

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОБАРЬЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ZrO_2

Т.А. Симонова*, А. Э. Трохачева, Н. Б. Пугачева

Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова УрО РАН, Екатеринбург

Критически важные компоненты газотурбинных двигателей (ГТД) должны сохранять свои механические характеристики, коррозионную стойкость и устойчивость к окислению в условиях агрессивной газовой среды при повышенных температурах. Для производства этих компонентов используются жаропрочные сплавы, которые демонстрируют разрушение при воздействии высоких температур и напряжений. Увеличение рабочих температур до 1200-1330 °С приводит к растворению упрочняющих фаз, что в свою очередь, снижает прочностные характеристики. В связи с этим применение термобарьерных защитных покрытий становится актуальным для надежной защиты контактных поверхностей от разрушения, вызванного газовой коррозией и эрозией [6].

Для повышения адгезии покрытия к подложке осуществляется нанесение металлического подслоя, который выполняет защитную функцию от высокотемпературной коррозии. Среди существующих методов нанесения покрытий, плазменный метод считается наиболее предпочтительным [3]. Кроме того, для улучшения адгезии между поверхностным слоем и подложкой применяется лазерная обработка поверхности [4].

Объектом исследования стали образцы из хромоникелевой стали 20ХН4ФА, на которые было нанесено двухслойное покрытие. Внутренний металлический слой был выполнен из порошка с гранулометрическим составом 40-100 мкм и химическим составом 77%Ni, 16%Cr, 6%Al и 1%Y (ПВ-НХ16ЮБИ). Для внешнего керамического слоя использовался порошок с гранулометрическим составом 40-100 мкм и химическим составом ZrO_2 с добавлением 6% Y_2O_3 . Нанесение слоев производилось на установке плазменно-порошкового напыления с контактным возбуждением дугового разряда УПН-60КМ ТСП2017 при следующих параметрах: ток – 310 А, напряжение – 60 В. Основным плазмообразующим газом был аргон, а высокоэнтальпийным газом – водород.

Лазерная обработка проводилась посредством использования комплекса лазерной обработки БУЛАТ НТФ-150 при следующем режиме: длительность импульса – 2 мс, частота – 10 Hz, форма импульса – колокол (Гауссово распределение), скорость обработки – 1 м/с, фокусное расстояние – 100 мм, с изменяющимся параметром напряжения на источнике.

