

## Трёхфакторная модель процесса уменьшения шероховатости металлических поверхностей

Р.В. Иутин<sup>1</sup>, Р.К. Галимова<sup>1</sup>, З.Я. Якупов<sup>1</sup>

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ<sup>1</sup>

Процессы, протекающие на границе раздела электролит-металл и в разрядном промежутке при обработке поверхностей парогазовым разрядом с жидким электродом, представляют собой большой набор взаимосвязанных явлений (физических, химических, электрохимических). Основными физико-химическими явлениями, определяющими процесс обработки поверхности в рассматриваемой технологии, являются электрическое поле, а также режимы тепло- и массопереноса между обрабатываемой поверхностью и электролитом [1-8]. Важный элемент проведения технологического эксперимента – контроль его параметров (напряжение разряда, сила тока в разрядном промежутке, температура электролита и т. д.). Кроме того, необходимо отслеживать их постоянство.

Как и в других технологиях, в исследуемом процессе существует ряд неконтролируемых входных переменных. Это приводит к случайному изменению выходных параметров. Планирование эксперимента при этом встречает значительные трудности из-за существенного количества влияющих факторов, о взаимосвязях которых неизвестно. Поэтому математический аппарат полезен как уже на стадии обработки результатов измерений, так и при подготовке проведения технологического эксперимента. Тогда деятельность инженера-исследователя становится более предсказуемой [9].

Была проведена работа:

– по выделению факторов, существенно влияющих на результат обработки твердых металлических поверхностей и жидкостей электрическим разрядом в паровоздушной среде;

– по получению математического описания исследуемого процесса в виде расчетных уравнений, связывающих падение напряжения в межэлектродном промежутке ( $U_p$ ), силу разрядного тока ( $I_p$ ), температуру электролита ( $T$ ) и степень улучшения шероховатости обрабатываемой металлической поверхности;

– по разработке рекомендаций оптимизации технологического процесса.

Рассмотрены возможности *трехфакторного эксперимента для создания регрессионной модели* изучаемого технологического процесса обработки поверхностей металлических деталей (в системе «парогазовый разряд между твердым металлическим катодом и водным раствором салициловой кислоты»). Математические методы оптимального планирования эксперимента позволяют получить математическую модель процесса даже при отсутствии сведений о его механизме. Это полезно, когда необходимо уменьшить затраты на проведение сложных и дорогостоящих исследовательских ра-

бот. Поиск математического описания рассматриваемого процесса осуществлен в виде линейной модели:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3.$$

Условия проведения экспериментов с выделением факторов, существенно влияющих на технологический процесс и результаты изменения шероховатости металлических поверхностей ( $\delta R_a$ ) в зависимости от характеристик технологического процесса, представлены в виде графиков (рис. 1-3):

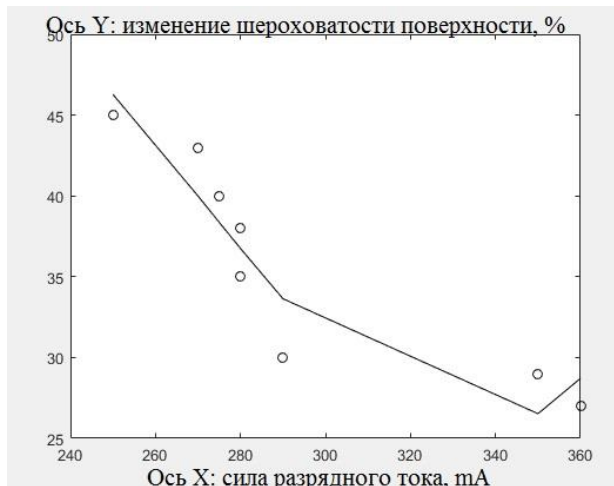


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности от силы разрядного тока (электролит - водный раствор салициловой кислоты)

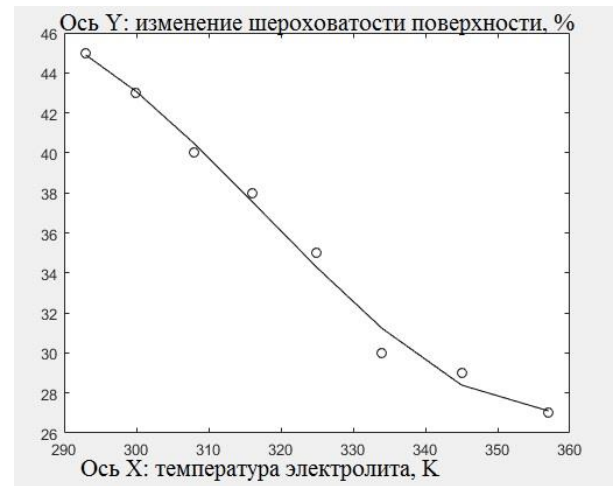


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от температуры электролита (электролит - водный раствор салициловой кислоты)



Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности от напряжения разряда (электролит - водный раствор салициловой кислоты)

Для описания зависимости изменения шероховатости поверхности от силы тока в разряде, разрядного напряжения и температуры электролита получено уравнение регрессии:

$$\delta R_a = 736,006 - 0,863I_p - 0,594T.$$

Проверена значимость коэффициентов регрессии и адекватность уравнений регрессии.

