

## Анализ и графическое представление экспериментальных данных с помощью пакетов Excel, Statistica 10, OriginPro

Студент: гр. 10401118 Гладинов А.Д., гр. 10405118 Семенюк А.И.,  
гр. 10405118 Салтыков Н.И.

Научный руководитель – Мельниченко В.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

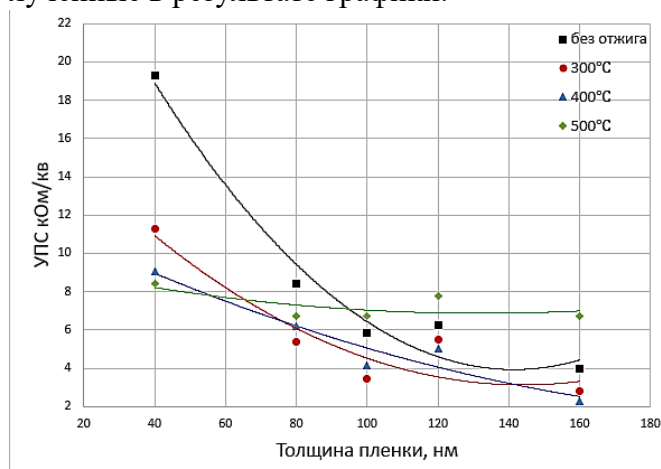
Важной частью проведения и анализа результатов экспериментов является статистическая обработка полученных данных и их графическое представление. Одним из самых распространенных приемов является аппроксимация. Рассмотрим методику обработки экспериментальных данных с помощью пакетов Excel, Statistica 10, OriginPro. В качестве анализируемых данных выбран результат ионно-лучевого распыления мишени, следующего химического состава, в мас. %: Co – 19,1, Cr – 6,0, La – 7,9 и Si – 67,0 [1]. Введение La позволило снизить температуру плавления сплава системы Co-Cr-Si и тем самым предотвратило растрескивание заготовок мишеней при их изготовлении методом литья.

Толщина нанесенных на ситалловые подложки при распылении мишени резистивных пленок составляла 40, 80, 100, 120 и 160 нм. В результате отжига в интервале температур 300-500 °С, получены следующие данные по величине удельного поверхностного сопротивления (УПС) пленок (таблица 1).

Таблица 1 – Данные по величине удельного поверхностного сопротивления пленок

Температура отжига $T_0$ , °С	Толщина пленки, нм				
	40	80	100	120	160
без отжига	19,3	8,43	5,83	6,27	3,95
300	11,3	5,35	3,44	5,5	2,8
400	9,07	6,2	4,17	5,05	2,3
500	8,44	6,75	6,72	7,8	6,73

Для анализа данных во всех трех программах была выбрана аппроксимация с полиномиальной подгонкой второй степени. Рассмотрим выполнение ее в каждой из программ и полученные в результате графики.



В пакете Excel строим точечную диаграмму по полученным экспериментальным данным. Для этого заносим наши данные в рабочую область программы и на панели Вставка → Диаграммы выбираем Точечная. Для выполнения аппроксимации воспользуемся функцией Линия тренда. Для этого наводим курсор на график и выбираем «+». Далее Линия тренда → Дополнительные параметры. В появившемся окне Формат линии тренда – выбираем Полиномиальная

Рисунок

6

и задаем степень 2.

В том же окне дополнительно выбираем *Показывать уравнение на диаграмме* и *Поместить на диаграмму величину достоверности (R)*. В результате получим следующий график, приведенный на рисунке 1.

Так же по полученным кривым получаем следующие зависимости:

$$y = 0,0015x^2 - 0,4112x + 33,016 \text{ и } R^2 = 0,9696, \text{ (без отжига);}$$

$$y = 0,0007x^2 - 0,2074x + 18,063 \text{ и } R^2 = 0,8681, \text{ (} T_0 = 300 \text{ } ^\circ\text{C);}$$

$$y = 0,0002x^2 - 0,0919x + 12,328 \text{ и } R^2 = 0,9279, \text{ (} T_0 = 400 \text{ } ^\circ\text{C);}$$

$$y = 0,0002x^2 - 0,0419x + 9,638 \text{ и } R^2 = 0,4653, \text{ (} T_0 = 500 \text{ } ^\circ\text{C).}$$

Как видим для анализа данных, полученных при отжиге при 500 °С не совсем подходит полиномиальная функция второй степени, так как имеет место малый коэффициент достоверности. Повысим для нее степени до третьей. Получаем следующее уравнение

$$y = -1E-05x^3 + 0,004x^2 - 0,38x + 18,143 \text{ и } R^2 = 0,9353.$$

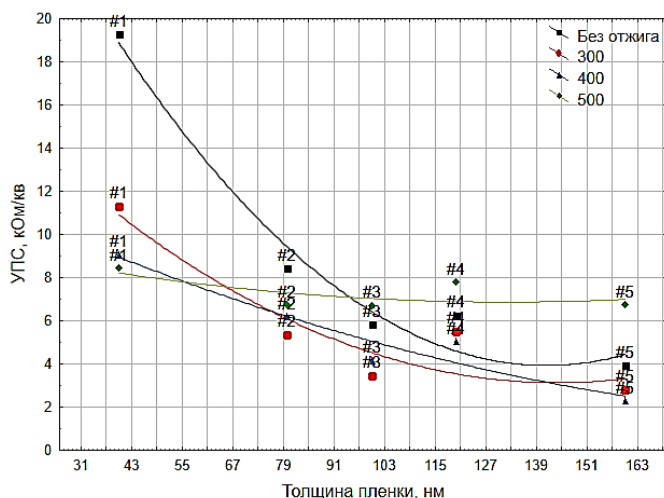


Рисунок 2

*Построение графика в пакете Statistica 10.* Заносим наши данные в рабочую область, после на главной панели выбираем *Графика* → *2М Диаграмма рассеивания*. В полученном окне выбираем тип графика – *простой*. В этом же окне, на вкладке *Дополнительно*, выбираем в графе *Подгонка* – *Полиномиальная*. В результате получим следующий график рисунке 2.