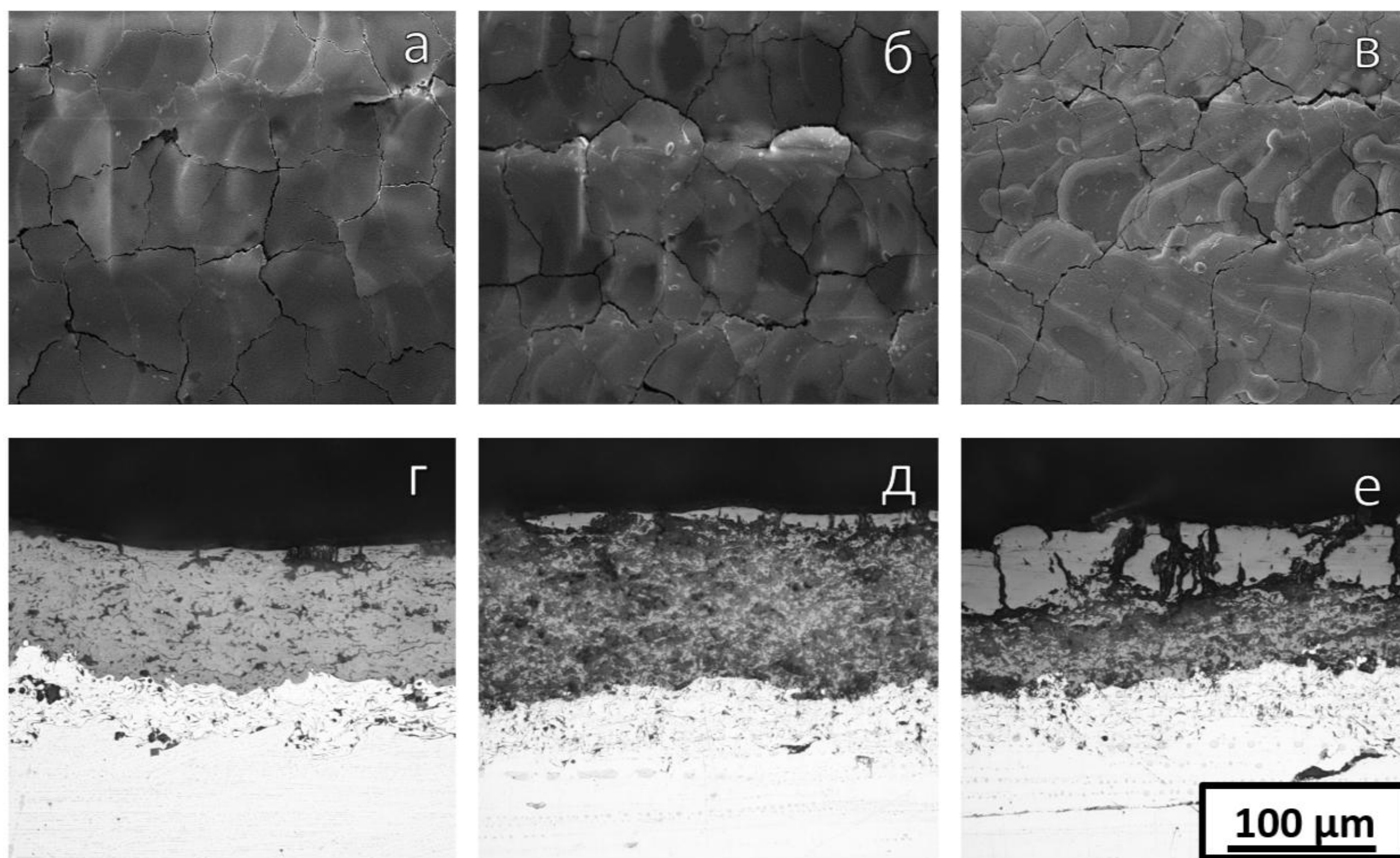


Рисунок 2 – Изменение поверхности покрытия (а – 320, б – 340, в – 360) В; и покрытия в разрезе (г – 320, д – 340, е – 360) В после лазерной обработки с изменяющимся параметром напряжения на источнике

После лазерной обработки поверхность приобретает глянцевый и гладкий характер, однако демонстрирует выраженную дефектную структуру, которая характеризуется наличием множества трещин и поверхностных пор. При этом наблюдаются четкие границы между соседними дорожками (рис. 2). Трещины формируются в результате усадки, происходящей после процесса оплавления.

Анализ данных рисунков 3 и 4 свидетельствует о том, что с повышением напряжения на источнике возрастает содержание циркония и уменьшается содержание кислорода до значения напряжения 340 В. При напряжении 350–360 В на поверхности обнаруживаются железо и никель, что указывает на переплавление металлической подложки. С точки зрения повышения адгезионной связи между слоями предпочтительной является лазерная обработка при напряжении источника 340 В, при которой значение шероховатости составляет 7,3 мкм и находится в пределах, приемлемых для данного типа покрытий.

	Слой	Напряжение на источнике, В		
		320	340	360
Керамический	Оплавленный	5,5	6,1	16,3
	Неоплавленный	8,9	15,3	14,8
Металлический		10,0	23	16,3

