задание элементарным режущим профилям формообразующих движений и формирование шероховатости на поверхности заготовки.

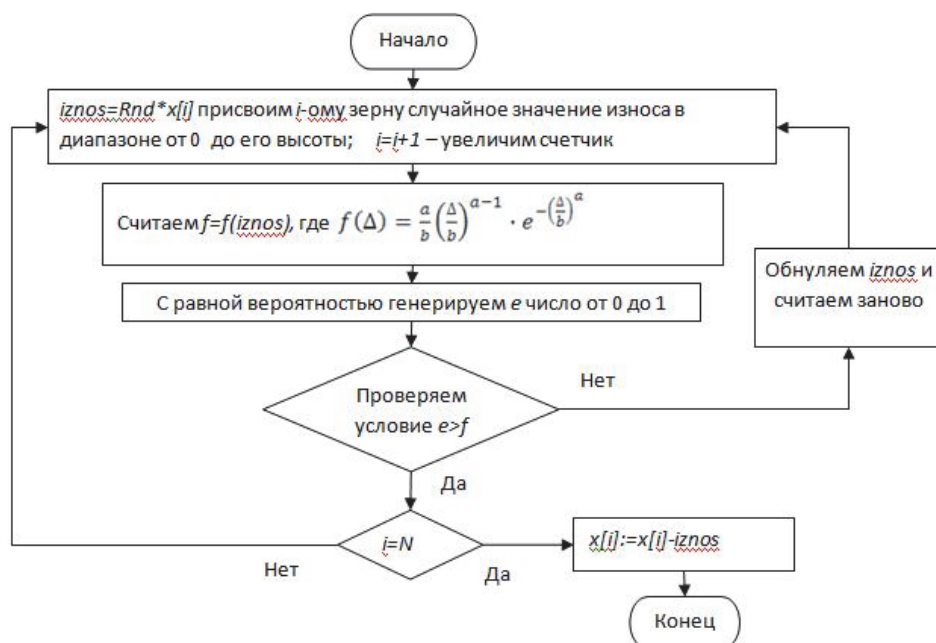


Рис. 4. Алгоритм учета влияния износа абразивных зерен на их геометрию

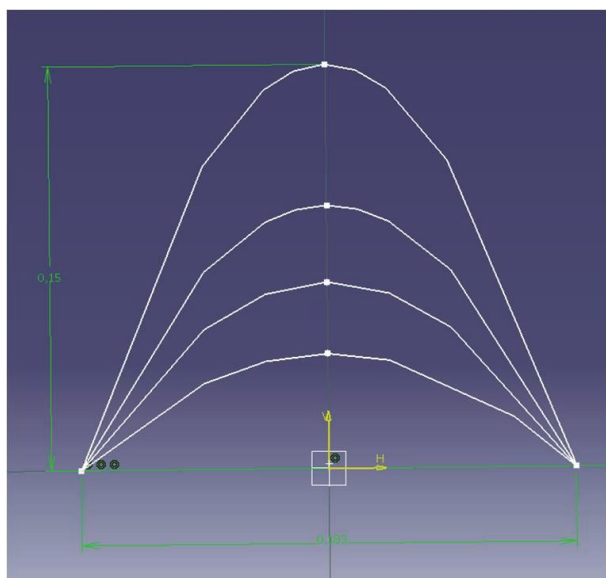


Рис. 5. Модель износа зерна в процессе шлифования



Рис. 6. Модель профиля рабочей поверхности шлифовального круга

Для расчета числа профилей P используем следующие значения: $x_k = 30 \text{ м/с}$ – окружная скорость круга; $S_g = 0,01 \text{ мм/дв.ход}$ – врезная подача круга; $x_d = 15 \text{ м/мин}$ – продольная подача детали. Элементарные режущие профили расположены через каждые $0,3 \text{ мм}$, что соответствует среднему диаметру зерна для шлифовального круга зернистостью 32. Время, за которое круг повернется на один режущий профиль, составит $t_1 = 8,57 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Заготовка за это время переместится на расстояние $l = 2,142 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$.

Если шероховатость поверхности заготовки оценивать на базовой длине 2 мм , то в моделировании должно участвовать около 1000 режущих профилей.

Далее зададим плоскость в поперечном сечении модели шлифовального круга:

`Set hybridShapePlaneExplicit1 = originElements1.PlaneYZ`

`Set reference1 = part1.CreateReferenceFrom Object(hybridShapePlaneExplicit1)` и строим режущий профиль.

