

В.А. Иванов, А.В. Иванов

Пермский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ХОНИНГУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРОВ СКВАЖИНЫХ ШТАНГОВЫХ НАСОСОВ

Математическая модель, представленная в статье, позволяет прогнозировать профиль обработанной поверхности детали и определить параметры шероховатости обработанной поверхности при алмазном хонинговании отверстий. Описывается функциональная связь параметров шероховатости обработанной поверхности с параметрами рабочей поверхности алмазных брусков, их характеристики и основные параметры режима хонингования.

В нефтяной промышленности для глубинной добычи нефти широко применяются скважинные штанговые насосы (СШН). От надежности этих насосов в значительной степени зависит экономическая эффективность нефтедобывающих предприятий.

Наиболее дорогостоящей деталью СШН является пара «цилиндр – плунжер». Из практики известно, что плунжер изнашивается в процессе эксплуатации значительно меньше цилиндра. Кроме того, стоимость его изготовления и ремонта существенно ниже, чем цилиндра. Поэтому повышение износостойкости поверхности цилиндра является актуальной задачей.

Технологический процесс изготовления цилиндра включает в себя правку, расточку, предварительное хонингование, чистовое хонингование и азотирование. В значительной степени износостойкость азотированного слоя определяется величиной исходной шероховатости поверхности, подготовленной под азотирование, а также формой микрорельефа обработанной поверхности. Последней операцией перед азотированием является чистовое хонингование, и представляется актуальным создание математической модели для прогнозирования формирования параметров шероховатости поверхности цилиндра на этапе окончательной операции (алмазного хонингования) перед азотированием, которые обеспечат износостойкий микропрофиль поверхности цилиндра.

Существующие методы математического моделирования процессов механической обработки используют закономерности, описывающие форму отдельных формообразующих элементов (алмазных зерен, электрических

импульсов и т.д.), их распределение по поверхности, последовательность изменения, влияние на профиль обработанной поверхности, и не дают полного представления об образовании микропрофиля этой поверхности.

На основании результатов предварительного исследования процесса алмазного хонингования можно предположить о существовании функциональных связей рабочей поверхности алмазных брусков, их характеристики и основных технологических параметров хонингования, оказывающих влияние на параметры шероховатости обработанной поверхности.

В известных работах Ю.К. Новоселова [1], С.А. Попова и других рассмотрены характеристики рабочей поверхности абразивного инструмента: высота выступания алмазных зерен над уровнем связки, средневероятностное расстояние между алмазными зернами, числом режущих граней на единицу длины зерна, количеством абразивных зерен, участвующих в резании. Однако все эти исследования посвящены процессу шлифования и не могут быть в полной мере применимы к процессу алмазного хонингования. Как правило, эти описания рабочей поверхности абразивных инструментов отражают взаимодействие отдельного зерна с обрабатываемой поверхностью, без полного учета формы режущих элементов поверхности инструмента.

Разработка реальной математической модели осуществлялась соответственно следующему пошаговому подходу:

1. Построение элементарного режущего профиля инструмента.
2. Имитация процесса алмазного хонингования, т.е. моделирования последовательного снятия припуска заготовки элементарным режущим профилем инструмента.
3. Расчет параметров шероховатости согласно ГОСТ 25142–82 по полученной профилограмме обработанной поверхности.

Решение, полученное на основе аналитического метода, разработанного И.М. Соболев и Ю.Д. Левитаном [2], позволяет при построении элементарных режущих профилей алмазных брусков определить распределение зерен как в объеме, так и по поверхности бруска. Суть его заключается в зондировании многомерного пространства точками равномерно распределенной последовательности ЛПт, принадлежащей единичному n -мерному кубу K_n , (рис. 1).

Плотность распределения зерен по поверхности бруска имеет вид

$$q = q = \sum_{k=1}^m 2^{-k+1} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=k}^m [2\{i2^{-1}\}] [2\{r_j 2^{k-1}\}] \right\}.$$

Для моделирования достаточно рассмотреть одну из граней многомерного единичного куба и смасштабировать ее стороны до размеров искомого единичного режущего профиля. В результате получим набор координат вершин зерен, равномерно распределенных по поверхности бруска (см. рис. 1).