На рис. 4 и 5 представлены функции отклика:

$$\delta R_a = f(I_p, T);$$

$$\delta R_a = f(U_p, T).$$

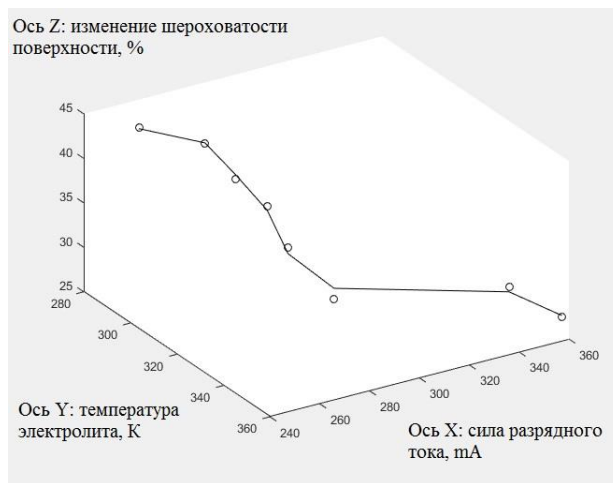


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности от температуры электролита и силы разрядного тока (электролит - водный раствор салициловой кислоты)

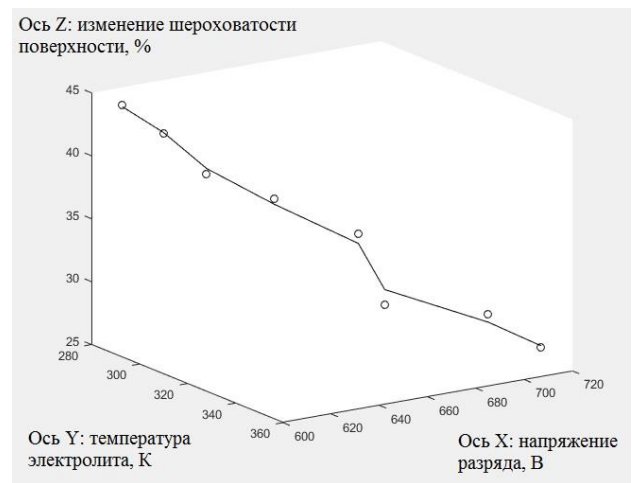


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности от температуры электролита и напряжения разряда (электролит - водный раствор салициловой кислоты)

Методика математического описания технологии уменьшения шероховатости металлических поверхностей в условиях проведенных экспериментов позволит использовать информацию о влиянии факторов обработки для дальнейших исследований и оптимизации рассматриваемых процессов.

## Литература

1. Галимова Р. К., Якупов З. Я. Исследование технологического процесса обработки поверхностей изделий парогазовым разрядом между твердым металлическим и жидким неметаллическим электродами// Fundamental and applied sciences today: Proceedings of the Conference. North Charleston, 25 – 26.07.2013, Vol. 2 CreateSpace. 4900 LaCross Road., SC, USA 29406. Moscow: spc Academic, 2013. P. 147 – 149.
2. Галимова Р.К., Юсупова А.Р. Проблема планирования в технологическом эксперименте//Fundamental science and technology – promising developments VI: Proceedings of the Conference/ North Charleston, 1-2.12.2015, Vol.2. North Charleston, SC, USA: CreatSpace, 2015. 297 p.

3. Галимова Р.К., Зайнеев А.А. Экспериментально-статистическое моделирование технологического процесса// Fundamental science and technology – promising developments VI: Proceedings of the Conference/ North Charleston, 1-2.12.2015, Vol. 2. North Charleston, SC, USA: CreatSpace, 2015. 297 p.

4. Галимова Р.К., Якупов З.Я. Исследование решений уравнения Лапласа в технологических процессах с использованием парогазовых разрядов с жидкостными электродами// Журнал Средневолжского математического общества. 2015. Т. 17, № 1. С.135 – 139.

5. Галимова Р.К., Якупов З.Я. Уравнения эллиптического типа в моделировании технологических процессов// Теория функций, её приложения и смежные вопросы: Материалы XII международной Казанской летней научной школы-конференции (Казань, 27.06-04.07.2015 г.). Труды Математического центра им. Н. И. Лобачевского/Казанское математическое общество. Т.51. Казань: Изд-во Казан. матем. общества, изд-во Академии наук РТ, 2015. С. 144 – 146.

6. Якупов З. Я., Галимова Р. К. Основная концепция исследования групп преобразований Ляпунова// Вестник Казанского государственного технического университета им. Туполева. 2017. № 4. С. 171 – 176.

7. Галимова Р. К. Характеристики плазменной электротермической установки с жидкими электродами (электролиты с добавлением неорганических и органических примесей). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб. 1997. 16 с.

8. Якупов З.Я., Галимова Р.К. Методы наименьших квадратов и наименьших модулей в научно-технических расчётах: Учебное пособие. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. 140 с.

MSC 62H12

## **The three-factor model of the process of roughness reduction of metal surfaces**

R.V. Iutin<sup>1</sup>, R.K. Galimova<sup>1</sup>, Z.Ya. Yakupov<sup>1</sup>

Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev-KAI<sup>1</sup>