Моделирование вращательного движения инструмента и удаления объема материала с поверхности заготовки осуществляем в модуле *Part Design* с помощью операции *Groove*, см. рис. 8. С помощью программы, написанной на языке Visual Basic, были автоматизированы процесс

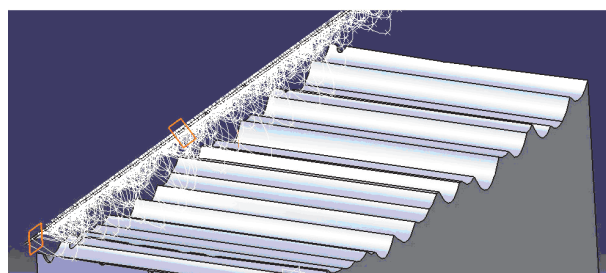


Рис. 7. Задание отрицательного переднего угла резания абразивных зерен

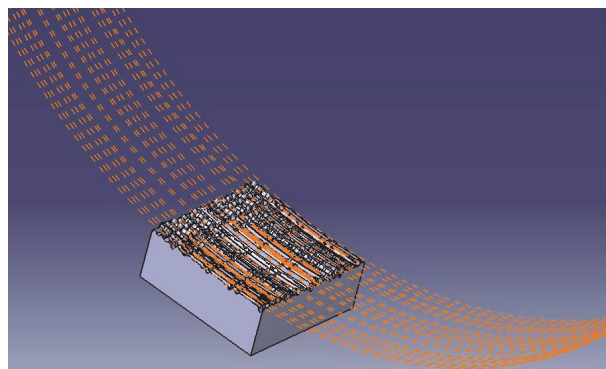


Рис. 8. Задание профилю вращательного движения

задания режимов резания, геометрии режущих профилей и выполнение операции *Groove*.

Смещением плоскостей с расположенными в них элементарными режущими профилями:

`Set hybridShapePlaneOffset1 = hybridShapeFactory1.AddNewPlaneOffset (reference1, ( $S_n * (P-1)$ ), False)` задаем продольную подачу заготовки.

На рис. 9 представлена итоговая твердотельная модель шероховатости шлифованной поверхности заготовки.

При шлифовании, шероховатость формируется в результате большого количества проходов абразивного круга. Компьютерное моделирование процесса шлифования в целом ограничивается техническими возможностями современной компьютерной техники. С целью увеличения числа проходов режущих профилей использовали математическую обработку полученных результатов моделирования.

