

Усреднение показателя шероховатости поверхности за время обработки детали методом наименьших квадратов

А.А. Павлова¹, Р.В. Иутин¹, З.Я. Якупов¹

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ¹

Технический, технологический, физический эксперимент (инженерия) затруднительно представить без применения аппарата математического моделирования. Многие математические методы обработки численных данных зародились, применяются и преобразуются в соответствии с прикладными проблемами и потребностями. Существует большое количество источников по математическому анализу результатов экспериментов, например, [1-12]. Гармонический анализ, численное решение дифференциальных уравнений, построение номограмм и другие вопросы освещены в справочных пособиях. Информацию по специальному математическому материалу экспериментатор часто может либо не усвоить, либо использовать, прибегая к помощи специалистов в соответствующей области.

Большое количество факторов влияния на конечный результат эксперимента объясняет применение как личного опыта и интуиции исследователей, так и известных математических методов оптимального планирования эксперимента. Правильная интерпретация итогов планирования технологии возможна при понимании сущности проводимых процессов в совокупности с практическим опытом, предвидением и применением математических знаний ученым, инженером [1-12].

Различные виды электротехнологии, к которым относят и использование модификации парогазового разряда между твердым металлическим (или жидким неметаллическим) и жидким электродами, связаны с проведением большого количества сложных, затратных по времени и материалам экспериментов. Поэтому возникает задача поиска приемлемых методов планирования и моделирования экспериментов, позволяющих оптимизировать эти процессы. Применение математических методов обработки результатов эксперимента дает возможность создания моделей инженерных опытов, позволяющих в ряде случаев существенно сократить затраты времени и материальных средств на выполнение исследовательских работ.

Многие экспериментаторы используют достаточно простые методы обработки экспериментальной информации. Широко используются способы нахождения эмпирических уравнений графическим путем. При этом по полученным в ходе измерений данным или по результатам алгебраического преобразования переменных часто строится прямая линия. Большая же часть экспериментальной информации не позволяет получать линейные графики. Тогда необходимо подбирать некий общий многочлен степени n [1]:

$$y = A_0 + A_1x + A_2x^2 + A_3x^3 + \dots + A_nx^n.$$

В работе представлены результаты регрессионного анализа экспериментальных данных по обработке деталей, подвергшихся механическому износу, с целью улучшения степени чистоты их поверхности (рис. 1-2).



Рис. 1. Экспериментальные результаты обработки металлических поверхностей (электролит - водный раствор CaCl₂ с добавлением муравьиной кислоты)

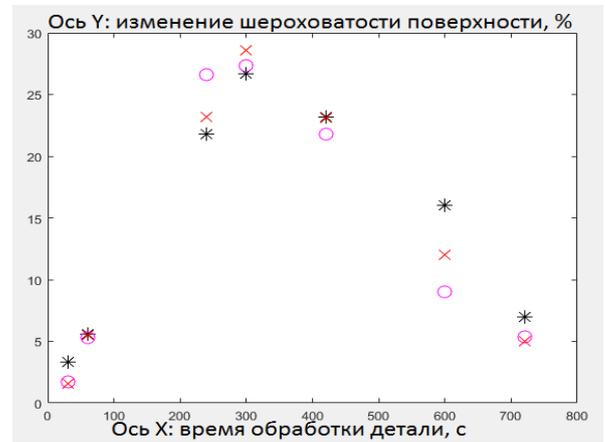


Рис. 2. Экспериментальные результаты обработки металлических поверхностей (электролит - водный раствор CaCl₂ с добавлением NH₄Cl и глицерина)

Процесс *усреднения* результатов экспериментальных данных *методом наименьших квадратов* представлен на рис. 3-4.

Проверка выполнимости основных постулатов и статистических гипотез об адекватности модели и значимости коэффициентов позволила получить регрессионную модель для расчета технологических режимов обработки деталей указанного типа с помощью парогазового разряда между твердым металлическим и жидким неметаллическим электродами при атмосферном давлении.