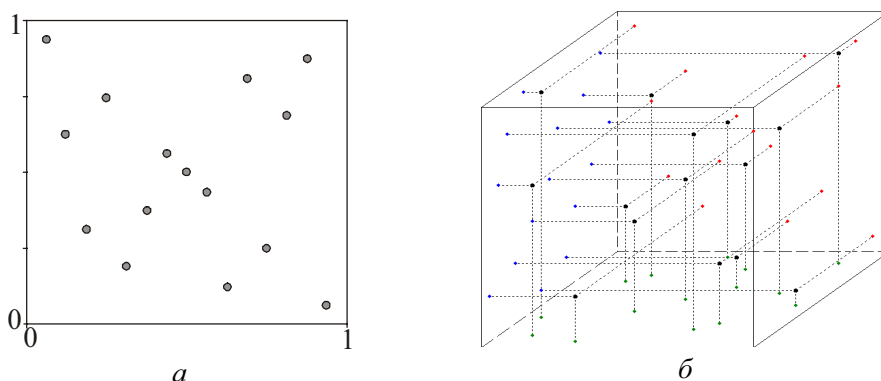


Рис. 1. Плотность распределения зерен бруска по методу ЛП-Поиск:
a – в формате 2D; *б* – в формате 3D

Число алмазных зерен на единицу площади рабочей поверхности бруска определится:

$$z = \frac{12K_C}{\pi x^2},$$

где x – наибольший размер зерен данной зернистости;

K_C – коэффициент концентрации, отражающий процентное соотношение абразива и связки.

При определении размеров зерен принята сфера диаметром D . Зернистость порошка определяется по размеру зерен его основной фракции. Наличие в порошке более крупных и мелких фракций ограничивается определенными нормами. Распределение размеров зерен алмазного порошка подчиняется закону нормального распределения. Проведя соответствующие расчеты, используя программный продукт Mathcad, получаем зависимости параметров распределения размеров зерен от зернистости порошка: $D_{cp} = 0,85x$ – средний диаметр зерна; $\sigma = 0,137x$ – среднеквадратичное отклонение.

Используя полученные зависимости параметров распределения размеров зерен и генератор нормально распределенных случайных чисел, можно определить размер каждого единичного алмазного зерна.

Полученные данные о рабочей поверхности инструмента позволили построить элементарный режущий профиль бруска. По известным координатам вершины зерна и его радиусу просчитываются координаты образующей профиля. Шаг дискретности при этом составляет 0,001 мм. Все полученные таким образом профили зерен накладываются друг на друга, образуя при этом непрерывную линию режущего профиля бруска (рис. 2, *a*).

Моделирование последовательности снятия припуска заготовки элементарными режущими профилями бруска заключается в наложении и последующем вычитании координат профиля бруска из координат профиля за-

готовки. Профиль шероховатости реальной обработанной поверхности является случайным и стационарным. Для обеспечения этого условия координаты режущего профиля бруска при каждом последующем цикле получают смещение на случайную величину в направлении оси детали. По завершении процесса получается профиль поверхности обработанной заготовки (рис. 2, б), который принимается за профилограмму обработанной поверхности.

В результате обработки полученной профилограммы определяются параметры шероховатости обработанной поверхности.

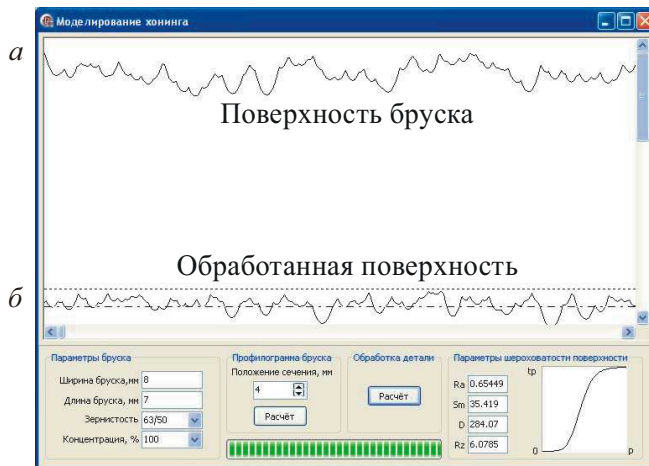


Рис. 2. Интерфейс программы

Для оценки адекватности предложенной математической модели прогнозирования параметров шероховатости отверстий, подготовленных под азотирование, экспериментальным данным было проведено практическое исследование. На рис. 3 и 4 помещены экспериментальные графики 1 зависимости параметра Ra , от зернистости алмазных брусков, а также от концентрации алмазов, которые совмещены с графиками 2, рассчитанными по математической модели. Аналогичные исследования проводились и для параметров Sm и D , в ходе которых также были получены удовлетворительные результаты.