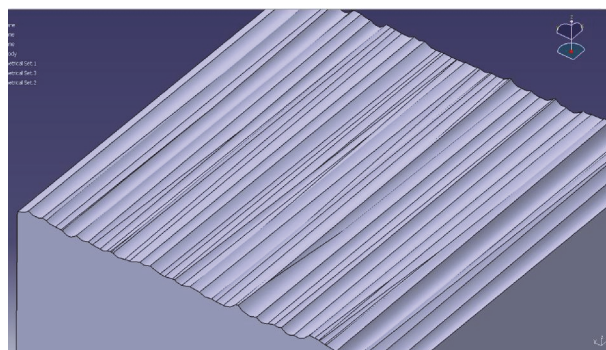


Рис. 9. Модель шлифованной поверхности

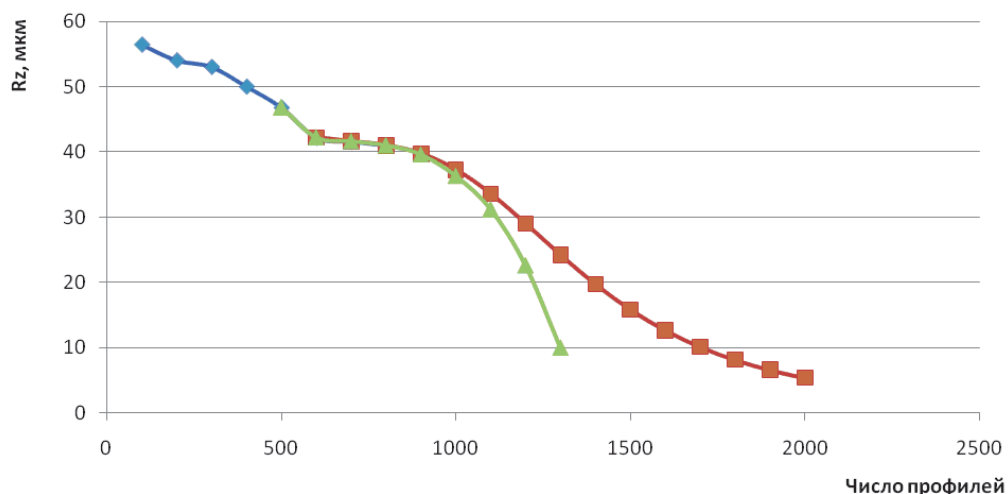


Рис. 10. Прогнозирование шероховатости шлифованной поверхности

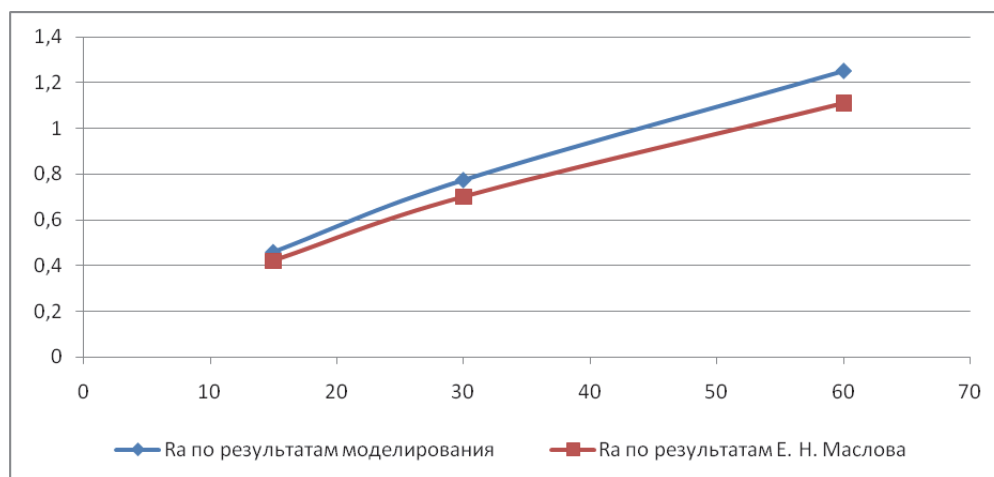


Рис. 11. Зависимость шероховатости от продольной подачи детали

Для прогнозирования шероховатости были использованы методы экстраполяции алгебраическим многочленом и экстраполяцией полиномом Лагранжа. Результаты моделирования и результаты экстраполяции представлены на рис. 10. Экстраполяцией полиномом Лагранжа были получены данные совпадающие с экспериментальными при обработке базовой длины. По результатам экстраполяции алгебраическим многочленом, шероховатость заготовки совпадает с

практическими значениями после прохождения 4 тыс. профилей.

Исследование возможностей предложенной методики моделирования шероховатости поверхности приводились на операции шлифования деталей из стали 50Г электрокорундовыми, среднемягкими шлифовальными кругами на керамической связке зернистостью 40.

В таблице приведены сравнительные данные влияния изменения окружной скорости круга (продольная подача детали $x_d = 30$ м/мин; врезная подача $S_e = 0,01$ мм/дв.ход).

На рис. 11 представлены результаты исследования влияния на шероховатость поверхности продольной подачи детали (скорость круга $x_k = 25$ м/с; врезная подача $S_e = 0,01$ мм/дв.ход). Погрешность результатов моделирования по сравнению с экспериментальными данными не превысила 10%.

Таблица. Анализ и оценка погрешности результатов моделирования

№ п / п	Скорость круга, м/с	Шероховатость поверхности Ra , мкм		Погреш- ть, %
		Модели- рование	экспеи- римент	
1	8	2,23	2,08	6,73
2	16,5	1,107	1,04	6,053
3	25	0,622	0,6	3,54
4	30,5	0,439	0,5	12,08

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках Государственного контракта № 07.514.11.4064 «Разработка методи-

ки и алгоритмов управления станками с числовым программным управлением с использованием современных CAD\CAM систем с целью оптимизации процессов обработки деталей, применяемых в авиастроении».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов Ю.С. Имитационное моделирование процесса внутреннего шлифования сборным комбинированным инструментом // Инженерный журнал. 2007. №6. С. 33-37.
2. Королев А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Саратов: изд-во Саратов. ун-та, 1987. 160 с.
3. Федотов Е.В. Разработка вероятностно-статистической модели распределения зерен на рабочей поверхности абразивного инструмента при шлифовании с учетом разновидностей изнашивания: Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Волгоград: Волгоградский гос. техн. ун-т, 2007. 158 с.
4. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.

SIMULATION OF FORMING OPERATIONS SURFACE ROUGHNESS ON SURFACE GRINDING

© 2012 A.R. Gismetulin, O.M. Sidorenko

Ulyanovsk State University

This article describes the way of modeling blank which has certain roughness parameters. The way of modeling of grinding circle's work surface is described also. Form-building movements were set. Modeling of process of grinding that allows to predict a roughness of the processed surface was made.

Keywords: surface grinding, roughness prediction, probabilistic model.