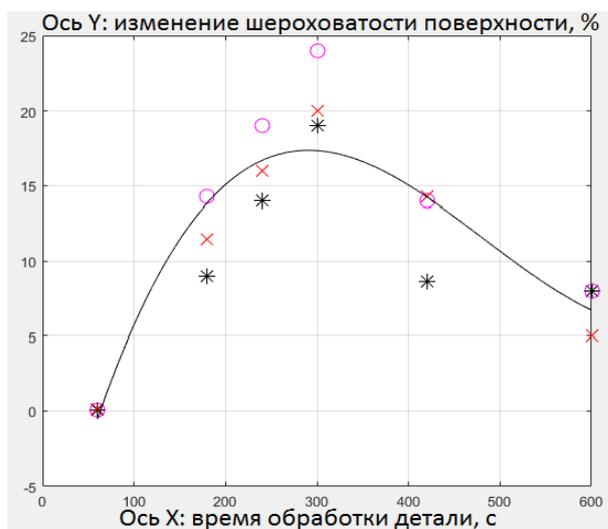


Рис. 3. Результат усреднения данных эксперимента, представленных на рис.1

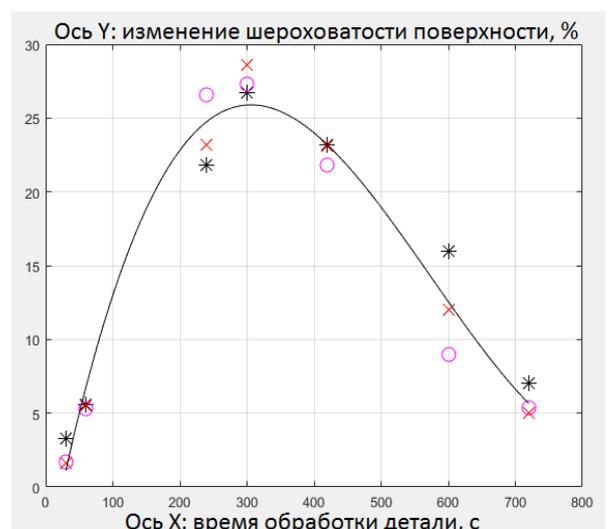


Рис. 4. Результат усреднения данных эксперимента, представленных на рис. 2

Зависимости улучшения чистоты поверхности (в %) от времени обработки детали в электролите заданного состава имеют вид:

$$y = A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t^3.$$

Получено усреднение (рис. 3) трех регрессионных уравнений для описания экспериментальных зависимостей, представленных на рис. 1:

- для (×)

$$\delta R_a = -6 \cdot 10^{-4} t + 23,81 \cdot 10^{-2} t^2 - 12,85 \cdot 10^{-7} t^3;$$

- для (○)

$$\delta R_a = -8 \cdot 10^{-4} t + 29,81 \cdot 10^{-2} t^2 - 15,87 \cdot 10^{-7} t^3;$$

- для (*)

$$\delta R_a = -4 \cdot 10^{-4} t + 19,91 \cdot 10^{-2} t^2 - 10,84 \cdot 10^{-7} t^3.$$

Математическое усреднение (рис. 4) процессов, представленных на рис. 2, обобщает следующие три закономерности:

- для (×)

$$\delta R_a = -3 \cdot 10^{-4} t + 17,49 \cdot 10^{-2} t^2 - 2,62 \cdot 10^{-7} t^3;$$

- для (○)

$$\delta R_a = -7 \cdot 10^{-4} t + 28,75 \cdot 10^{-2} t^2 - 7,71 \cdot 10^{-7} t^3;$$

- для (*)

$$\delta R_a = -5 \cdot 10^{-4} t + 23,63 \cdot 10^{-2} t^2 - 5,93 \cdot 10^{-7} t^3.$$

Литература

1. 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.
2. Якупов З. Я. Использование вероятностной схемы независимых испытаний в теории надёжности//Динамика неоднородных систем: Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). Т.32(2). М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 348-350.
3. 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. pp. 147 – 149.
4. Галимова Р. К., Якупов З. Я., Рахимова Л. Р. Метод наименьших квадратов в технике и технологии//Fundamental science and technology – promising developments IV: Proceedings of the Conference. North Charleston, 29-30.09.2014, Vol.1. North Charleston, SC, USA: CreateSpace. Moscow: spc Academic, 2014. pp. 204-206.
5. Якупов З. Я., Галимова Р. К., Сафин А. А. Сравнительный анализ методов наименьших квадратов и модулей // Развитие науки и образование в современном

- мире. В 7 частях. Часть 1: Сборник научных трудов по материалам Международной научно–практической конференции. – Москва, 30 сентября 2014 г. Москва: АР – Консалт, 2014. С. 92 – 96.
6. Якупов З. Я., Галимова Р. К., Никифоров С. А. О математической модели Тунгусского феномена//Инновационная наука и современное общество. Часть 2: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 25 октября 2014 г. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 16 –20.
 7. 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.
 8. 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.
 9. 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.
 10. Якупов З.Я., Яруллин А.А. О роли коллективных стратегий в развитии нанотехнологий// 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. PP. 181 – 183.
 11. 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.
 12. Якупов З. Я., Галимова Р. К. Основная концепция исследования групп преобразований Ляпунова // Вестник Казанского государственного технического университета им. Туполева. 2017. № 4. С. 171 – 176.

MSC 62H12

Averaging of the surface roughness index during the machining time of the workpiece by the method of the least squares

A.A. Pavlova¹, R.V. Iutin¹, Z.Ya. Yakupov¹

Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI¹