Таблица 1. Толщины слоев в зависимости от напряжения на источнике, мкм

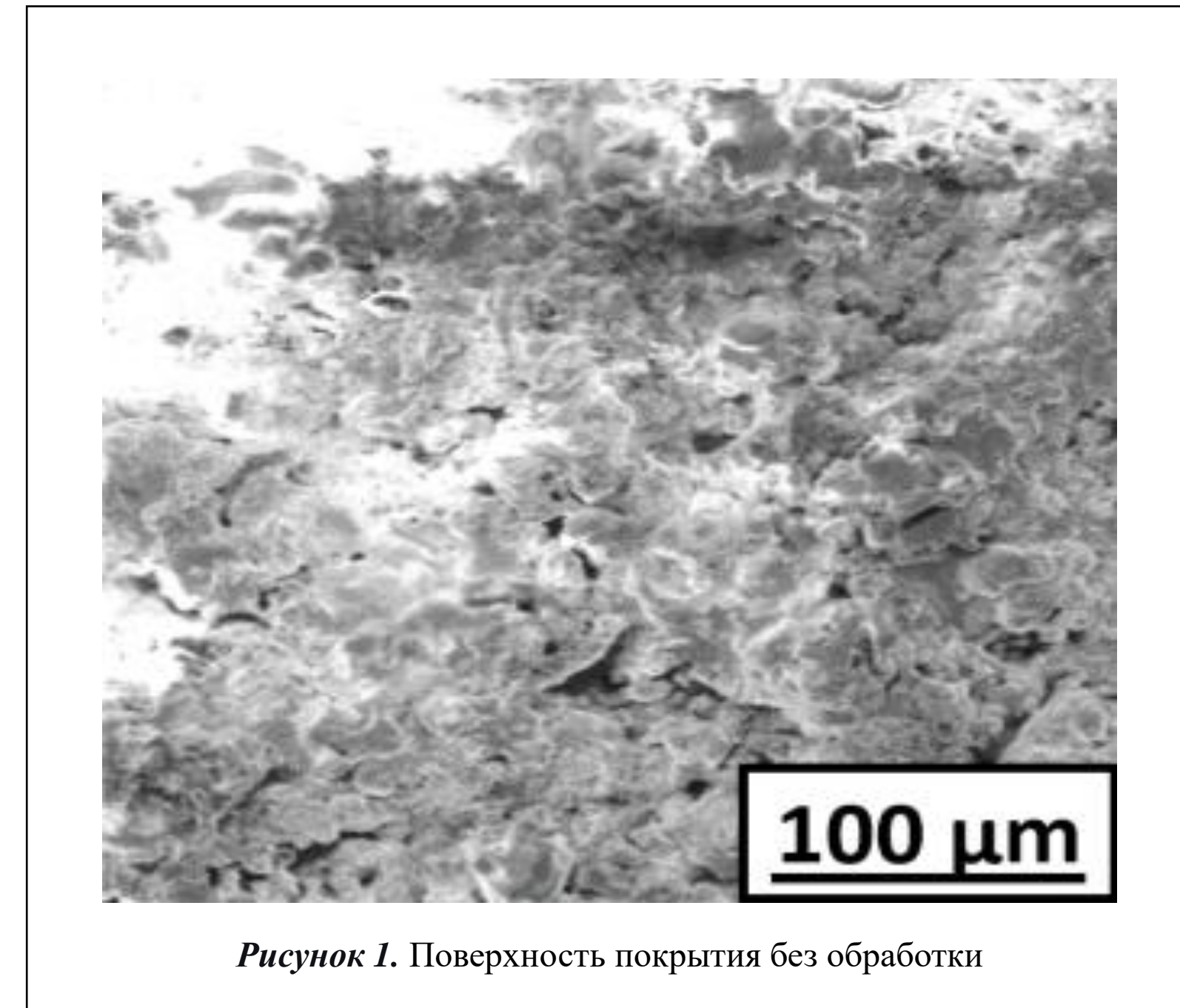


Рисунок 1. Поверхность покрытия без обработки

Структура поверхности образцов и распределение химических элементов исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega II XMU с ЭДС приставкой INCA. Для изучения топографии поверхности использовался оптический профилометр Wyko NT1100. Внешний вид поверхности покрытия представлен на рисунке 1. Поверхностный слой имеет матовый цвет, шероховатую поверхность (Ra), на поверхности присутствуют поры.