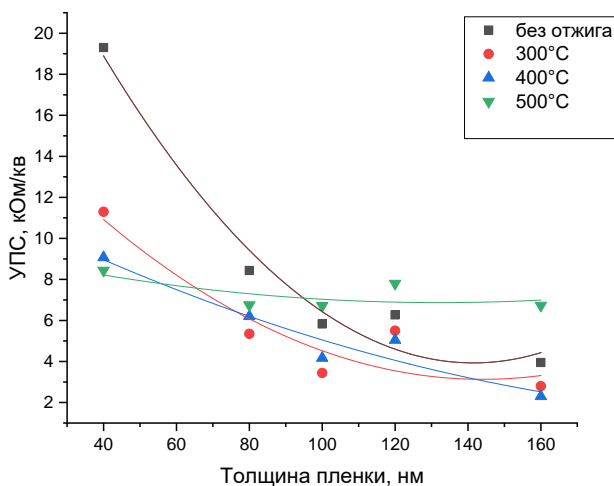


Рисунок 3

*Построение графика в пакете OriginPro.* Заносим наши данные в рабочую область, после на вкладке снизу выбираем *Scatter* → *Scatter*. Получаем диаграмму рассеивания точек. Для выполнения аппроксимации в верхней части рабочего окна выбираем *Analysis* → *Fitting* → *Polynomial fit*. В *Polynomial fit* задаем *Polynomial Order 2*. В результате получаем график, представленный на рисунке 3. И следующие окно с полученными значениями уравнений рисунок 4.

Equation	$y = \text{Intercept} + B1 \cdot x^1 + B2 \cdot x^2$			
Plot	B	C	D	E
Weight	No Weighting			
Intercept	$33,016 \pm 3,89384$	$18,063 \pm 4,46098$	$12,328 \pm 2,47479$	$9,638 \pm 2,12143$
B1	$-0,41118 \pm 0,08377$	$-0,20736 \pm 0,09597$	$-0,09186 \pm 0,05324$	$-0,04187 \pm 0,04564$
B2	$0,00145 \pm 4,10338E$	$7,1994E-4 \pm 4,70104E$	$1,91071E-4 \pm 2,60796E$	$1,58333E-4 \pm 2,23559E$
Residual Sum of Squar	4,52597	5,94041	1,82823	1,34343
R-Square (COD)	0,96965	0,8681	0,92787	0,46534
Adj. R-Square	0,9393	0,7362	0,85574	-0,06932

Рисунок 4 – Полученные значения уравнений

Построим также в пакете OriginPro зависимость изменения удельного поверхностного сопротивления от температуры отжига. Для этого заносим наши данные в рабочую область, после на вкладке снизу выбираем *Line + Symbol* → *Line + Symbol*. В результате получаем график, представленный на рисунок 5.

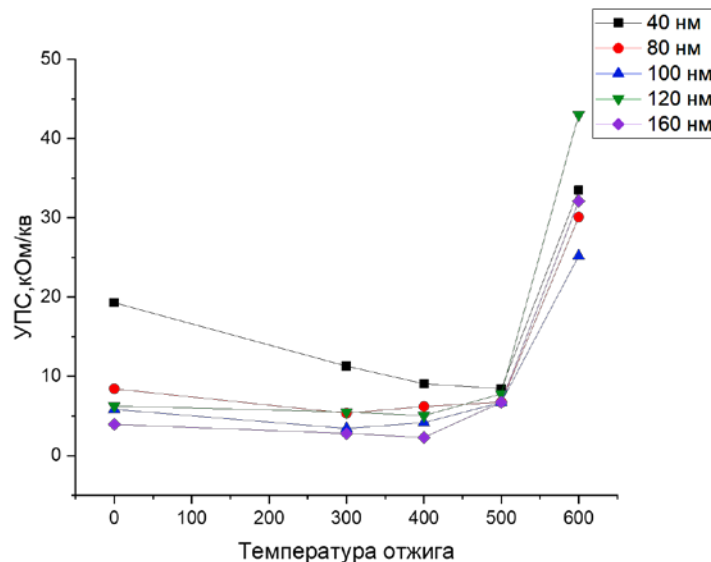


Рисунок 5 – Зависимость изменения удельного поверхностного сопротивления от температуры отжига

**Заключение.** Рассмотрено построение графиков и выполнение полиномиальной аппроксимации в пакетах Excel, Statistica 10, OriginPro. По общему виду рабочего окна – программы схожи, и представляют собой набор строк и столбцов. Пакет Excel позволяет выполнять полиномиальную подгонку до 6 степени включительно, Statistica 10 до 5 степени, а OriginPro до 9 степени. В силу этого, наиболее приемлемыми оболочками обработки предполагаем Statistica и Origin Pro.

#### Список использованных источников

1. Гладинов, А.Д. Расчет температур плавления резистивных сплавов систем Co–Cr–Si и Co–Cr–La–Si / А.Д. Гладинов; науч. рук. В.А. Зеленин// Литьё и металлургия 2020 [Электронный ресурс]: сборник. научн. работ III Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов, 18–19 ноября 2020 г/ ред.: А.П. Бежок, И.А. Иванов, – Минск: БНТУ, 2020. – С. 85-87.