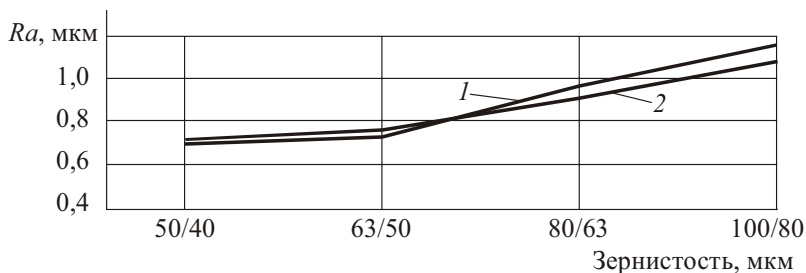


Рис. 3. Графики изменения параметра шероховатости Ra в зависимости от зернистости алмазных брусков: 1 – экспериментальный; 2 – рассчитанный по модели

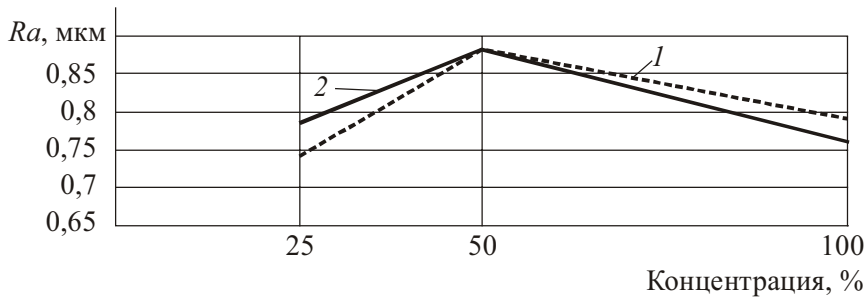


Рис. 4. Графики изменения параметра шероховатости Ra в зависимости от концентрации алмазов: 1 – экспериментальный; 2 – рассчитанный по модели

Максимальное расхождение между расчетными и экспериментальными данными параметров шероховатости Ra , Sm и D составляет соответственно 5,1; 11,7 и 6,2 % – при исследовании в зависимости от зернистости алмазных брусков и 3,3; 0,3 и 0,2 % – при исследовании в зависимости от концентрации алмазов.

График расчетных и экспериментальных значений относительной опорной длины профиля при различных уровнях сечения профиля в зависимости от зернистости также подтверждает адекватность предложенной математической модели (рис. 5). Максимальное расхождение между расчетными и экспериментальными данными относительной опорной длины профиля tr не превышает 13 %.

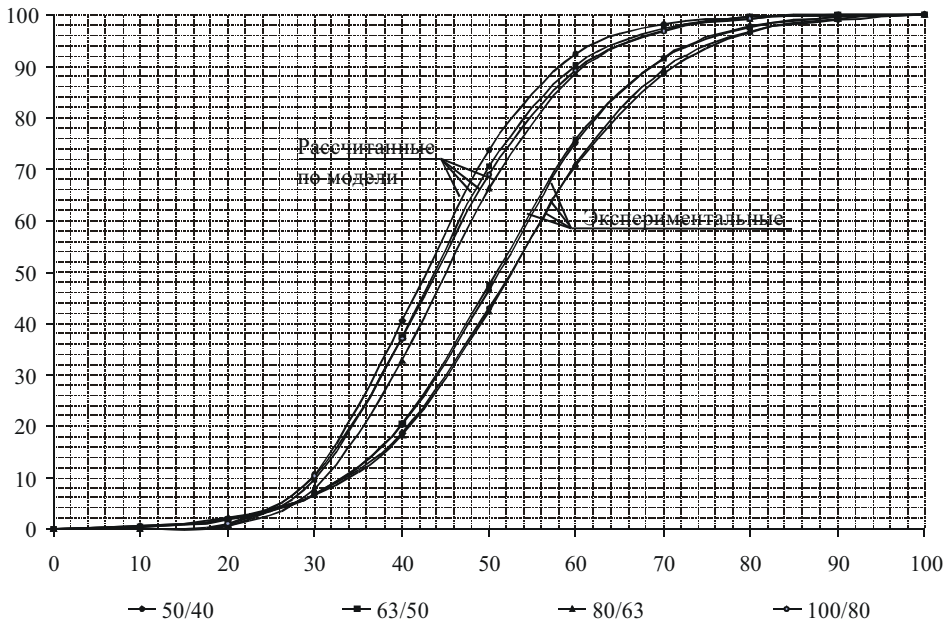


Рис. 5. Графики изменения относительной опорной поверхности профиля в зависимости от зернистости алмазов

Сделаем следующие выводы.

1. Разработанная математическая модель позволяет прогнозировать профиль обработанной поверхности детали и определить параметры шероховатости обработанной поверхности при алмазном хонинговании отверстий.

2. В результате проведенных исследований получена функциональная связь параметров шероховатости обработанной поверхности с параметрами рабочей поверхности алмазных брусков, их характеристики и основных параметров режима хонингования.

3. Проведенная проверка подтвердила удовлетворительную сходимость результатов расчетов по математической модели с экспериментальными данными, а следовательно, адекватность предложенной модели. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными параметров шероховатости находится в пределах 0,2–11,7 %. Максимальное расхождение для относительной опорной длины профиля t_p не превышает 13 %.

Список литературы

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 145 с.

2. Соболев И.М., Левитан Ю.Л. Получение точек, равномерно расположенных в многомерном кубе; Ин-т прикладной математики. – М., 1976.

Получено 10.05.2010