Оценка характера изменения толщины слоёв показывает, что с увеличением напряжения на источнике лазерного излучения происходит рост толщины оплавленного слоя. Распределение элементов на поверхности в зависимости от напряжения источника лазерного излучения представлено на рисунке 3, а изменение шероховатости поверхности — на рисунке 4

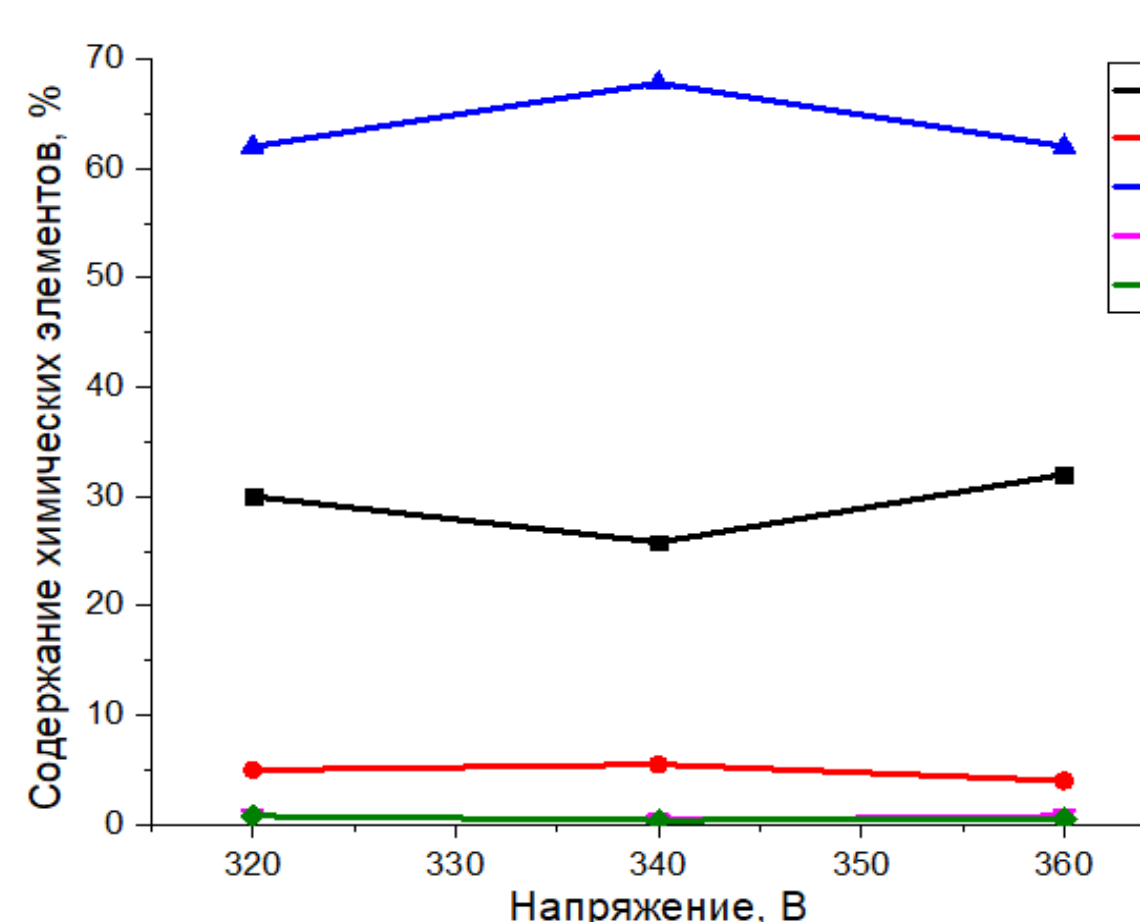


Рисунок 3. Содержание химических элементов на поверхности, в зависимости от напряжения на источнике

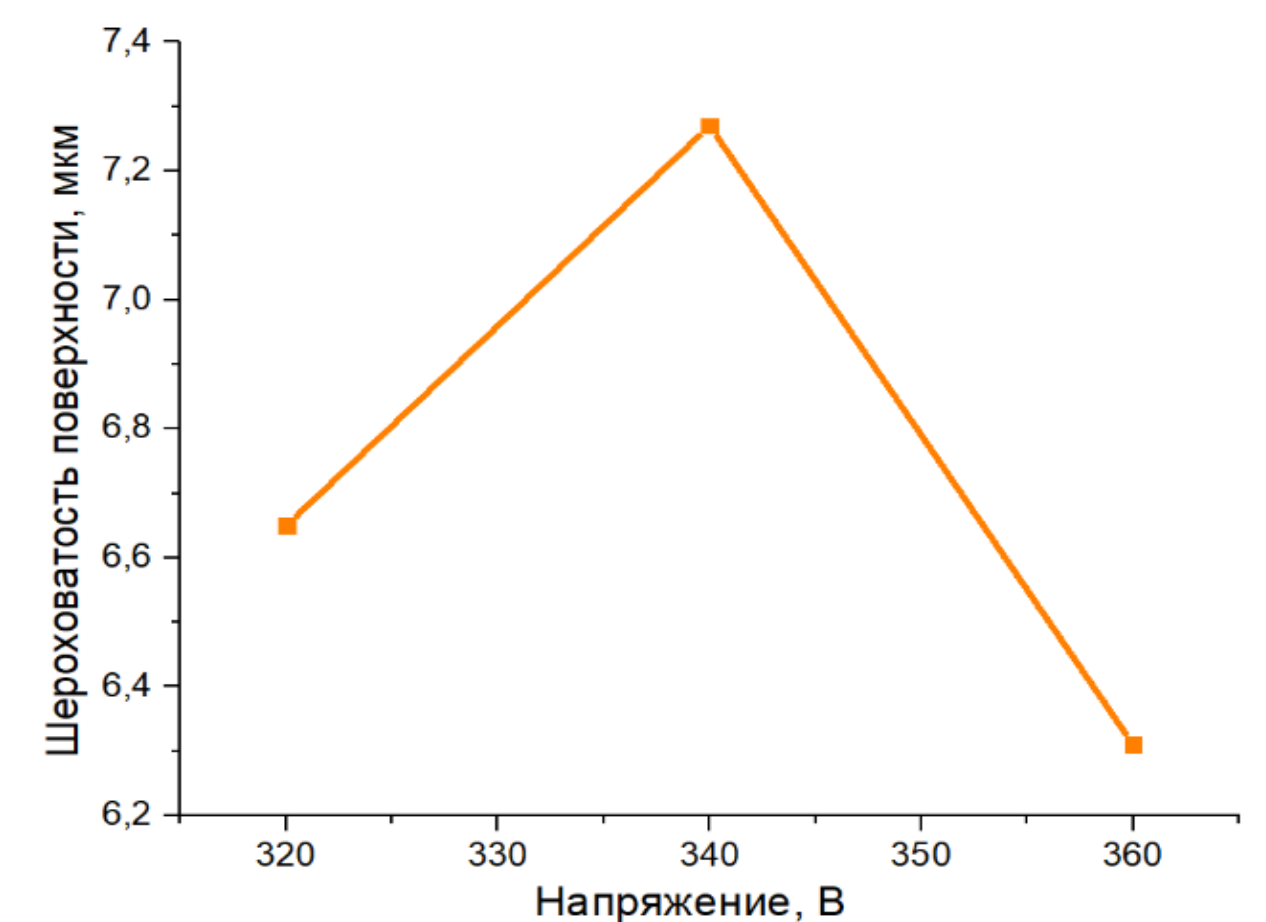


Рисунок 4. Шероховатость поверхности, в зависимости от мощности наплавки

Список литературы

1. Каблов Е.Н., Петрушин Н.В., Елютин Е.С. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. с. 38.
2. Панков В.П., Бабаян А.Л., Куликов М.В. и др. // Ползуновский вестник. № 1. 2021. с. 161. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.023>
3. Коломыцев П.Т. Газовая коррозия и прочность никелевых сплавов. Москва: Металлургия, 1984. 215 с.
4. Гузанов Б.Н., Косицын С.В., Пугачева Н.Б. Упрочняющие защитные покрытия в машиностроении. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 242 с.
5. Arezoo Sezavar, Seyed Abdolkarim Sajjadi // Journal of the European Ceramic Society. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2025.117274>
6. S.T. Vagge, Suraj Ghogare // Materials Today: Proceedings. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.170>